

Grenoble 2012

INTERPRAEVENT

**International
Research Society**



Conference Proceedings
23rd to 26th April
www.interpraevent.at

Vol. 2

Published by the International Research Society INTERPRAEVENT, Klagenfurt, Austria

INTERPRAEVENT 2012 – Proceedings
ISBN 978-3-901164-19-4

© 2012 International Research Society INTERPRAEVENT

Edited by Gernot Koboltschnig, Johannes Hübl and Julia Braun

The authors bear full responsibility for the contents of their contribution.

All rights reserved; no parts of this publication may be reproduced, stored or retrieved in any form or by any means without the prior written permission of the International Research Society INTERPRAEVENT.

Printed in France, by Imprimerie des Eaux Claires

**12th CONGRESS
INTERPRAEVENT**

| 2012

23-26 April 2012
Grenoble – France

www.interpraevent.at

Proceedings
Vol. 2

PREFACE

Interpraevent – both the society itself and the congress – stands for a meeting of people coming from science and practice in the field of “protection from natural hazards”. The aim of the forum for experts from science, technology and administration was – and still is today – to analyze causes and to draw up plans for protection. Following the European flood disasters in the mid 1960ies, the society was founded in 1968 in Klagenfurt (Austria). Today, many private institutions and regions in the alpine area, as well as Japan and Taiwan, are member of Interpraevent. Topics, which the international network of experts has been dealing with for more than 40 years, are still up-to-date because the exchange of knowledge beyond borders, organisations and societies is supported.

The main event of Interpraevent is the congress, which takes place every 4 years in the European Alps. The 12th Interpraevent congress is organised by Irstea Grenoble (National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture, former Cemagref) with the general congress theme “Protection of living space from natural hazards”. Based on all 231 acceptable extended abstracts, which were submitted for the congress, the INTERPRAEVENT Science & Technology Board selected 138 authors to extend their contribution to a full paper with a maximum of 12 pages. 119 full papers were submitted by the authors. After the review 99 full papers were accepted for publication in the congress proceedings. These contributions were divided into four main topic-groups related to the phases of the integral risk management:

- Data acquisition and modelling – 38 papers
- Hazard mapping and non-structural measures – 18 papers
- Structural measures and environmental protection effects – 19 papers
- Intervention and recovery – 7 papers
- Risk governance and policies – 17 papers

The accepted full papers were printed in the congress proceedings in five chapters. All 45 oral presentations were selected out of the accepted full papers. So it is a two-step procedure to get an oral presentation. To make poster presentations, which can be prepared by all authors, more attractive, short oral presentations with about one to two slides can be given. At former congresses contributions were split due to the type of natural hazards (floods, debris flows, avalanches or mass movements). As many methods concerning hazard mapping and risk management are quite similar the INTERPRAEVENT Science & Technology Board tried to close the gap, which comes up due to different processes behind hazards. Similarities can be found if the basis for the grouping comes from the risk circle.

INTERPRAEVENT Business Administration
Gernot Koboltschnig

INTERPRAEVENT Science & Technology Board
Johannes Hübl, Chairman

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Elsie Beck, Grenoble, France
Frédéric Berger, Grenoble, France
Niki Beyer Portner, Billens, Switzerland*
Mylène Bonnefoy, Grenoble, France
Franck Bourrier, Grenoble, France
Simonetta Cola, Padova, Italy
Francesco Comiti, Bolzano, Italy
Christophe Corona, Grenoble, France
Luuk Dorren, Berne, Switzerland
Johannes Hübl, Vienna, Austria*
Hans Kienholz, Berne, Switzerland*
Robert Kirnbauer, Vienna, Austria*
Helmut Knoblauch, Graz, Austria
Dominique Laigle, Grenoble, France*
Richard Lambert, Chambéry, France
Frédéric Liébault, Grenoble, France
Hideaki Marui, Niigata, Japan*
Tomomi Marutan, Sapporo, Japan
Bruno Mazzorana, Bolzano, Italy*
Brian McArdell, Davos, Switzerland
Matjaž Mikoš, Ljubljana, Slovenia*
Sara Montani, Brig, Switzerland
Tomoyuki Noro, Myoko-City, Japan
Andreas von Poschinger, Munich, Germany*
Didier Richard, Grenoble, France*
Magdalena Rogger, Vienna, Austria
Joachim Rohn, Erlangen, Germany
Hans Romang, Zürich, Switzerland
Florian Rudolf-Miklau, Vienna, Austria*
Franziska Schmid, Berne, Switzerland
Joe Schneider, Graz, Austria*
Franz Sinabell, Vienna, Austria
Paolo Simonini, Padova, Italy*
Markus Stoffel, Berne, Switzerland*
Jean-Marc Tacnet, Grenoble, France
Fritz Zollinger, Zurich, Switzerland*

* Member of the INTERPRAEVENT Science & Technology Board

CONTENTS

SESSION 3: Structural measures and environmental protection effects

FULL SCALE FIELD TESTS ON ROCKFALL IMPACTING TREES FELLED TRANSVERSE TO THE SLOPE Franck Bourrier, Luuk Dorren and Frédéric Berger	643
PREVENTING WOOD-RELATED HAZARDS IN MOUNTAIN BASINS: FROM WOOD LOAD ESTIMATION TO DESIGNING RETENTION STRUCTURES Francesco Comiti, Vincenzo D'Agostino, Martin Moser, Mario Aristide Lenzi, Francesco Bettella, Andrea Dell'Agnese, Emanuel Rigon, Sandro Gius and Bruno Mazzorana	651
RIVIERE DES GALETS - ILE DE LA REUNION - 20 ANS D'EXPERIENCE DE GESTION DES RISQUES - RIVIÈRE DES GALETS REUNION ISLAND - 20 YEAR EXPERIENCE OF RISK MANAGEMENT Francis Fruchart, Gilles Delphin, Sylvain Reynaud, Christian Séraphine, Joël Cadudal, Paul Bonnet and Hervé Lemahieu	663
REDUCING PHYSICAL VULNERABILITY TO MOUNTAIN HAZARDS BY LOCAL STRUCTURAL PROTECTION Sven Fuchs, Markus Holub and Jürgen Suda	675
GESTION DU RISQUE D'INONDATION SUR L'AVANÇON PAR RETENTION DE SEDIMENTS - OPTIMISATION SUR MODÈLE PHYSIQUE, FLOOD RISK MANAGEMENT OF THE AVANÇON RIVER BY MEANS OF SEDIMENT RETENTION - PHYSICAL MODEL BASED STUDY Tamara Ghilardi, Jean-Louis Boillat, Anton J Schleiss, Gérard De Montmollin and Stéphane Bovier	687
THE ROLE OF FALLING ROCK PROTECTION BARRIERS IN THE CONTEXT OF LANDSLIDE RISK ANALYSIS AND MITIGATION Alice Gorlato, Guido Gottardi, Laura Govoni, Alessio Mentani, Marco Ranalli and Claudia Strada	699
INTEGRALER STEINSCHLAGSCHUTZ IN ADELBODEN (BERNER OBERLAND, SCHWEIZ), INTERGRAL ROCK FALL PROTECTION IN ADELBODEN (BERNESE OBERLAND, SWITZERLAND) Ueli Gruner and Kaspar Graf	707
GESTION DU CHARRIAGE SUR LE TORRENT DE MILIBACH POUR LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS - OPTIMISATION SUR MODÈLE PHYSIQUE, MANAGEMENT OF THE BEDLOAD TRANSPORT OF THE MILIBACH TORRENT FOR FLOOD PROTECTION PURPOSE - A PHYSICALLY-BASED MODEL STUDY Fadi Hachem, Beatrice Herzog, Jean-Louis Boillat and Anton Schleiss	717
ANALYSIS OF TORRENT PROTECTIVE STRUCTURES AS A BASIC ELEMENT OF THE HAZARD MAPPING PROCESS - DETERMINING THE AS-IS-STATE OF 100 YEARS OLD CHECK DAMS MADE OF NATURAL STONE MASONRY Bernd Kister, Markus Zimmermann, Gabi Hunziker, Bruno Zimmerli and Walter Fellmann	729

LA FIABILITE DES DISPOSITIFS DE PROTECTION ACTIVE CONTRE LES AVALANCHES - LA CARACTERISATION DU SUR-ALEA A PARTIR DE L'EXPERIENCE FRANÇAISE Olivier Marco	741
UMGANG MIT LAWINENVERBAUUNGEN AUS STEINMAUERN UND MAUER TERRASSEN PRAXISANLEITUNG FÜR OPTIMALE ERHALTUNGSSTRATEGIEN Stefan Margreth and Reto Baumann	749
DYNAMIC RESPONSE OF STEEL SPECIMEN UNDER DEBRIS FLOW SURGE MODEL Nobutaka Ishikawa, Ryuta Inoue, Masuhiro Beppu, Yuji Hasegawa and Takahisa Mizuyama	761
TORRENTIAL FLOODS IN SERBIA - MAN MADE AND NATURAL HAZARDS Ratko Ristic, Stanimir Kostadinov, Boris Radic, Goran Trivan and Zoran Nikic	771
A CONTRIBUTION TO A BETTER UNDERSTANDING OF THE METEOROLOGICAL TRIGGERING CONDITIONS OF PAST DEBRIS FLOWS Michelle Schneuwly-Bollschweiler and Markus Stoffel	781
QUANTIFYING ROOT REINFORCEMENT IN PROTECTION FORESTS: IMPLICATIONS FOR SLOPE STABILITY AND FOREST MANAGEMENT Massimiliano Schwarz, Jean-Jacques Thormann, Kaspar Zürcher and Karin Feller	791
DRIFTWOOD RETENTION TO MINIMIZE FLOOD RISK FOR THE CITY OF ZURICH - PHYSICAL EXPERIMENTS Sarah Simonett, Martin Detert and Volker Weitbrecht	803
PROPOSAL OF RISK MITIGATION STRATEGIES BASED ON A CONCEPTUAL PLANNING APPROACH - A CASE STUDY CONDUCTED IN THE GADRIABACH STUDY SITE, VINSCHGAU VALLEY, ITALY Martin Stecher, Bruno Mazzorana and Johannes Hübl	811
EFFICIENCY ASSESSMENT FOR TORRENT PROTECTION WORKS - AN APPROACH BASED ON SAFETY AND RELIABILITY ANALYSIS Jean-Marc Tacnet, Corinne Curt, Rey Benjamin and Didier Richard	821
EINFLUSS DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BEWIRTSCHAFTUNG AUF ALPINE NATURGEFAHREN - EINE ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG Andreas Zischg, Romano Costa, Christian Flury and Andreas Schild	833

SESSION 4: Intervention and recovery

ESTIMATION DU VOLUME ET DE LA NATURE DES DÉCHETS PRODUITS PAR UNE INONDATION - ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION POUR L'ÉLABORATION D'UNE MÉTHODOLOGIE Hélène Beraud, Julien Jadot, Bruno Barroca, Gilles Hubert and Nicolas Bauduceau	849
L'EXPERTISE DES RISQUES D'AVALANCHE POUR LA PREVISION LOCALISEE ET L'APPUI A LA GESTION DE CRISE - L'EXPERIENCE DES SERVICES RTM Roland Claudet and Philippe Bouvet	861

LOKALE NATURGEFAHRENBERATER - FÜR ZIVILE FÜHRUNGSORGANE Martin Buser, Gian Reto Bezzola, Wanda Wicki and Peter Mani	873
QUANTITATIVE VULNERABILITY FUNCTIONS FOR USE IN MOUNTAIN HAZARD RISK MANAGEMENT - THE CHALLENGE OF TRANSFER Sven Fuchs, Ting-Chi Tsao and Margreth Keiler	885
NATURE HAZARD EMERGENCY PLANNING ON LOCAL LEVEL - THE BOTTOM-UP APPROACH OF THE CANTON OF LUCERNE René Graf	897
TOWARDS OPTIMISED EARLY WARNING - DEVELOPMENTS IN SWITZERLAND Josef Hess and Franziska Schmid	909
CONTINGENCY PLANNING ORIENTED HAZARD MAPS - NEW IDEAS AND LESSONS LEARNED WITHIN THE MONITOR II PROJECT - SLOVENIAN EXAMPLE Tanja Prešeren, Franci Steinman and Jože Papež	917
 <u>SESSION 5: Risk governance and policies</u>	
ECONOME-RAILWAY - A NEW CALCULATION METHOD AND TOOL FOR COMPARING THE EFFECTIVENESS AND THE COST-EFFICIENCY OF PROTECTIVE MEASURES ALONG RAILWAYS Michael Bründl, Cornelia Winkler and Reto Baumann	933
ARBEITSHILFE FÜR KOMMUNIKATION UND STRATEGISCHE ENTSCHEIDUNGEN IM BEREICH VON NATURGEFAHREN (CDT) - COMMUNICATION AND STRATEGIC DECISION SUPPORT TOOL FOR NATURAL HAZARDS (CDT) Karl Hagen and Peter Andreacs	945
RISIKOANALYSEN ALS GRUNDLAGE FÜR DIE AUFTEILUNG DER KOSTEN VON SCHUTZBAUTEN - EIN BEISPIEL Lukas Hunzinger, Sylvia Durrer and Hans-Heini Utelli	959
LE RISQUE INONDATION ET SA GESTION DANS UN LARGE TERRITOIRE: LA PLAINE DU RHÔNE EN AMONT DU LAC LÉMAN, FLOOD RISK AND ITS MANAGEMENT IN A LARGE AREA : THE RHONE PLAIN UPRIVER FROM LAKE GENEVA Jean-Pierre Jordan and Tony Arborino	967
WIRTSCHAFTLICHE SCHÄDEN DURCH GRAVITATIVE MASSENBEWEGUNGEN - ENTWICKLUNG EINES EMPIRISCHEN BERECHNUNGSMODELLS MIT REGIONALER ANWENDUNG Martin Klose, Bodo Damm, Birgit Terhorst, Norbert Schulz and Gerhard Gerold	979
RISIKODIALOG NATURGEFAHREN - AKTIONSPLAN RISIKODIALOG FÖRDERT PRÄVENTIONSMASSNAHMEN Astrid Leutwiler, Marco Baumann, Thomas Egli, Gaby Wyser and Dörte Aller	991

QUANTIFIZIERUNG DER NATURGEFAHRENBASIERTE RISIKEN AUF DEM NETZWERK DER SCHWEIZERISCHEN BUNDESBAHNEN Serena Liener, Peter Gsteiger, Esther Schönthal and Marc Hauser	1001
OPTIMETH - BEITRAG ZUR OPTIMALEN ANWENDUNG VON METHODEN ZUR BESCHREIBUNG VON WILDBACHPROZESSEN Anton Loipersberger, Rainer Höhne and Andreas Rimböck	1011
A DECISION THEORETICAL APPROACH TO IDENTIFY OPTIMAL RISK MITIGATION STRATEGIES Bruno Mazzorana, Sven Fuchs and Margreth Keiler	1021
A NEW VULNERABILITY FUNCTION FOR DEBRIS FLOW - THE IMPORTANCE OF PHYSICAL VULNERABILITY ASSESSMENT IN ALPINE AREAS Maria Papathoma-Köhle, Reinhold Totschnig, Margreth Keiler and Thomas Glade	1033
THE COSTS OF NATURAL HAZARDS IN ALPINE ENVIRONMENTS - CURRENT PRACTICE, END-USER NEEDS AND RECOMMENDATIONS Clemens Pfurtscheller and Annegret H. Thieken	1045
INTEGRALE WILDBACH - ENTWICKLUNGSKONZEPTE - EIN NEUER ANSATZ, UM ERHALT UND ZUKUNFTSANFORDERUNGEN IN EINKLANG ZU BRINGEN? Andreas Rimböck, Erich Eichenseer and Anton Loipersberger	1055
NATURAL HAZARDS IN SWITZERLAND: DATA ACQUISITION, ADMINISTRATION, DISTRIBUTION AND USE - THE IMPORTANCE OF CONCEPTUAL DATA MODELS Wolfgang Ruf and Roberto Loat	1067
PRAGMATISCHE EXPOSITIONS- UND RISIKOANALYSE FÜR HOCHWASSERGEFAHREN Stephan Schober, Andreas Zischg and Norbert Sereinig	1079
PLANNING AND EVALUATING PARTICIPATORY FLOOD RISK MANAGEMENT Therese Stickler, Norbert Sereinig, Stefan Greiving, Mark Fleischhauer and Katja Firus	1091
VERGLEICH VON VULNERABILITÄTSKURVEN FÜR WILDBACHPROZESSE, A COMPARISON OF VULNERABILITY FUNCTIONS FOR TORRENT PROCESSES Reinhold Totschnig and Sven Fuchs	1103
MANAGEMENT VON GRAVITATIVEN NATURGEFAHREN AUF NATIONALSTRASSEN IN DER SCHWEIZ - METHODIK RISIKOKONZEPT UND DESSEN ANWENDUNG Hans-Heini Utelli, Philippe Arnold, Lukas Hunzinger, Ueli Gruner, Andy Kipfer, Bernhard Perren and Jachen Cajos	1115

Structural measures and environmental protection effects

FULL SCALE FIELD TESTS ON ROCKFALL IMPACTING TREES FELLED TRANSVERSE TO THE SLOPE

Franck Bourrier¹, Luuk Dorren² and Frédéric Berger³

ABSTRACT

To compensate for the temporary loss of protection due to the reduced forest stand density in the felling area, a considerable part of the trees felled in rock fall protection forests are left in place. Although being a widely used technique, there is little objective information on the efficacy of these trees felled transverse to the slope.

To quantify the protective function of such structures, full scale rock fall tests on a protective structure made with trees felled transverse to the slope were carried out. The results show significant energy losses when impacting the structure. However, the rock energy significantly increases again after the structure if the rock is not stopped. Consequently, a larger number of transverse tree trunks is required to stop all rocks and, to increase the number of stopped rocks, the structure height has to be determined in relation to the rock size which promotes, in most cases, structures made of stacked trees.

Keywords: Rock fall, forest, field experiments

INTRODUCTION

Although recognised since centuries, the protective function of forests against rockfall continuously gains importance in densely populated areas and along traffic ways throughout the Alps. Maintenance of these forests, in order to optimise or sustain this protective function, which accounts for all types of protective measures, has become an important task for persons responsible for managing those forests. Common practices in the European Alps show that a considerable part of the trees felled in rockfall (and also avalanche) protection forests are left in place, in oblique position to the steepest slope direction. This is being done to compensate for the temporary loss of protection due to the reduced forest stand density in the felling area. These fellings are, however, necessary to promote natural regeneration of the, in many cases, over-mature protection forests. Although being a widely used technique, there is little objective information on the efficacy of these trees felled transverse to the slope (in German: Querfällung). Therefore, the research work presented in this paper aims at providing practical information to stakeholders, foresters, and natural hazard managers to quantify the protective function of such structures and at defining optimal design schemes (trunk anchorage, optimal oblique stem angle regarding the steepest slope direction, dealing with wood decay). For this purpose, full scale (or real-size) rockfall impact tests on mature trees felled across the slope were carried out and filmed at the study site of Vaujany. This site has been used for full scale rockfall experiments since 2002 by the researchers from Cemagref (French research institute in science and technology for the environment).

EXPERIMENTS

The experimental site (Dorren et al, 2006; Bourrier et al., 2009) is located in the ‘Forêt Communale de Vaujany’ in France (lat. 45°12’, long. 6°3’). The study area covers an Alpine slope ranging from 1200 m to 1400 m above sea level with a mean gradient of 38°. The experimental site is part of a

¹ Franck Bourrier. Cemagref Grenoble - UR EMGR, France (e-mail: franck.bourrier@cemagref.fr)

² Luuk Dorren. Federal Office for the Environment FOEN - Hazard Prevention Division, Switzerland

³ Frédéric Berger. Cemagref Grenoble - UR EMGR, France

slope that is formed by a postglacial talus slope (Fig. 1), downslope from rock faces consisting of the “Granite des Sept Laux”, which belong to the crystalline Belledonne massif. The talus cone mainly consists of rock avalanche, snow avalanche, and rockfall deposits. The study site is approx. 100 m wide and 570 m long (distance between the starting point and the lower forest road, measured along the slope). Between the starting point and the lower forest road, it has the shape of a channel with a maximum depth and width of 2 and 10 m, respectively.

The experimental site covers an avalanche couloir and is therefore denuded of trees. However, the trees standing along the border of the avalanche couloir allowed selecting four trees (2 white firs, 1 beech and 1 spruce tree) for the installation of a protective structure using felled trees. They were located around 40m down slope from the release point of the rocks. The four trees were felled by experienced lumberjack from Vorarlberg (Austria) and placed in an oblique way regarding the direction of the couloirs (Fig. 1). Finally, the felled stems were attached to their stumps by wire cables.

Before each single rockfall experiment, the rock to be thrown was weighed by an excavator using a load cell. Its dimensions were estimated by measuring the height, width and depth along the three most dominant rock axes. A total of 50 rocks were released individually, one after the other. The mean volume of the sample rocks was 1 m^3 .

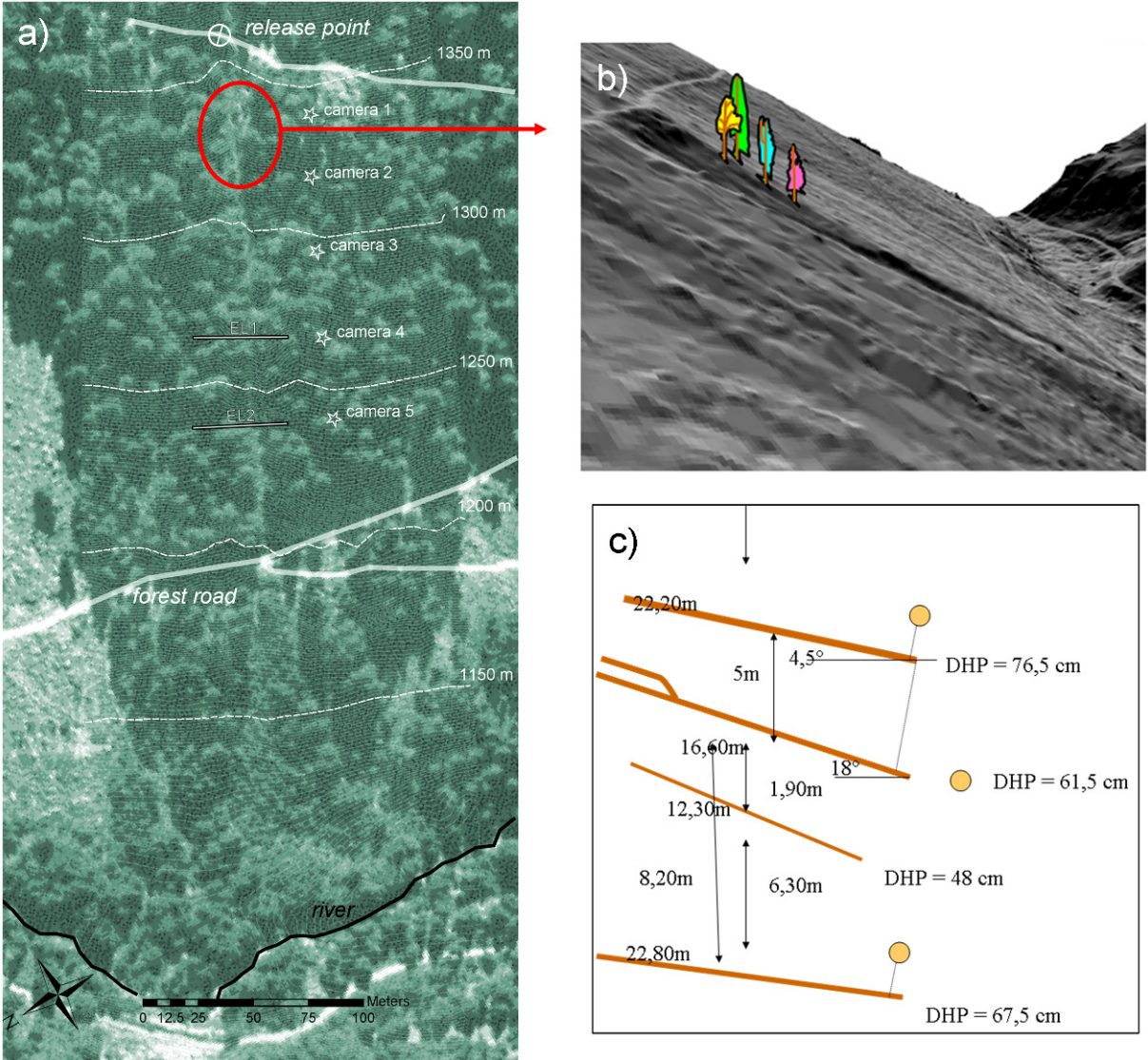


Fig. 1 a) Overview of the study site ; b) Location of the felled tree ; c) Felled tree structure

High-speed cameras (211fps) were used to measure the translational and rotational velocities of the rocks before and after impacting the trees felled across the slope. These measures allowed us evaluating the local efficacy of the protective structure in terms of energy dissipation and changes in fall directions. The velocities and passing heights of the rocks were also measured at two “evaluation lines” located 185 and 235m from the release point using two video cameras. These measurements were done to be compared with similar values without protection structures measured at the same evaluation screens during the experiments described in Dorren et al. (2006). This comparison allowed evaluating the global efficacy of the installed protective structure.

Analysis of the digital footage was carried out to determine the trajectories of the rocks before and after impact on the felled trees. For a given impact, the measurement of the trajectory just before an impact gives the incident translational and rotational velocities. Reflected velocities were obtained by analyzing the trajectory after impact. It was not possible to measure all six velocity components in three dimensions using the cameras. The cameras can only be used to measure the projection of the translational velocities in the camera frame and the component of rotational velocity around an axis perpendicular to the camera frame. However, projection errors are limited in this context because the rocks are travelling approximately parallel with the plane of the camera frame and rotating in this plane.

Frame images were extracted from the films using an image interlocking suppression process for every 1/211th second for cameras in the neighbourhood of the felled trees and for every 1/50th second for the camera at evaluation lines. Processing of every image allowed determining the contour of the rock and, as a result, calculating the location of the gravity centre of the rock and the orientation of the rock in the image. These data had to be converted from pixel units to metric units. The conversion ratio is calculated for each image from the measurement of the distance in pixels between specific points whose distances were measured in the field. For each impact, different point couples were used to estimate the error included in the conversion factor.

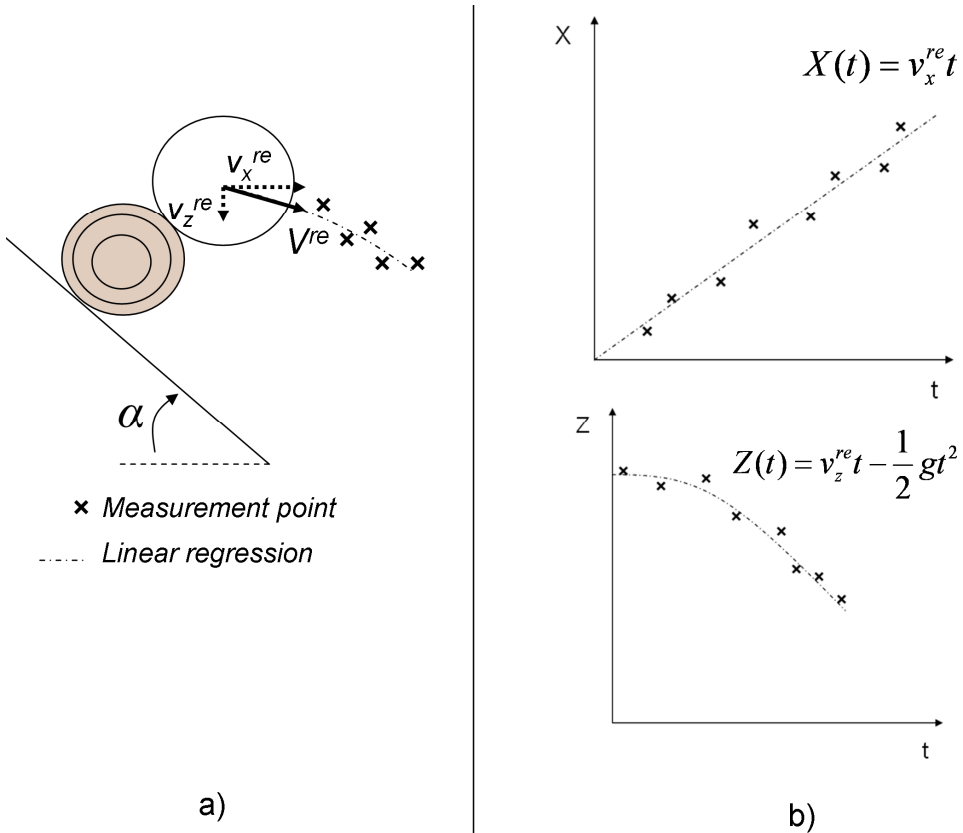


Fig. 2 a) Principle of the analysis of the measurement points using linear regressions to obtain the values of the reflected velocities ; b) Linear regressions for the derivation of translational velocity components

The reflected and incident velocities were calculated from linear regressions of the time evolutions of the location of the gravity centre of the rock and of its orientation (Fig. 2). The regression relationships are based on the theoretical equations of the horizontal and vertical motions of a rock under gravity, for free flight phases between impacts (ballistic trajectory). Linear regression of the time evolution of the particle orientation also allowed calculating the mean rotational velocities of the rock before and after rebound. The calculation process is illustrated above for reflected velocities.

The error on the measured velocities can be decomposed into the error in the value of the conversion factor from pixel to metric unit and the rock gravity centre identification error resulting in the regression error. The errors were quantified by indirect methods to estimate the accuracy of the velocity measurements. The conversion factor was calculated for one image using 10 different known field point couples. The maximum difference in the calculation of the conversion factor is 6.3% of the minimum values of the factor. To estimate both the regression error and the error on the rock gravity centre identification, the same film was treated 10 times. From these 10 measurements, the mean regression residual is of the order of 0,05 m and the maximum difference between the norm of the velocities is 9,1% of the maximum velocity obtained.

For the velocities after impact, called reflected velocities, the theoretical trajectory of the rock gravity centre just after rebound is characterized by the equations (Fig. 2b):

$$X(t) = v_x^{re} t \quad (1)$$

$$Z(t) = v_z^{re} t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

where $X(t)$ and $Z(t)$ are the horizontal and vertical positions of the rock gravity centre, v_x^{re} and v_z^{re} are the horizontal and vertical components of the reflected velocities, g is the gravitational acceleration, and t is the time starting from the end of the previous impact on the soil.

The components of the rock velocity tangential (V_t^{re}) and normal (V_n^{re}) to the slope surface are calculated from the horizontal and vertical components:

$$V_t^{re} = v_x^{re} \cos \alpha - v_z^{re} \sin \alpha \quad (3)$$

$$V_n^{re} = v_x^{re} \sin \alpha + v_z^{re} \cos \alpha \quad (4)$$

where α is the mean slope angle in the vicinity of the current rock position (Fig. 3a).

RESULTS

The experiments (Fig. 3) at first show that 85.7 % of the released rocks impacted the structure and only 8.5% were directly stopped. 14% of the rocks impacted 3 felled trees, 31% impacted 2 trees and 40.7% impacted only 1 tree.

The velocities of the rocks before and after rebound (Fig. 4) were decomposed into a normal and tangential (with respect to the surface) components. The relative parts of these components before (called incident velocities V_n^{in} and V_t^{in}) and after (called reflected velocities V_n^{re} and V_t^{re}) impact were measured. Le rotational velocities before (ω^{in}) and after (ω^{re}) impact were also recorded. The rotational velocities were multiplied by the mean radius of the rock R_b and scaled to the value of the translational velocity before impact V^{in} defined as follows:

$$V^{in} = \sqrt{V_t^{in} + V_n^{in}} \quad (5)$$

The tangential and normal velocities were also scaled to the value of the translational velocity before impact V^{in} .



Fig. 3 Snapshot of the impact of a rock on a felled tree

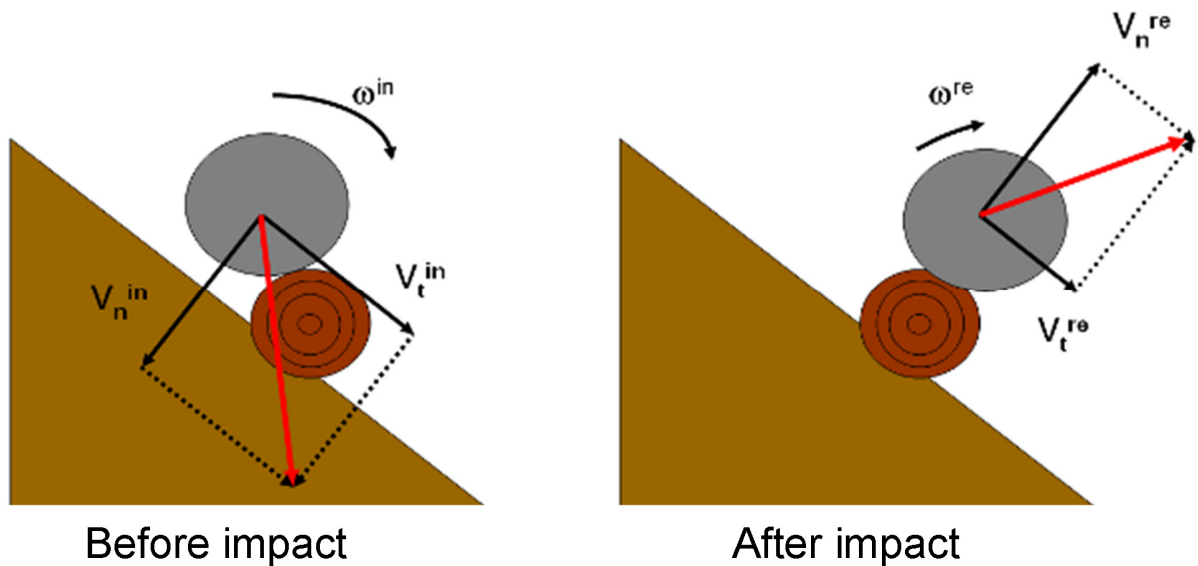


Fig. 4 Tangential and normal velocities before and after impact

Tab. 1 Means and standard deviations of the tangential, normal and rotational velocities before and after impact

	Before impact		After impact		Diff. After/Before
	Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.	Mean
V_t/V^{in}	96 %	4 %	64 %	24 %	-32 %
V_n/V^{in}	23 %	14 %	26 %	14 %	-3 %
$R_b\omega/V^{in}$	0.4 %	0.01 %	0.3 %	0.01 %	-0.1 %

Based on the analysis of 25 rebounds (Tab. 1), the results show that the tangential components of the velocity were significantly reduced (- 30%) whereas both normal and rotational components were hardly modified. The impact on the structure therefore induces kinetic energy losses. Changes in the fall direction towards the direction of the felled stem were also observed.

The passing velocities and heights to the slope surface were measured for 16 rocks at evaluation line 1 (EL1 – 185m from the release point) and 13 at evaluation line 2 (EL2 – 235m from the release point). These measurements allowed estimating the mean and standard deviation of the velocity and passing

height distributions that were compared with these values without felled trees. Velocity and passing height without felled trees were measured for 102 rocks during previous experimental campaigns (Dorren et al., 2006). No significant differences with and without the protective structure were observed for the velocities and passing heights at the two evaluation screens located more than 100m further down slope (Tab. 2).

Tab. 2 Comparison between the mean and standard deviation of the rock velocity and passing height with and without felled trees at Evaluation Line 1 located 185m after the rock release point.

	Without felled trees		With felled trees	
	Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.
Velocity (m/s)	12.5	5.2	15.3	4.2
Passing height (m)	1.4	1.1	1.3	0.7

DISCUSSION

Despite significant energy losses when impacting the structure, the rock energy significantly increases again after the structure. Consequently, a larger number of transversely felled trees is required to stop all rocks. In addition, the structure height seems to be not sufficient: in this site and for 1m³ rocks, structures made of stacked trees could be significantly more efficient. However, this assumption should be proven by additional experiments. As these structures are much more complicated to establish in steep terrain the efficacy is a major cost factor.

Additional criteria for the design of felled tree structures are therefore required for such structure to be efficient with regards to structure height compared with rock size. One could therefore recommend using structure heights larger than the highest rock size although this recommendation has to be confirmed by additional experiments. In this case, using structures made of piled trees would therefore be more efficient (Fig. 5, Fig. 6).

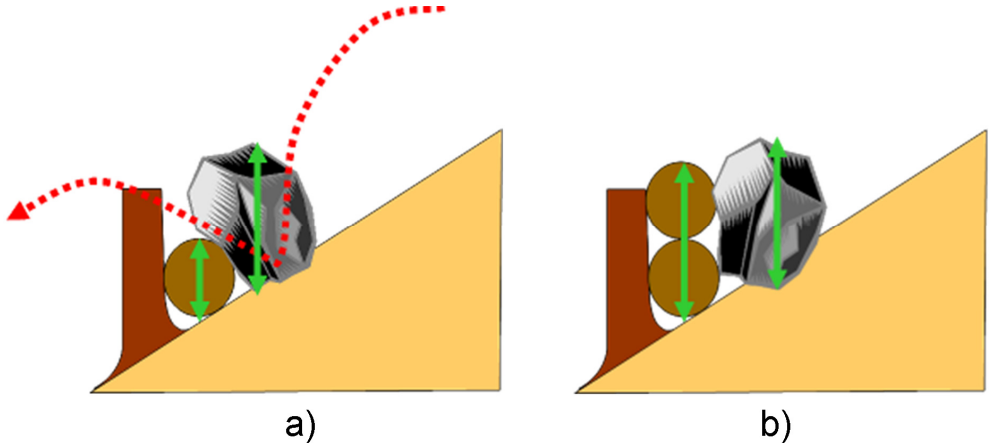


Fig. 5 Examples of felled trees structures designed in an non efficient (a) and efficient (b) way with regards to the structure height compared with the larger rock size



Fig. 6 Example of a structure made of piled felled trees (Cemagref, 2008)

The results also show that the rocks that were not stopped by the felled trees gain velocity again after have passed the structure. This induces that the differences in the passing velocities at the evaluation lines with and without felled trees are smaller than expected. However, a more important mean velocity combined with a smaller standard deviation of the velocity distribution with felled trees tends to show that the rocks passing the structure are associated with large velocity and, consequently, that stopped rocks are associated with small kinetic energy. The structures are therefore, obviously, more efficient for the rocks that have the smaller kinetic energy. One could therefore assume that, in forested slope, where the rocks velocities are smaller (Dorren et al., 2006), using felled trees structures is more efficient due to the combined effect of these structures with standing trees.

The interaction with felled trees also strongly modifies the rocks trajectory. In particular, the mean of the tangential component of the rocks velocity is significantly reduced whereas the mean of the normal component of the velocity is not modified. The free flight of the rock is therefore higher from the slope surface and the flight distance is smaller than if the tree was not impacted. Although further statistical investigations cannot be held given the reduced amount of data, these data provide interesting results concerning the definition of a probabilistic model of the interaction with felled in rockfall simulation codes. Indeed, such a model should consider at least significant changes in the tangential component of the rock velocity.

The changes in the rock kinematic due to the interaction with the felled trees also highlights a potential negative effect of felled tree structures that was not expected. Indeed, the significant decrease of the tangential component shows that the structure may act as a springboard. Such a phenomenon may therefore induce catastrophic consequence if the felled trees are placed near from rockfall nets, for example. However, if design criteria for the structure high compared with the rock size are fulfilled, the structure will stop the rock and the negative «springboard effect » would be reduced.

CONCLUSION-PERSPECTIVES

The experiments allowed testing the efficacy of a protective structure made with trees felled across the slope. The results confirm the empirical knowledge regarding the design of these structures: trees felled in an oblique way have a high probability to be impacted by falling rocks and such trees induce rockfall energy dissipation and a change in the fall direction. On the basis of the field observations, design recommendation regarding the structure height in relation to the mean diameter of the falling rocks has been found. The improvement of our knowledge on these structures however requires further laboratory studies to explore several design schemes as well as additional field experiments to evaluate the efficacy of such structures. These experimental researches should focus on studying the efficiency of these structures in combination with construction costs.

In order to improve our knowledge on the efficiency and on the dissipative capacity of these structures, further experiments are envisaged. In particular, the combined effect of felled tree structure with forest will be studied from similar experiments in a forested slope. In addition, laboratory experiments are currently in progress to provide preliminary results concerning the optimal distance between two felled trees structures, the orientation of the trees relative to the slope aspect...Finally, the dissipative capacity of these structures and its evolution in relation with the aging of the structure will be studied using controlled laboratory impact experiments using a pendulum testing device.

ACKNOWLEDGEMENTS

This experimental study was held in the framework of a joint Cemagref-Bafu (Swiss federal office for the environment) project.

REFERENCES

- Bourrier F., Dorren L., Nicot F., Berger F., Darve F. (2009). Towards objective rockfall trajectory simulation using a stochastic impact model. *Geomorphology* 110: 68-79.
- Dorren L.K.A., Berger F., Putters U.S. (2006). Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6: 145–153.

PREVENTING WOOD-RELATED HAZARDS IN MOUNTAIN BASINS: FROM WOOD LOAD ESTIMATION TO DESIGNING RETENTION STRUCTURES

Francesco Comiti¹, Vincenzo D'Agostino², Martin Moser³, Mario Aristide Lenzi²,
Francesco Bettella², Andrea Dell'Agnese¹, Emanuel Rigon², Sandro Gius³ and Bruno Mazzorana³

ABSTRACT

Large wood (LW) represents one of the main problems for risk prediction in Alpine streams, mostly because of its potential to clog bridges, culverts and narrow sections during flood events. In order to prevent wood from reaching critical sections, wood-trapping structures have long been built, but very often these works have been implemented without a rationale procedure and thus their efficiency has not been satisfactory. This paper presents a case study (the Rienz river just upstream of Bruneck, South Tyrol, Italy) where the design of a system (two structures) for wood trapping entailed – before structure and filter sizing – the determination of LW volumes from the hillslopes and from the river corridor, the definition of flood event scenarios, and hydraulic and morphodynamic modeling. The minimization of environmental impacts and the social acceptance of the structures were finally achieved before the actual implementation of the system.

Keywords: woody debris, flood scenarios, check-dams, debris racks

LARGE WOOD DYNAMICS IN MOUNTAIN RIVERS AND ITS MODELLING

In-channel large wood (LW) directly influences the physical, chemical and biological characters of aquatic ecosystems and as such is now recognized to represent a key component in river systems by ecologists and geomorphologists (Montgomery and Piégay, 2003). On the other hand, LW represents one of the main problems for risk prediction in Alpine streams mostly because of its potential to clog bridges, culverts and narrow sections during flood events (e.g. Comiti et al., 2008).

A reliable prediction of LW transport rates and volumes is still an open question, especially in relatively narrow mountain streams (Seo and Nakamura, 2009; Wohl and Goode, 2009). Focusing here on mountain river basins where LW transfer must be managed in order to reduce flood hazards (i.e. in the densely populated mountain areas such as the European and Japanese Alps), a better understanding of LW input processes and their localization is of great value, along with transport distance (Comiti et al., 2006; Mao et al., 2008). In fact, the identification of wood input, transport and deposition reaches within a channel network for different flood scenarios is needed to estimate probable LW volume and its characteristics (i.e. distribution of log length and diameter), which are required for siting and designing proper countermeasures. Unfortunately, the extreme complexity and stochasticity inherent in the array of processes entailing wood recruitment, transport and deposition render the implementation of deterministic models unsuitable or at least not feasible for the prediction of wood transport volume at relative short time scales (e.g. flood event scale). Instead, a simpler wood budget approach can be a viable and more reliable solution in mountain basins. In particular, conceptual models for LW routing may benefit from the use of reach geometric and morphological characteristics (e.g. width and depth relative to log size, bedforms, abundance of boulders) for modeling LW transfer along the system, whereas the identification of unstable areas on basin hillsides should help model LW input from landslide and debris flows, which are often the dominant sources in mountain basins. Such conceptual models for LW transfer can be spatially distributed with their implementation in a raster GIS-based model (Rigon, 2009; Mazzorana et al., 2009a, 2010; Rigon et al., 2012) and thus help

¹ Free University of Bozen-Bolzano, Faculty of Science and Technology, piazza Università 5, Bolzano, 39100 Italy.
(e-mail: francesco.comiti@unibz.it; Tel: +39-0471017126; Fax: +39-0471017009)

² University of Padova, Dept. of Land and Agroforest Environments, viale Università 16, Legnaro, 35126 Italy.

³ Autonomous Province of Bozen-Bolzano, Dept. of Hydraulic Engineering, via Cesare Battisti 23, Bolzano, 39100 Italy

predict the location of recruitment sites as well as of LW transport and depositional reaches. However, model calibration and validation against field data is crucial for their application as in all modeling efforts.

Currently, most of the published research regarding LW input rates, storage and distribution in mountain rivers derives from investigations in unmanaged, quasi-pristine watersheds in North America, even though several publications on LW transfer during flood events in basins of the European Alps are long available in German (e.g. Bänzinger, 1989; Rickenmann, 1997). However, the present capability to predict LW transport rates and volumes during floods is absolutely lower compared to the estimation of sediment transport.

LARGE WOOD MANAGEMENT STRATEGIES

In mountain rivers, LW transport is null to negligible for low to moderate floods. Therefore, for most of the time LW lies relatively stable in the river system contributing to bed stabilization, to limit sediment transport and to create bedforms (such as steps and scour pools) that provide habitats for fish and macroinvertebrate communities (Coe et al., 2009). Considerable in-channel wood transport and wood recruitment from slopes and eroded banks takes place only during high-magnitude, infrequent floods (possibly >10-20 yr recurrence interval). Therefore, wood exerts his positive eco-hydro-morphological effects in rivers for most of the time, becoming a potential hazard only during much shorter flood times. However, given the relevant anthropic presence along rivers of the European Alps, the entire removal of LW and riparian trees from channels and floodplains has long been adopted in the attempt to prevent bridge/culvert clogging and their consequent flooding. Nevertheless, this traditional approach is not sustainable because its effectiveness can be quite low (i.e., it does not avoid sudden LW input from hillslopes, which is often dominant during flood events), it is very expensive, and most of all it causes negative effects on stream morphology, bed and bank stability (Lisle, 1995), fish population and on the overall ecological status of rivers (Harmon et al., 1986). Beside channel clearing, wood-trapping structures have long been built in Europe and in Japan (Lange and Bezzola, 2006; Figure 1) to prevent wood from reaching critical sections.



Fig. 1 Images of different types of wood retention structures in the European Alps (higher centered and lower left images are from Lange and Bezzola, 2006; the lower right from Geobrugg, 2007).

Check-dams aimed at trapping both sediments and wood have first been developed adopting vertical and inclined buttresses as well as grids (Bezzola et al., 2004; Uchiogi et al., 1996; Figure 1). More recently, rope net barriers were designed for gravel and wood entrapment in small streams, and have been designed by physical modelling and field tests (Rimböck, 2004; Figure 2). In order to trap only floating wood in larger mountain rivers, cable-filter dams were also implemented. They are composed of harmonic steel cables fixed by tie-beams on the river banks and in some cases also within the channel by a buttress in order to reduce cables span length. A diagonal planimetric configuration forces the trapped wood to accumulate towards the river banks where it can be removed during floods

(Mazzalai et al., 2006). A different trapping system utilizes the so-called V-racks, where vertical metal piles fixed in the river bed can be arranged at different orientations but most commonly with a V-like planform pattern (Lange and Bezzola, 2006). However, the efficiency and the functional success of such protection measures depend on many factors which include LW volumes and rates, timing of LW transport during the flood, LW size distribution, interaction between bed, LW and sediment in the proximity of the structure, location and orientation with respect to the flow, and local flow characteristics (Rimböck, 2004).

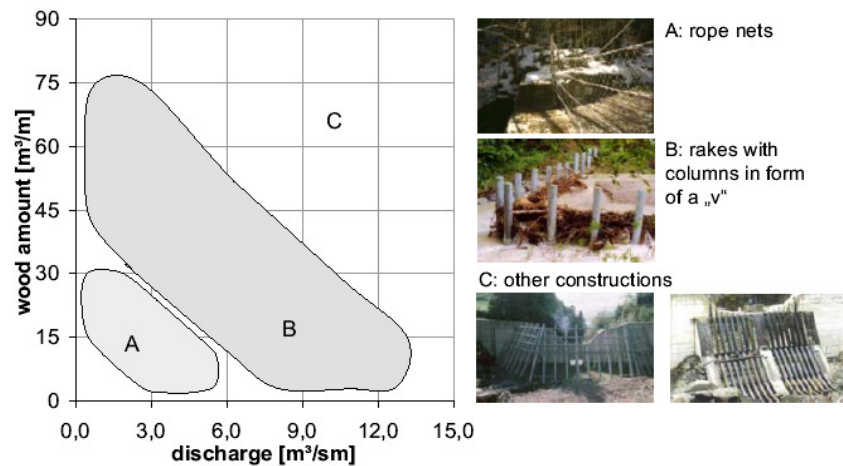


Fig. 2 The type of wood retention structure to be installed depends on expected wood load and unit flow discharge according to Rimböck (2004).

Indeed, given the huge uncertainties regarding LW transport rates and volumes during flood events, designing an efficient system for wood retention is not an easy task at all. The main goal of the paper is to describe a rational procedure to be applied in mountain basins for coping with wood hazard, a problem which has often been tackled by public agencies responsible for river management without a systematic framework to plan and design retention structures.

DESCRIPTION OF THE CASE STUDY

The case study presented is the Rienz river just upstream of Bruneck (South Tyrol, Italy, Figure 3) where two large retention structures are to be installed by 2012. The drainage area of the Rienz basin at Bruneck is about 640 km², the channel width is on average 10 m, the slope is about 1.5%, and the median grain size of the bed surface is 70 mm (D_{90} is 280 mm). The 300 yr discharge (Q_{300} , which is the design flow value used in South Tyrol for mountain rivers) is estimated to be around 300 m³s⁻¹ and flood duration about 30 hr (Scherer, 2008). Wood retention structures upstream of Bruneck are needed because many low bridges span the channel in the city, rendering the potential for wood clogging quite relevant (Mazzorana et al., 2011). In fact, large wood sources in the basin are widespread, including the main river corridor – which hosts mature spruce stands (Figure 4) on the floodplain and on the low terraces created by bed incision and channel narrowing occurred since the 1960s (from 17 m width in 1954 to 9 m in 2006) – and the hillslopes which present diffuse mass wasting processes. Harvested logs stored near river banks could represent an additional potential wood input in case of above-bankfull flows (Figure 4).

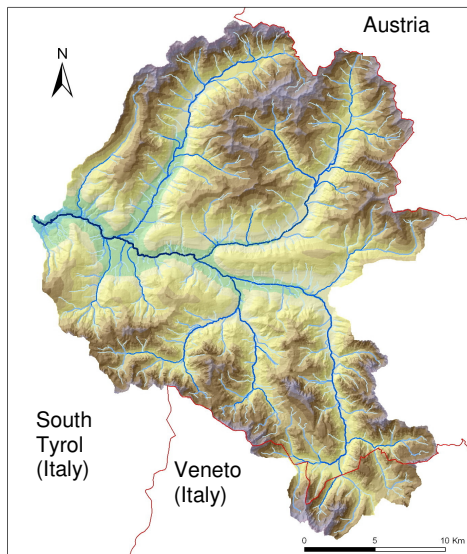


Fig. 3 Channel network of the Rienz basin (left) upstream of Bruneck, the city depicted in the painting (right) during the 1882 flood, when a great deal of floating large wood is displayed.



Fig. 4 Mature spruce stands on the floodplain (left) and cut logs lying on the channel banks (right).

PROCEDURE FOR DESIGNING WOOD RETENTION STRUCTURES

A rational procedure for a correct design of wood retention structures should entail all the steps necessary to achieve the most reliable trapping system, i.e. from the identification of LW input locations and volumes, passing through the definition of structure characteristics, filter type and size, to end up with a cost-benefit analysis and the achievement of social acceptance. In summary, the steps involved in the Rienz project are shown in Figure 5. In this paper, for sake of brevity we will focus on only some of the steps, specifically those dealing with LW volume estimation and filter design, which are the least established both in the scientific literature and in the practice.

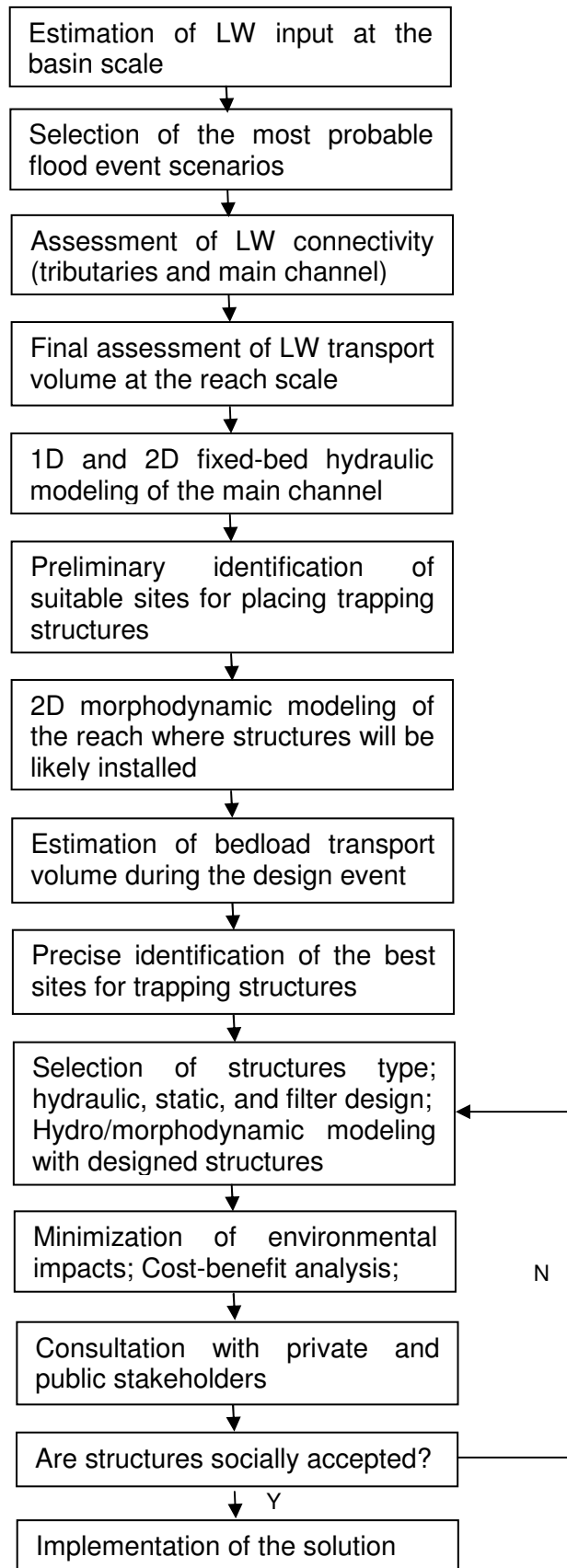


Fig. 5 Flow chart illustrating the procedure adopted in the Rienz project.

Estimation of LW input volumes at the basin scale

Calculation of LW input volumes was separated into hillslope and river corridor sources. For the former, a bivariate geostatistical model (Weight of Evidence, WofE) for mass wasting processes was applied to the entire Rienz basin following a detailed inventory of landslides. The instabilities maps – for 2 different probabilistic scenarios of occurrence, i.e. high and low instability – were then intersected with forest management maps. Downslope LW transfer was modelled using a decay function (Figure 6, see for details Rigon, 2009, and Rigon et al., 2012).

For the river corridor, a geomorphological approach was deployed (Figure 7). This was based on the visual identification of all erodible floodplain and low terrace surfaces using a detailed (2.5m cell) LiDAR-derived DTM. Woodland standing volume (in m^3ha^{-1}) was estimated from the combined use of the LiDAR DSM (providing the canopy height) and field plots where tree height and diameter were surveyed and then converted into tree volume by forestry growth tables. Here the assumption was that an extraordinary flood event (about 300 yr recurrence period) would cause tree uprooting from the entire river corridor, because this was almost entirely still active channel until 50 yr ago, before the narrowing due to dam construction and retention structures in the tributaries.

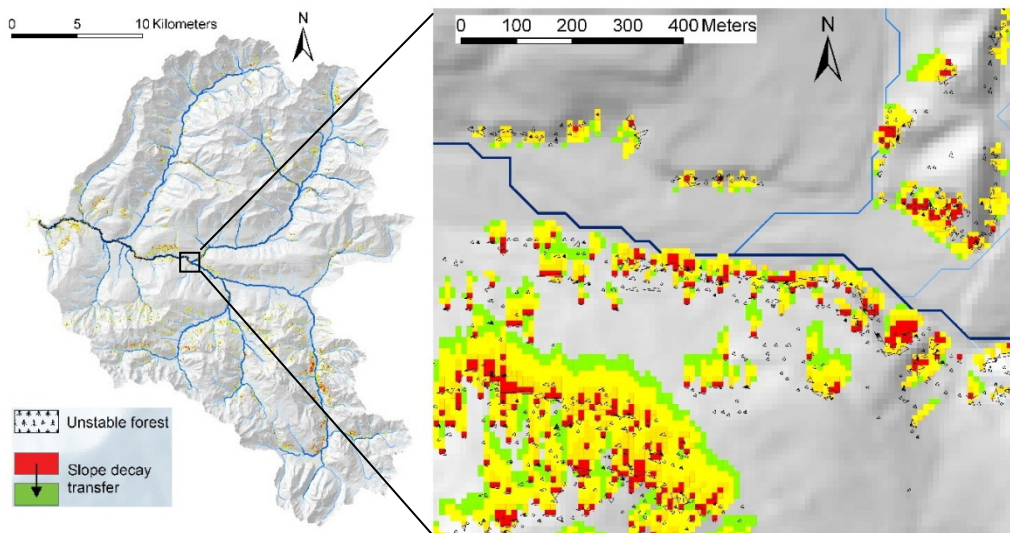


Fig. 6 LW input from the hillslope as modeled by the geostatistical stability model and downslope decay function. Left, the output for the entire basin, right a closer view.

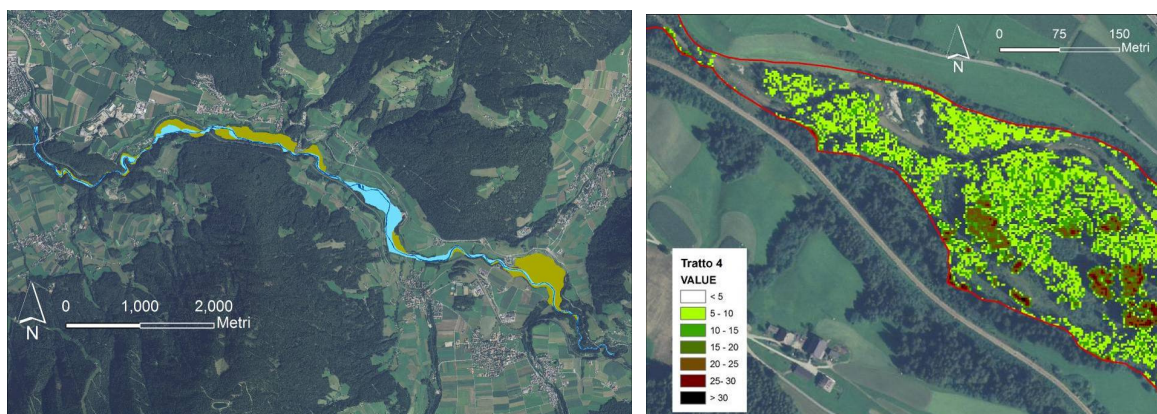


Fig. 7 LW input from the river corridor. Left, the identification of active channel (blue), floodplain (light blue) and low terraces (green). Right, classes of canopy height (in m) as calculated from the LiDAR-derived DSM.

Selection of the most likely flood event scenarios

The necessity of building formative scenarios for ex-ante flood event analysis is becoming widely accepted (Mazzorana et al, 2009b, 2012). In particular, the interaction of flow with sediment and LW, as well as the response of control structures during the event, are the factors which are difficult to treat and predict analytically, and thus a probabilistic approach is more suitable for their inclusion into flood management. The 300 yr event – for which the structures are to be designed following the requirements of the Autonomous Province of Bolzano – in the Rienz river at Bruneck is most likely generated by relatively large and long-lasting (>24 hr) cyclonic storms due to the large size of the basin. Indeed, the largest event historically recorded in the Rienz occurred during the second half of September 1882 and lasted for several days. This implies that high-magnitude debris flows and floods along the steeper, smaller tributaries are quite unlikely to take place simultaneously to a large flood in the main channel, as the former are usually triggered by short-duration summer thunderstorms. Therefore, LW input from these tributaries *during the design event for the Rienz* should be considered rather low (i.e. much smaller than their potential). Only the larger tributaries (Antholzer, Wielen, Furkel, Brunst, see Figure 8) could possibly exhibit very large discharges with the associated sediment and LW fluxes, estimated from high instability scenarios, during such long cyclonic event. Within the scenario selection, it was finally explicitly assumed that all key structures in the basin, including dams and retention check-dams, would be stable and functioning.

Evaluation of LW connectivity between tributaries and the main channel

LW volumes potentially recruited in the tributaries is not always going to be delivered to the main channel. Indeed, dams, wood-trapping structures and low bridges may effectively disconnect tributaries and thus reduce the total LW volume reaching the main channel. This is the case of the Rienz, where one large dam at Welsberg disconnects the upper basin (432 km²) both in terms of sediments and LW (Figure 8), thus simplifying substantially the system. Furthermore, most of the nine tributaries entering the Rienz river downstream of the dam (Figure 8) present grid check-dams for wood retention and/or several bridges (Figure 9) which most likely would cause jamming during high-magnitude events, as it turned out based on simple 1D, uniform flow hydraulic calculations.

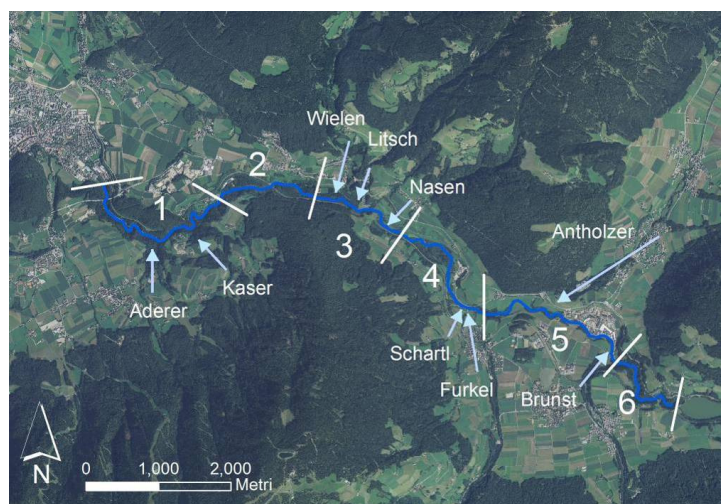


Fig. 8 Subdivision of the Rienz river between Bruneck (on the left) and the Welsberg dam (right) into six reaches for LW input evaluation. Tributaries are marked by arrows.

LW input volume from the larger tributaries (Antholzer, Wielen, Furkel and Brunst) was then reduced to take into account the effect exerted by these wood-trapping structures. The estimation was based exclusively on expert judgement. For the remaining smaller and steeper channels, the relatively small LW input (assessed based on the flood scenarios considerations mentioned above) was further reduced either because of the presence of control works or for the narrow channel section strongly limiting LW transfer in non-debris flow channels.



Fig. 9 Wood retention check-dams and several bridges are present in most of the Rienz tributaries.

Final assessment of LW transport volume at the reach scale

A simplified wood budget approach was applied – at the temporal scale of the design flood event – for the estimation of LW volumes, wherein it was assumed that LW potentially floating down to Bruneck equals the input to the main channel, i.e. LW storage in the channel during the 300 yr event is negligible due to the high-energy characteristics of the Rienz river.

LW input to any given reach of the Rienz may originate from i) by fluvial erosion processes in the main river corridor; ii) by mass wasting processes on the hillslopes adjacent to the main channel; iii) by fluvial transport in the tributaries (debris flow-transported LW was excluded in the scenario analysis, see above). The relative magnitude of these three components is depicted in Figure 10. Total LW input at the reach scale ranges from about $270 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1}$ (reach 5) to $1,000 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1}$ (reach 2). The total LW volume cumulated at Bruneck (sum of the input from all the reaches) results to be about $6,000 \text{ m}^3$. It can be observed that the dominant source is the river corridor. Accounting for a certain forest growth (15%) over the next decades, the design LW volume at Bruneck attains a value of about $7,000 \text{ m}^3$ ($620 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1}$), which represents the design LW volume for designing the trapping system.

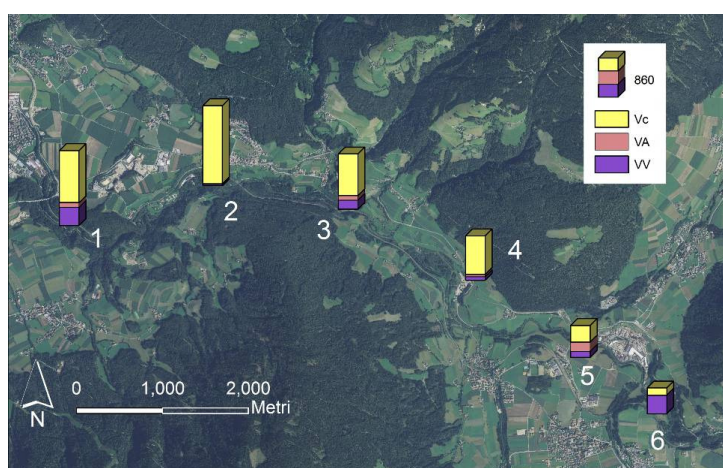


Fig. 10 LW input volumes (in m^3) at the reach scale, divided into river corridor (Vc), tributaries (Va), and hillslopes (Vv).

Hydraulic modelling

After a preliminary 1D hydraulic modeling (by means of HEC-RAS) of the entire river segment from the Welsberg dam to Bruneck, a 2D hydraulic modeling of reaches 1, 2 and 3 (Figure 10) was carried out using the numerical model FLO-2D (O' Brien, 2007). In FLO-2D, the floodplain DTM was aggregated into 5m cells starting from the original 2.5m. Manning's n roughness coefficient of the channel bed was assigned based on grid-by-number grain size distributions by using the equation proposed by Limerinos (1970), whereas for vegetated areas different values of the roughness coefficient were attributed based on vegetation characteristics (height and diameter) following the indication of Cowan (1956) and DVWK (1991). The simulations allowed to derive flow paths, flooded areas, flow depth and velocity, as well as Froude number distributions, all these being essential information for a proper identification of the most suitable sites for the installation of retention structures.

Identification of the best sites for wood retention structures

As pointed out by Rimböck (2004) and Lange and Bezzola (2006), the efficiency of wood-trapping structures is strongly augmented when sediment and wood phases are kept separated in space. This goal can be achieved by the implementation of more structures rather than just a single one, where each of them is designed to fulfill a different task. In the Rienz, in order to trap the large LW volumes potentially recruited in the lower reaches near Bruneck, the wood-trapping system should be placed not much upstream of the city. An ideal site was preliminarily identified at the narrowest section of the river where bedrock emerges on both sides, and where a natural widening of the river corridor is present upstream (Figure 11, right of the image). Here, sediment transport calculations based on 1D and 2D hydraulic models as well as on 2D morphodynamic simulations (using FLO-2D under mobile-bed conditions) indicated that most of the bedload during the Q_{300} tends naturally to deposit in the first half of the widening for the sudden reduction in energy slope and flow depth. A wood retention structure located in the narrow section thus would be ideal to take advantage of and to increase further the bedload deposition upstream, so that LW reaching the structure would be poorly affected by sedimentation in its surrounding. At this section, LW was estimated to be around 5,200 m³. However, given the large LW input (1,700 m³) assessed for reach 1 (downstream of this section), an additional structure was deemed necessary and the most suitable site – featuring lower flow velocities and natural backwater areas prone to retain LW during the event – was identified (Figure 11).

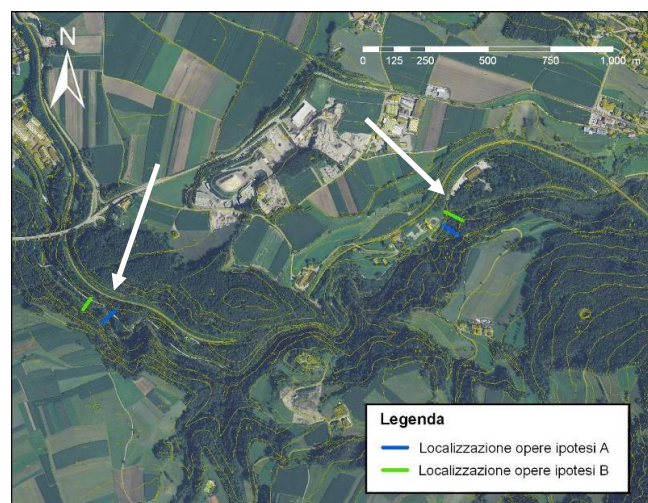


Fig.11 Arrows indicate the sites identified for the placement of the two structures comprising the trapping system, with two options (A and B) differing slightly in terms of structure size and exact location. Flow is from right to left.

Within these general sites for the two structures (arrows in Figure 11), two options regarding their exact location and height were tested by means of numerical simulations whereby the structures were simulated as if their filters (still not designed) were completely clogged and thus functioning as normal

check-dams (i.e. the worst-case hydraulic scenario). The final decision on location and height was achieved by comparing the storage capacity upstream of the structures for these two options.

Selection of structure type and design

The designed system comprises two structures (Figure 12) located about 1 km apart: an inclined-grid check-dam (6.5 m high, 30 m wide) upstream, and V-shaped inclined metal racks (4m high) downstream. The latter is to retain the LW recruited in the intervening reach (reach 1) and as a back-up solution in case of LW spilling over the upstream structure. Both structures were designed to minimize the impact on the longitudinal river continuity both in term of sediment and fish mobility. This was achieved by providing a large “opening” sized to convey the entire bankfull discharge (estimated about $70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) in the lower part of the inclined-grid check-dam (Figure 12). Instead, the widely-spaced metal racks (see below) should not interfere with the longitudinal continuity during low to normal flood events.

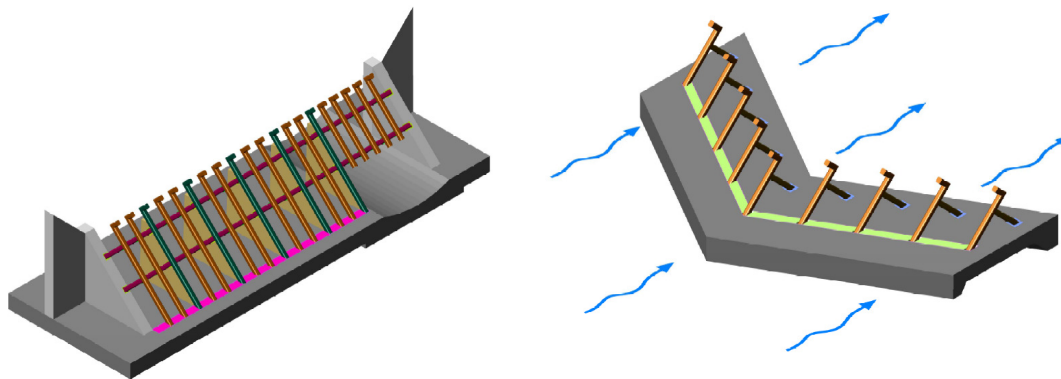


Fig. 12 Three dimensional view of the two wood retention structures: left, the inclined-grid (45°) check-dam to be installed upstream; right, the V-shaped inclined (45°) racks to be constructed downstream.

The hydraulic design of filters is similar for the two structures, and its goal is to leave unaltered most of the bedload transport through the lower part of the filter while trapping LW in the upper part of the retention racks/grid. Only the inclined-grid check-dam (Figure 12, left) is described here; this structure has already been built, while the social acceptance (Figure 5) of the V-shaped check-dam is still under discussion. According to D’Agostino et al. (2000), an inclination of 45° may be appropriate to obtain the sliding up of floating LW during a flood event. The net opening (s) between two adjacent steel beams was preliminary set to $s > 3 D_{90}$ (in this case $s > 0.84 \text{ m}$) in order to prevent filter clogging by bedload transport (D’Agostino, 2006). The efficiency (T) of trapping LW (i.e. the ratio between the number of retained LW elements and the number of those arrived to the filter) was then selected to be around 65% considering an expected modal log length (L_{log}) of about 2.5 m. With this assumptions the following formula (D’Agostino et al., 2000) was applied:

$$T = 0.0015 K^2 - 0.092 K + 1.23 \quad (1)$$

where K is a dimensionless variable defined as $K = s / (L_{log} Fr^2)$, with Fr being the Froude number of the subcritical flow behind the filter. K expresses the ratio between the opening width – directly proportional to filter “permeability” – and the variables directly proportional to its “impermeability”, i.e. log length and flow kinetics. Equation 1 is valid under conditions of uncongested LW transport (1 element per second) and for cylindrical LW without branches (D’Agostino et al., 2000). For this reason the value $T=0.65$ can be considered a minimum assumption of the actual trapping efficiency. The application of Equation 1 (with $Fr=0.24$ at $Q=300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ from the 2D modeling) led to an opening width s of about 1 m. A smaller value ($s=0.9 \text{ m}$) was suggested for the part of the grid facing the main flow where larger rates of LW are expected, whereas opening width up to 1.2 m could be placed near the banks, where retention is enhanced by reduced flow velocity and secondary currents. Furthermore,

the variation of the trapping efficiency T for LW elements of different length (L_{\log}) was assessed using Equation 1 (Figure 13).

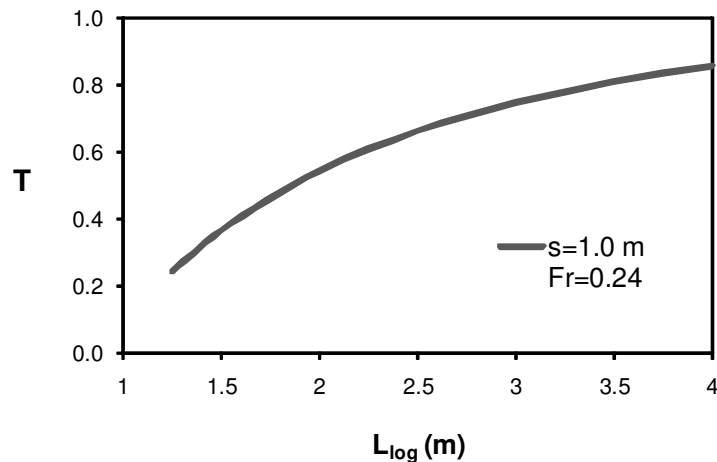


Fig. 13 Variation of trapping efficiency T (dimensionless) as a function of log length for a filter opening of 1 m under the kinetic conditions ($Fr=0.24$) estimated upstream of the inclined-grid check-dam.

CONCLUSIONS

A sustainable management of in-channel wood transport is of the greatest relevance for mountain basins of the European Alps and elsewhere. The installation of efficient wood retention structures is crucial to assure protection against excessive wood transport during flood events in vulnerable sites. At the same time, they permit to leave sufficient wood storage in the channels and mature vegetation in the riparian areas, which are fundamental factors to be maintained for the hydromorphological quality of river systems, as provided for also by the EU Water Framework Directive. Nonetheless, a correct planning and design of trapping structures is not straightforward and subject to large uncertainties, so that marked improvements may be achieved in the near future through the adoption of rationale design procedures such as the one described in this paper and by monitoring trapping efficiency of existing structures.

ACKNOWLEDGMENTS

The work was partly supported by the project: “Dynamics of large wood in Alpine streams: from field survey to modeling” - Progetto di Ateneo 2010 - University of Padova (Italy).

REFERENCES

- Bänziger R. (1989). Driftwood during the Floodings in Switzerland in 1987. Internal Report, WSL, Birmensdorf, Switzerland.
- Bezzola G.R., Sigg H., Lange D. (2004). Driftwood retention works in Switzerland. International Symposium Interpraevent 2004, 3: 29-40.
- Coe H.J., Kiffney P.M., Pess G.R., Kloehn K.K., Mchenry M.L. (2009). Periphyton and invertebrate response to wood placement in large pacific coastal rivers. *River Research and Applications* 25(8): 1025-1035.
- Comiti F., Andreoli A., Lenzi M.A., Mao L. (2006). Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). *Geomorphology* 78: 44-63.
- Comiti F., Mao L., Preciso E., Picco L., Marchi L., Borga M. (2008). Large wood and flash floods: evidences from the 2007 event in the the Davca basin (Slovenia). In: *Monitoring, simulation, prevention and remediation of dense and debris flow II*, 60, WIT press, UK: 173-182.
- D’Agostino V., Degetto M., Righetti M. (2000). Experimental investigation on open check dam for coarse woody debris control. *Quaderni di Idronomia Montana* 20: 201-212.

- D'Agostino V. (2006). Le opere di idraulica torrentizia per il controllo dei sedimenti, Quaderni di Idronomia Montana, 26, Le sistemazioni idraulico-forestali per la difesa del territorio, Nuova Bios, Cosenza: 231-250.
- DVWK (1991). Merkblätter zur Wasserwirtschaft 220/1991. Hydraulische Berechnung von Fließgewässern.
- Geobruigg (2007). Schwemmholz-barrieren. Feldversuche Lobentalbach, Lobental, Deutschland, pp. 4.
- Harmon M.E., Franklin J.K., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K., Cummins K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133-302.
- Lange D., Bezzola G.R. (2006). Schwemmholz: Probleme und Lösungsansätze. *Mitteilungen* 188, VAW, Zürich: pp. 135.
- Limerinos J.T. (1970). Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels, Water Supply Paper No.1898-B, U.S. Geological Survey, Washington D.C.
- Lisle T.E. (1995). Effects of coarse woody debris and its removal on a channel affected by the 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. *Water Resources Research* 31(7): 1797-1808.
- Mao L., Burns S., Comiti F., Andreoli A., Urciolo A., Gavino-Novillo M., Iturraspe R., Lenzi M.A. (2008). Acumulaciones de detritos lenosos en un cauce de Montaña de Tierra del Fuego: Analisis de la movilidad y de los efectos hidromorfológicos. *Bosque* 29 (3): 197-211.
- Mazzalai P., Cristofori V., Pecorari E., Lenzi M.A. (2006) Briglia a fune sul fiume sarca per la trattenuta di detriti legnosi. *Quaderni di Idronomia Montana* 26: 425-438.
- Mazzorana B., Zischg A., Largiader A., Hübl J. (2009a). Hazard index maps for woody material recruitment and transport in alpine catchments. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci* 9: 197-209.
- Mazzorana B., Hübl J., Fuchs S. (2009b). Improving risk assessment by defining consistent and reliable system scenarios. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9: 145-159.
- Mazzorana B., Hübl J., Zischg A., Largiader A. (2010). Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers, *Natural Hazards* 56: 425-449.
- Mazzorana B., Comiti F., Volcan C., Scherer C. (2011). Determining flood hazard patterns through a combined stochastic–deterministic approach. *Natural Hazards* 59(1): 301-316.
- Mazzorana B., Comiti F., Fuchs S. (2012). A structured approach to enhance flood hazard assessment in mountain streams. *Natural Hazards* (published on line).
- Montgomery D.R., Piégay H. (2003). Interactions between wood and channel forms and processes. *Geomorphology* 51: 1-5.
- O'Brien J.S. (2007). FLO-2D Users manual – Version 2007 06, FLO-2D Software, Inc., Nutrioso, AZ (USA).
- Scherer C. (2008). Zweidimensionale Abflussstudie der Rienz bei Bruneck. Abteilung Wasserschutzbauten, Autonome Provinz Bozen – Südtirol: 74 pp.
- Rickenmann D. (1997). Schwemmholz und hochwasser. *Wasser, Energie, Luft* 89 (5/6): 115-119
- Rimböck A. (2004). Design of rope net barriers for woody debris entrapment. Introduction of a design concept. *Proc. of the 10th Interpraevent Symposium*, Riva del Garda, Italy: 265-276.
- Rigon E. (2009). Il legname in alveo nei torrenti alpini: Analisi quantitativa e modellazione GIS. PhD thesis, Dip. Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova: 178 pp.
- Rigon E., Comiti F., Lenzi M.A. (2012). Large wood storage in streams of the Eastern Italian Alps and the relevance of hillslope processes. *Water Resources Research* 48: W01518.
- Seo J.I. and Nakamura F. (2009). Scale-dependent controls upon the fluvial export of large wood from river catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 34 (6): 786-800.
- Uchiogi T., Shima J., Tajima H., Ishikawa Y. (1996). Design methods for wood-debris entrapment. *Proceedings Int. Symp. Interpraevent Garmisch Partenkirchen* 5: 279-288.
- Wohl E.E., Goode J.R. (2008). Wood dynamics in headwater streams of the Colorado Rocky Mountains. *Water Resource Research* 44: W09429.

RIVIERE DES GALETS - ILE DE LA REUNION - 20 ANS D'EXPERIENCE DE GESTION DES RISQUES

RIVIÈRE DES GALETS REUNION ISLAND - 20 YEAR EXPERIENCE OF RISK MANAGEMENT

Francis Fruchart¹, Gilles Delphin², Sylvain Reynaud³, Christian Séraphine⁴, Joël Cadudal⁵,
Paul Bonnet⁶, Hervé Lemahieu⁷

RESUME

L'île de la Réunion détient les records mondiaux de pluviométrie. La rivière des Galets est une des plus puissantes de l'Ile, avec débits torrentiels très importants. La rivière est équipée d'imposants épis de protection et le cône de déjection aval d'un endiguement, protégeant une zone industrielle. Une maîtrise du risque de rupture des ouvrages en crue était donc indispensable. La maîtrise du risque a été abordée de manière pragmatique par ses différents volets: Estimation des risques et diminution de l'aléa rupture d'ouvrages ; Prise en compte de l'évolution morphologique imprévue ; Réduction de la vulnérabilité derrière les digues ; Travaux de réparation ou de confortement préventif des ouvrages ; Formation technique des équipes Les études théoriques se sont combinées avec les travaux de confortement et la surveillance entretien des ouvrages, dans un esprit d'anticipation, tout en maîtrisant la vulnérabilité derrière les ouvrages, en visant un risque raisonnable accepté. Toute cette démarche s'est déroulée dans un esprit de concertation et de collaboration entre partenaires complémentaires ce qui a conduit à une véritable maîtrise des risques naturels dans un univers torrentiel très hostile. Il conviendra de la poursuivre dans l'avenir. NB : cette publication relate une aventure humaine d'une dizaine de personnes pendant une vingtaine d'années. C'est avant tout un témoignage.

Mots clés : rivière torrentielle, risque, endiguements, mitigation, île de la Réunion

ABSTRACT

Close to Madagascar, the Reunion Island holds world records for pluviometry. 'La Rivière des Galets' (Pebble River) is one of the most powerful rivers on the island with huge discharges. Upstream banks have been equipped with imposing groynes while the downstream fan has been equipped with huge dykes, protecting an industrial area. Mastering the risk has been pragmatically addressed, developing several aspects for the last 20 years: Dyke break hazard assessment; Taking into account unexpected morphological evolution of the river; Vulnerability mitigation of the area behind the dykes; Repairing works and precautionary preventive reinforcement works; Structure monitoring ; Training. These different steps have been performed in close collaboration with complementary stakeholders. This approach has led to a comprehensive and consistent mastering of hydraulic risk.

Keywords: torrential river, risk, embankment, mitigation, Reunion Island

¹ Expert en morphologie, Direction de l'Ingénierie, CNR Compagnie Nationale du Rhône, Lyon France (e-mail : f.fruchart@cnr.tm.fr)

² Expert en génie civil, Direction de l'Ingénierie, CNR Lyon France

³ Ingénieur en hydraulique, Direction de l'Exploitation, CNR Lyon France

⁴ Chef du Service Travaux, ville du Port, Ile de la Réunion

⁵ Chef du département DEAL, Saint Denis, Ile de la Réunion

⁶ Retraité DDE, Surveillance travaux endiguement Rivière des Galets

⁷ Région Réunion, département Planning, Saint Denis

INTRODUCTION

L'île de la Réunion détient les records mondiaux de pluviométrie, ayant atteint 1825mm par jour (cyclone Denise 1960) ou encore 4869mm en 4 jours (cyclone Gamède 2007). La rivière des Galets est une des plus puissantes de l'île, avec des débits pouvant atteindre quelques milliers de m³/s avec écoulements torrentiels et vitesses de 10m/s, avec une capacité p érosive hors du commun.

La partie amont de la rivière est équipée d'imposants épis de protection, protégeant la commune de la Rivière des Galets. Le cône de déjection aval est équipé d'un endiguement assez étroit, destiné à gagner des terrains industriels constructibles, qui font cruellement défaut à la Réunion. Ces terrains dits 'exondés' restent soumis au risque de rupture de digues. Ces ouvrages datent des années 90.

Une maîtrise du risque de rupture des ouvrages en crue était donc indispensable.

Pour cela, un véritable partenariat s'est établi depuis une vingtaine d'années entre le SIVU regroupant les communes du Port et de Saint Paul, propriétaire des ouvrages, la DDE de la Réunion en charge de la surveillance et entretien des ouvrages, et la Direction de l'Ingénierie de la Compagnie Nationale du Rhône, agissant en tant qu'ingénieur conseil.

La maîtrise du risque a été abordée de manière pragmatique par ses différents volets:

- Estimation des risques et diminution de l'aléa rupture d'ouvrages

Une étude de risque de rupture des ouvrages a été menée. Pour cela, un modèle physique spécifique fond mobile a été réalisé au laboratoire CNR à Lyon en 1994. Suite à cette étude, les digues existantes ont été renforcées en tenant compte du risque de rupture mais aussi de la vulnérabilité à l'aval des digues.

- Prise en compte de l'évolution morphologique imprévue de la rivière des Galets

La morphologie de la rivière des Galets évolue constamment avec les crues. De ce fait, les risques changent. Un suivi des fonds par profils en travers est régulièrement pratiqué. Une étude morphologique a été réalisée en 2007 et a montré une dangereuse tendance à l'incision du lit, jusqu'à 10m de profondeur à certains endroits, mettant en péril les ouvrages, épis et endiguement, mais par dessus tout les fondations de deux ponts situés dans le secteur. Cette étude a proposé un renforcement préventif des différents ouvrages,

- Réduction de la vulnérabilité derrière les digues

Des instructions précises concernant la réglementation ont été introduites dans le Plan Local d'Urbanisme, définissant l'urbanisation et le type d'installation autorisée, de manière à éviter toute sur-catastrophe ou pertes en vie humaines en cas de rupture d'ouvrages,

- Travaux de réparation ou de confortement préventif des ouvrages

Des travaux divers ont été réalisés sous maîtrise d'œuvre DDE au fil des années visant à limiter les risques de rupture et maintenir les ouvrages en bon état: renforcement des digues et épis existants, terrassement derrière les digues visant à limiter les dégâts en cas de rupture, chenal d'ultime secours, mise en place de stocks d'enrochement, réparations très rapide suite à dégâts lors des cyclones,

- Entretien et surveillance des ouvrages

Surveillance et entretien des ouvrages ont été mis en place par la DDE de manière méthodique, avec visites d'inspection régulières, missions d'expertise CNR Ingénierie lorsque nécessaire,

- Formation des équipes

Plusieurs stages concernant surveillance et entretien des ouvrages ont été réalisés par CNR Ingénierie.

HISTORIQUE - UNE LONGUE MARCHÉ VERS LA CONSTRUCTION DES OUVRAGES

Les imposants ouvrages le long de la rivière des galets impressionnent les touristes visitant la Réunion. Ils ignorent le parcours du combattant et les années d'efforts qu'il a fallu pour décider de les construire. L'historique suivant en rend compte :

- 1879 : Construction du chemin de fer et creusement du port. C'est sur le delta formé par la rivière des Galets et la ravine à Marquet que s'installent les ouvriers, constituant ainsi le noyau de la future ville du port.

- 1886 : Inauguration du port de commerce de la Pointe des Galets.

- 1895 : Création de la commune du Port.

- 1905 : Un cyclone provoque une forte crue de la rivière des Galets: le remblai de la voie ferrée, haut de six mètres, est emporté sur une largeur d'environ trente mètres,
- 1926 : Le 26 avril, un cyclone dévaste l'île: *'La petite ville du Port est détruite en partie, le viaduc du chemin de fer qui traverse la rivière des Galets a été emporté, de nombreuses maisons détruites, des récoltes ravagées....'* raconte Pierre Griffé dans son livre: *'La ballade des Galets'*.
- 1932 : La commune du Port est sinistrée par le passage d'un cyclone: de nombreux édifices sont détruits par les vents mais aussi par les eaux de la rivière en crue.
- 1948 : Fort cyclone: débit annoncé comme *'égal au Rhône en crue'*.

La rivière des Galets, à plusieurs reprises, démontre sa fougue et menace la ville du Port. Ces crues, notamment en période cyclonique, provoquent régulièrement des dégâts, parfois considérables, aux habitations.

- Avant 1961 : Construction d'un épi sous le majorât de Léon de Lepervanche.
- 1965 : La DDE réalise une digue en terre à partir du piton Bâtard (point géologique naturel). Malheureusement, cette installation détourne les flots vers la ville du Port.
- 1967 : Le maire du Port, André Gontier, commande une étude à la SOGREAH (Société Grenobloise d'Etude et d'Aménagement Hydraulique) afin que la menace représentée par la rivière des Galets soit écartée.
- 1967 – 1968 : Premières études pour un système de défense par un ensemble de « murs-épis ». Le souci principal est la protection de la ville contre les crues. Mais les études débouchent sur des travaux aux coûts trop élevés.
- 1971 : Arrivée à la mairie du Port de l'équipe de Paul Vergès. Un schéma global d'aménagement de la commune est élaboré selon les orientations suivantes: insertion de la population dans la vie urbaine, éradication des bidonvilles et construction de quartiers neufs, création de zones d'activités en harmonie avec le développement urbain, changement du climat de la ville, ouverture sur la mer, définition d'un schéma de circulation simple, cohérent, efficace, conception global de l'urbanisation....

Mais la bonne réalisation de ces objectifs ne pouvait être sereinement envisagée sans que l'on prenne en compte le danger représenté par la rivière des Galets, les risques de crues contrariant notamment les projets d'extension du port. C'est pourquoi, la nouvelle municipalité insiste sur l'urgente nécessité de protéger par l'endiguement de la rivière des Galets, la population portoïse d'une part, les équipements d'Etat et régionaux d'autre part.

- 1980 : Le passage du cyclone Hyacinthe démontre de façon évidente le danger que représente pour la cité maritime la rivière des Galets: des logements au village du même nom sont emportés, le boulevard de la Marine est dévasté... Le projet d'endiguement de la rivière des galets est relancé. Le souci principal reste la protection de la ville mais un objectif complémentaire apparaît : récupérer des terrains aménageables.
- Le 6 février 1980, le conseil municipal du Port, réuni en séance extraordinaire dans le quartier SATEC (quartier directement concerné par les risques de crues) décide d'interpeller les pouvoirs publics afin qu'une protection efficace de la ville soit envisagée.
- 1981 : Le gouvernement met en place un Programme Pluriannuel d'Endiguement des Ravines.

La commune du Port s'adresse de nouveau à la SOGREAH afin que des solutions d'endiguement permettant de gagner des terrains aménageables sur le lit de la rivière soient trouvées.

ETUDES SUR MODELE PHYSIQUE ET REALISATION DES OUVRAGES

- 1982 : En août, il est décidé d'effectuer les études hydrauliques à l'aide d'un modèle physique à fond mobile, à l'échelle 1/125ème. Il est installé au Port dans un hangar de 3000 m². C'est sur ce modèle que sont étudiées plusieurs variantes puis mis au point la solution choisie.
- 1990 : Le 5 octobre, une première réunion est organisée à la Préfecture avec les élus des deux communes riveraines: Saint Paul et le Port. Ce premier contact permet par la suite aux services techniques et administratifs des deux collectivités de travailler ensemble.

- 1991 : Le 18 mars, une nouvelle réunion se déroule sous la présidence du Préfet, en présence de M. le Président de la Région. Au cours de cette entrevue, il est décidé de faire délibérer les deux conseils municipaux avant le 30 avril 1991 afin de définir la maîtrise d'ouvrage des travaux.
- 1992 : Le 17 janvier : pose de la première pierre pour des travaux d'endiguement qui dureront plus de deux ans. Les épis situés plus à l'amont seront construits en plusieurs phases.
- 1994 : *les ouvrages principaux tant espérés sont maintenant là. Ce n'est pas un point d'orgue final. Au contraire leur vie commence, ce dont les communes riveraines ont été immédiatement conscientes.*
- 1996 : Le 28 juin 1996 création, entre les communes du Port et de Saint Paul, d'un syndicat à vocation unique dénommé « SIVU de la Rivière des Galets » ayant pour objet: la gestion des ouvrages d'endiguement de la rivière des Galets, l'observation du lit de la rivière en amont, la surveillance et l'entretien du domaine public fluvial au droit des ouvrages dans le cadre d'une convention avec l'Etat.

DETAIL DES ETUDES ET TRAVAUX

Il à noter comme presque toujours que ce sont de gros dégâts qui ont poussé à la construction des ouvrages de protections. Les catastrophes semblent parfois nécessaires pour convaincre les décideurs alors que la prévention devrait s'imposer.

Les études basées sur les résultats du modèle physique préconisait la réalisation d'un chenal et de neuf murs-épis permettant de centrer l'écoulement de la crue et de récupérer par ailleurs des terrains à aménager. Il a été décidé pour des raisons budgétaires de réaliser les ouvrages en deux phases.

La première a consisté en la réalisation des tranches aval et intermédiaire permettant de récupérer des tiens constructibles, la seconde en la réalisation de la tranche amont. La maîtrise d'ouvrage a été mandatée à la SEMADER.

Pour les tranches aval et intermédiaire, la Maîtrise d'Ouvrage a confié à SOGREAH la réalisation des dossiers d'Avant Projet Détaillé et Consultation des Entreprises pour les tranches aval et intermédiaire. L'étude d'impact a été confiée au bureau d'étude BRL. Les travaux ont été confiés à l'entreprise DUMEZ. Le coût des travaux a été de 153 821 406.45 FFR TTC (environ 32 M€ actualisé 2011).

Le plan de financement a été calculé sur un montant de dépenses subventionables de 129 MF réparti comme suit: Etat 50%, Région 10%, Département 10%, Maître d'Ouvrage : 30% (le Port 70% - Saint Paul 30%), subvention FEDER 22 200 000 FFR, délai: 32 mois (entre mai 1992 à décembre 1994)

Pour la tranche Amont, la Maîtrise d'Ouvrage a confié au groupement BRL-SCP-SECMO. Les travaux ont été confiés à l'entreprise DTP Terrassement. Le coût des travaux a été de 89 millions FFR. Le financement a été le suivant: subvention Etat 50%, Région 30%, Maîtrise d'ouvrage 20% (70% le Port, 30% Saint Paul) ; délais : 42 mois (septembre 97 à décembre 2000)

On notera le très grand nombre d'organismes qui sont intervenus, aussi bien pour la technique que pour le financement, ce qui a demandé une grande pugnacité pour que le projet voie le jour.

LES OUVRAGES DE LA RIVIERE DES GALETS ET LES RISQUES ASSOCIES

La pluviométrie à l'Ile la Réunion

L'intensité des pluies à la Réunion est une des plus fortes du monde. Un bon exemple est le cyclone Gamède de février 2007. Plusieurs records mondiaux de pluviométrie ont été battus, détenus auparavant par d'autres cyclones sur l'Ile. La pluviométrie au cratère Commerson a été de:

sur 24 heures : 1625 mm :	le record mondial étant 1825 mm DENISE 1966
sur 48 heures : 2463 mm	le record mondial étant 2467 mm en 1958
sur 72 heures : 3929 mm	record mondial, le précédent était 3240 mm HYACINTHE 1980.
sur 4 jours : 4869 mm	record mondial, le précédent était 3551 mm HYACINTHE 1980
Records mondiaux sur 5, 6, 7, 8 et 9 jours:	4979 mm, 5075 mm, 5400 mm, 5510 mm et 5512 mm

Les caractéristiques de la rivière de Galets

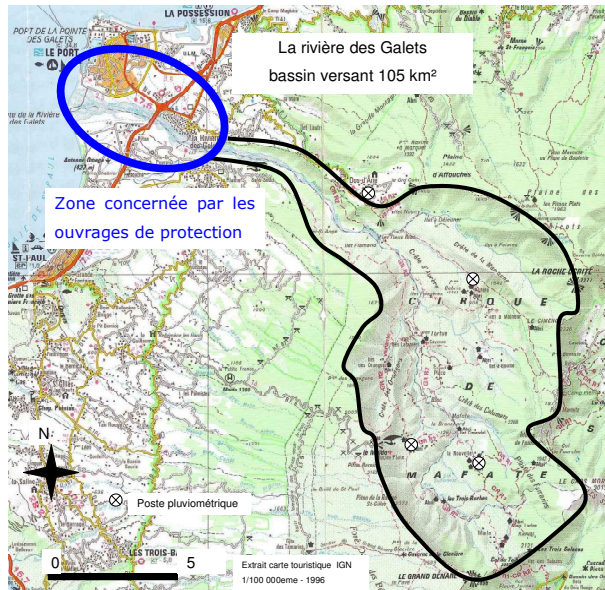


Fig. 1 Bassin versant de la Rivière des Galets et zone concernée par les ouvrages

Le bassin versant dénommé cirque de Mafate. Sa surface est de seulement 105 km². Il culmine à 3013m d'altitude au Gros Morne, à 30km de la mer, soit une pente moyenne de 10%.

A l'aval, les débits sont de 1570 m³/s pour Q10 et 2440 m³/s pour Q100, soit des débits spécifiques record de 15 et 23 m³/s/km².

La pente de la rivière dans la zone aval concernée est d'environ 2%, soit celle d'un torrent.

Les vitesses en crue atteignent 8m/s pour des petites crues et jusqu'à 10m/s (36km/h) pour les plus fortes.

Les matériaux transportés sont un mélange de matériaux fins et de très gros, constitués de basalte très dur, particulièrement abrasif et de forte densité (2.8 et +). Le diamètre médian est de 10cm, les plus gros blocs dépassent 1m de diamètre. Les plus fins produisent de l'abrasion, les plus gros des chocs, sollicitant énormément les ouvrages.



Fig. 2 Matériaux transportés par la Rivière des Galets sous le pont aval axe mixte, noter le blindage des piles

La morphologie de la rivière des galets en tant que rivière torrentielle est très particulière :

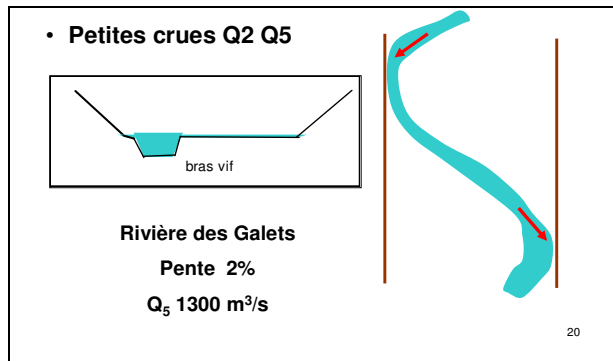


Fig. 3 Morphologie des petites crues

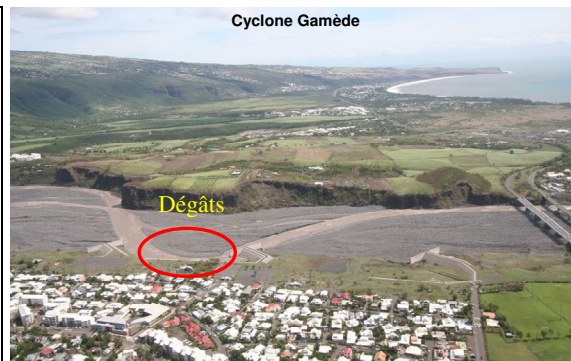


Fig. 4 Illustration cyclone Gamède 2007

Pour les petites crues, se forme un bras vif à méandre de vitesse déjà importante (5-8m/s) attaquant les berges avec un angle d'attaque voisin allant jusqu'à 45°, pouvant y créer de gros dégâts (voir photo ci avant).

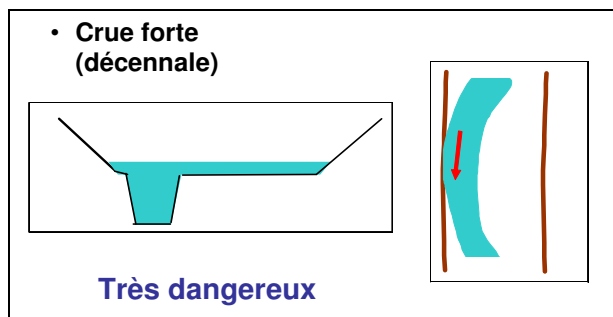


Fig. 5 Morphologie crue centennale

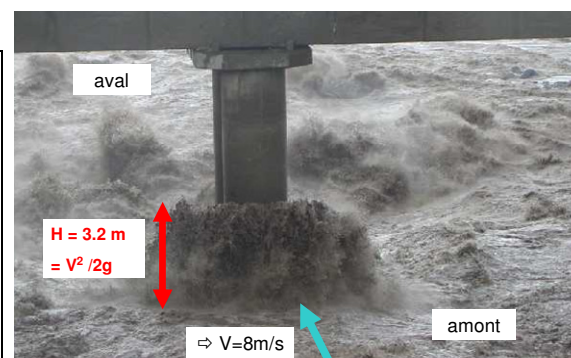


Fig. 6 Ecoulement torrentiel contre pile de pont

La crue centennale est encore plus dangereuse car le bras vif devient pratiquement rectiligne et de ce fait augmente encore sa vitesse, jusqu'à 10 m/s. Le risque majeur est alors l'attaque en pied des ouvrages. Une brèche dans une digue peut se créer. L'écoulement heurtant un obstacle, pile de pont par exemple a alors une capacité d'augmentation de niveau de 5m ! ($=V^2/2g$ pour 10m/s).

Le phénomène d'attaque en pied est particulièrement traître car en fin de crue, les bras vifs se rebouchent et ne laissent rien paraître des dégâts qu'ils ont pu occasionner. Des dispositifs simples ont été employés pour déterminer *a posteriori* la profondeur des bras vifs en crue.

Pente d'un torrent, débit d'un fleuve, vitesses colossales, matériaux énormes et abrasifs, morphologie peu engageante, le cocktail est réuni pour une sollicitation maximale des ouvrages: digues épis et ponts. La prudence s'impose en permanence.

Fort heureusement les fortes crues ne sont pas très fréquentes car associées uniquement aux cyclones passant sur l'île.

Les ouvrages

Ils ont été mis au point sur modèle physique au laboratoire Sogreah il y a maintenant 30 ans. Malgré le développement actuel des modèles mathématiques hydrauliques 1D, 2D voire 3D, et à fond mobile, on referait aujourd'hui un modèle physique. On notera aussi l'aspect démonstratif du modèle physique, qui a convaincu les décideurs des travaux à engager.

Des différences de comportement morphologique ont malgré tout été observées entre les résultats du modèle physique et la réalité.

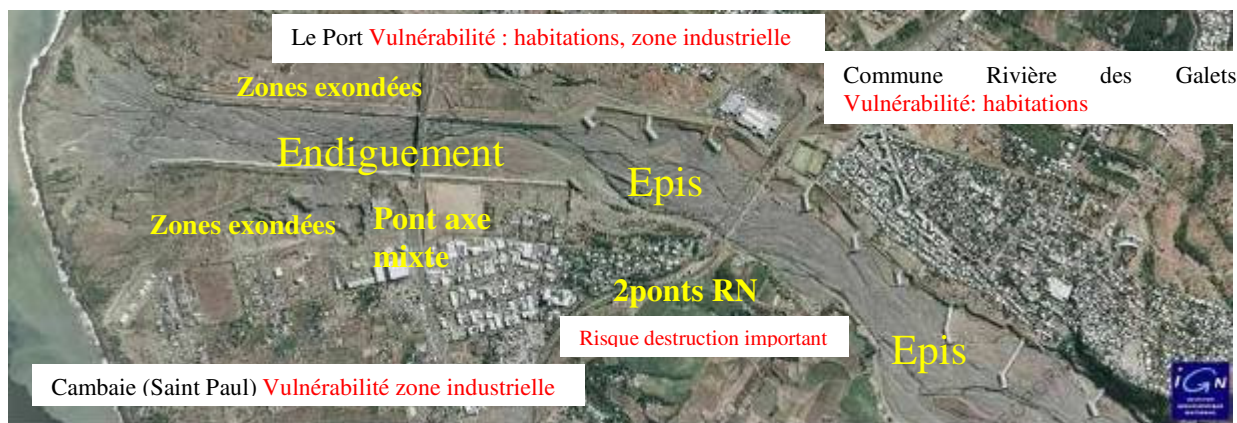


Fig. 7 Les ouvrages de protection de la rivière des Galets, endiguement et épis et vulnérabilité

La partie amont est constituée d'épis, la partie aval d'un endiguement fait de gros blocs de basalte percolés au béton, avec semelle en pied.



Fig. 8 Epi



Fig. 9 Partie endiguée (Cyclone Gamède 2007)

Dégâts survenus

A chaque grosse crue, les ouvrages souffrent, exemple de dégâts survenus pendant le cyclone Gamède 2007 :



Fig. 10 Destruction RD digue entre épis, Cf. Fig. 4 **Fig. 11** Souvèvement endiguement RG aval, Cf. Fig. 9

Les dégâts semblent se multiplier depuis quelques années, pourtant les ouvrages sont assez récents et les débits de crue sont restés modestes depuis leur mise en service: depuis 1995, le débit maximum a été de $1300\text{m}^3/\text{s}$ (crue quinquennale) en mars 2006 avec des ouvrages dimensionnés pour $3000\text{m}^3/\text{s}$.

Les dégâts observés restent pour le moment relativement modérés, n'ont pas générés de risques pour les riverains et le coût des réparations a été acceptable. Le maître d'ouvrage s'en est cependant inquiété et a souhaité connaître les causes des désordres et savoir si cette situation va perdurer, s'améliorer ou empirer. Une étude morphologique a donc été réalisée par CNR Ingénierie en 2007. Celle-ci a mis en évidence les points suivants :

Une incision inquiétante du lit

Le lit de la rivière s'est notablement enfoncé depuis la mise en service des ouvrages, atteignant 10m à l'amont de l'endiguement, ce qui est manifestement la cause des dégâts observés. Cet enfoncement conduit à des attaques en pied des fondations des ouvrages (endiguement, épis et piles des ponts) par les bras de la rivière en crue, sous-cavant les fondations, qui est le type d'attaque répertoriée comme la plus dangereuse.

L'enfoncement du lit s'effectue par un processus classique de basculement de la pente avec érosion régressive, c'est à dire qui se développe depuis l'aval de la rivière et progresse vers l'amont, au gré des crues. Actuellement l'érosion régressive a atteint les deux ponts et se propagent vers les épis situés plus en amont, tandis que l'endiguement aval semble moins sollicité.

L'étude morphologique a montré que le basculement de la pente est quasi le double de ce qui était prévu par le modèle physique de 1984. Les ouvrages, endiguement et épis, sortent donc bel et bien de la bande passante pour laquelle ils ont été conçus. Cette constatation a enclenché de nouveaux travaux de renforcement préventif. Il est donc nécessaire d'être réactif en s'adaptant en permanence à la réalité, d'anticiper autant que faire se peut les comportements futurs.

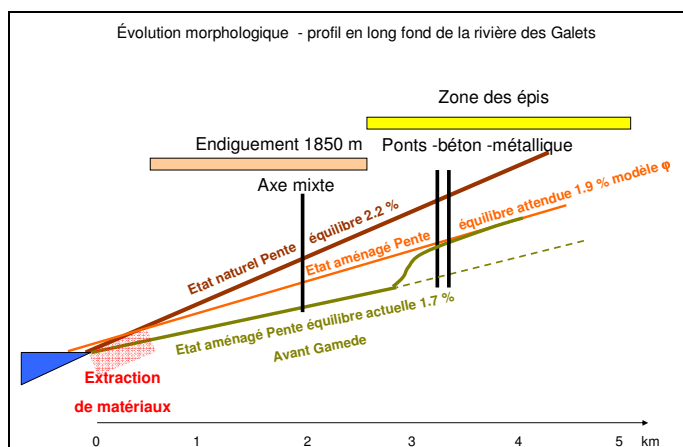


Fig. 12 Basculement de la pente de la rivière des Galets

La cause principale du basculement a pu être attribué globalement à un manque d'espace de liberté (de mobilité) de la rivière endiguée, qui rejoint la mer pas un trajet plus court qu'à l'état naturel, facilité par un endiguement trop lisse contre lequel le bras vif vient se coller (photo fig. 9). Il aurait fallu des berges beaucoup plus rugueuses, repoussant les bras vifs et les obligeant à méandrer.

Travaux de confortement et précautions

Depuis la mise en service des ouvrages, des travaux ont été effectués :

- visant à limiter le risque de rupture
 - o construction d'un épaulement de sécurité le long des endiguements, limitant le risque de brèche. Pour cela une étude d'analyse de risque a été effectuée, basée sur des essais d'un nouveau modèle physique au 1/50, représentant une tranche d'endiguement. Il a été réalisé au laboratoire d'hydraulique de la CNR en 1994. Les essais ont conclu qu'il fallait impérativement élargir la crête de digue par un épaulement extérieur. Il a été immédiatement construit portant la largeur en crête à 10 m auquel s'ajoute l'épaulement de largeur variable : 25 m à l'amont, à 5m à l'aval,

- renforcement du pied des épis par des gabions, contre une attaque en pied par un bras vif, basé sur les essais sur modèle physique et sur les dégâts constatés sur le site.
- *visant à limiter les conséquences d'une rupture de digue*
 - pendage des terrains exondés derrière les digues, de manière à ramener le flot le long des digues en cas de rupture éventuelle,
 - construction d'un chenal d'ultime secours,
 - stock de très gros blocs le long des digues permettant la réparation très rapide d'une brèche, en cas de retour du cyclone (Firinga 1989) ou de l'arrivée d'un nouveau.

LIMITATION DE LA VULNERABILITE

En 2003 CNR Ingénierie a réalisé une étude de l'aménagement des terrains situés derrière l'endiguement pour le SIVU, ayant servi de base au Plan Local d'Urbanisme. Cette étude a proposé de se limiter dans le cadre de la notion de risque accepté, à des constructions derrière l'endiguement ne conduisant ni à des pertes humaines ni à des sur-catastrophes, même en cas de rupture d'une partie de l'endiguement.

Il a été décidé d'autoriser les installations classées au titre de la déclaration et d'interdire celles au titre de l'autorisation.

La déclinaison de ces principes a amené aux décisions pratiques suivantes, à titre d'exemple :

- Installations qui ont été refusées :

- *Centrale thermique*, non pour le risque de dégâts à la centrale en cas d'inondation, mais pour le fait que l'île sera alors en grande partie privée d'électricité pour une période indéterminée (principe: pas de sur catastrophe). Un site alternatif ne présentant pas ce risque a été trouvé,
- *Stock de produits chimiques*, car ceux-ci pourraient polluer la nappe phréatique, utilisée pour l'Alimentation en Eau Potable de la ville du Port.
- *Toute construction recevant du public de manière permanente*, tels que logement, hôtel hôpital, maison de retraite. Pour les installations industrielles ou artisanales fermées en cas de cyclone, il est demandé que les gardiens et leur famille quittent les lieux en cas de fortes crues.

- Installations qui ont été autorisées :

- *Cinéma*, car en période cyclonique, il est de fait fermé car les habitants de l'île ne sont pas autorisés à sortir de chez eux,
- *Installation de retraitement de ferrailles*, car si quelques pièces étaient entraînées vers la mer, ce serait sans grande conséquence.

Les municipalités riveraines se sont complètement approprié le principe du risque accepté quant à l'aménagement des zones soumises à risque de rupture de digue ou d'épis, avec un grand sens des responsabilités.

SURVEILLANCE ENTRETIEN DES OUVRAGES

La surveillance des ouvrages a été assurée par la DDE service SEECL depuis pratiquement la mise en service des ouvrages, jusqu'en 2011, où le statut de l'administration devenue DEAL ne permettait plus d'assurer cette tâche, qui vient d'être reprise par le bureau d'étude Sogreah.

La CNR a parallèlement depuis 2003 une mission d'appui confiée par le SIVU, mission reconduite jusqu'à ce jour. Cette mission consiste à donner un avis technique sur les mesures d'auscultation effectuées, à garantir l'intervention d'un expert, toutes affaires cessantes, en cas d'urgence (utilisé après dégâts occasionnés par le cyclone Gamède).

Dans le cadre de l'étude CNR 2003, les risques de rupture de l'endiguement longitudinaux, des épis et de la digue transversale ont été définis. Les zones concernées par l'inondation ont été délimitées puis prise en compte dans le cadre de la révision du PPRI Plan de Prévention des Risques d'inondation partiel (rivière des Galets).

1) Réduction de la vulnérabilité derrière les digues ; révision des documents de prévention

La ZERH Zone d'Exposition au Risque Hydraulique, au sens de l'article R 111.3 du code de l'Urbanisme a été définie par l'arrêté préfectoral n°2606 du 23 août 1991. Suite à la réalisation des travaux de protection, le Plan de Prévention des Risques d'inondation partiel (Rivière des Galets) a été révisé à compter de 2002.

La révision a été réalisée dans le cadre de la circulaire interministérielle du 30 avril 2002 relative à la politique de l'Etat en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines. Les risques d'inondation, notamment liés au risque de rupture des ouvrages de protection ont été pris en compte.

L'étude spécifique visant à ne pas aggraver la vulnérabilité derrière les ouvrages de protection (CNR 2003) a déterminé :

- une zone fortement exposée située entre les digues, dans une bande de sécurité (60m à partir de la bordure extérieure de l'endiguement), classée ZONE ROUGE,
- une zone exposée au risque résiduel d'inondation par rupture des ouvrages (zone attenante présentant une hauteur d'eau inférieure à 1m et une vitesse inférieure à 1m/s en cas de rupture de la digue, classée ZONE BLEUE

Cette révision a été conditionnée par l'organisation sans faille et à long terme de la surveillance et de l'entretien des ouvrages.

Le PPR révisé a été annexé au POS en 2004.

2) Mise en place de la surveillance des ouvrages

La mission de surveillance des ouvrages de la Rivière des Galets a été confiée par le SIVU (Syndicat à Vocation Unique) à la DDE (Direction Départementale de l'Equipement) en 2002.

Les garanties apportées par l'organisation ont porté sur:

- la mise en place d'une méthodologie de surveillance de type qualité,
- la réalisation de mesures et observations,
- l'analyse des données et diagnostic vis à vis des risques répertoriés de l'ouvrage,
- des propositions pour l'entretien courant et les opérations de confortement simple dont le diagnostic aura signalé la nécessité,
- la réaction rapide en cas de dégâts aux ouvrages.

Le programme de suivi comprend principalement :

- Une visite annuelle à la fin de la période cyclonique, soit en avril-mai. Cette visite comprend une inspection visuelle détaillée des ouvrages et des mesures menées directement par les agents chargés du suivi (hauteur remblai, verticalité ouvrages, contrôle géométrique de l'usure, suivi érosion des berges non protégées). Une visite de contrôle de même type est effectuée rapidement après chaque crue exceptionnelle (période de retour de 5ans ou $910\text{m}^3/\text{s}$). Cette action ne remplace pas la visite annuelle supra sauf si aucune crue significative (période de retour de 1an ou $576\text{m}^3/\text{s}$) n'apparaît entre la crue et la fin de la saison cyclonique.
- Visite simplifiée après chaque crue significative (période de retour de 1an, ou $576\text{m}^3/\text{s}$). Cette visite donne lieu, s'il n'y a pas de désordres significatifs, à une simple attestation de visite.
- Un dossier de surveillance annuel transmis au SIVU avant fin juin afin de pouvoir programmer d'éventuelles opérations de confortement avant la période cyclonique suivante.

D'autre part, un contrôle topographique du lit est préconisé tous les 3 ans préalablement à la visite annuelle. Il est réalisé à partir de 33 profils en travers qui seront implantés sur une représentation du site (photogrammétrie ou orthophotoplan) au 1/2000. Sur ce plan est tracé un axe de profil en long.

Pour permettre l'évaluation plus précise des débits, en 2004 des stations hydrologiques de mesures ont été mises en place sur le Bras St Suzanne et la Rivière des Galets.

Cette organisation basée sur la professionnalisation de l'ensemble des acteurs qui doivent être sensibilisés aux caractéristiques des ouvrages et aux risques potentiels. Les actions de formation spécifiques pour ces agents ont été nécessaires. La communication régulière entre le SIVU et le prestataire chargé du suivi est essentielle.

Des stages réguliers de formation ont été réalisés par CNR Ingénierie, à la Réunion et en Métropole, stages théoriques concernant l'hydraulique et la morphologie torrentielles et stages pratiques concernant la surveillance et l'entretien des ouvrages.

3) Réduction du risque de rupture - Entretien des ouvrages

Pour garantir la pérennité de l'ouvrage, le SIVU programme les travaux d'entretien et de réparation en dehors de la saison cyclonique et les réparations dès que l'intervention est possible.

Après une période calme de 2000 à 2005, les travaux de réparation ont été fréquents depuis 2006, notamment en :

- 2006 Tempête tropicale DIWA : Travaux de confortement en rive gauche (210m), Travaux de confortement en rive droite sur 92 m pour un coût de 254 000 €ht,
- 2007 Cyclone Gamède: Travaux de confortement des épis 4, 5, 6, 8, 9 et de la digue en rive droite sur 150 m) pour un coût de 970 000 €ht.

Ces réparations importantes doivent être réalisées rapidement entre la fin de la saison cyclonique et le début de la suivante. Pour permettre cette réactivité le SIVU a contractualisé un marché à bon de commande pour la réalisation de ces travaux. Ces travaux autorisés dans le cadre de procédure d'urgence au titre de la loi sur l'eau seront couverts par une autorisation définitive au titre du code de l'environnement en 2012. Cette organisation a été efficace pour la réalisation de travaux d'extrême urgence notamment en décembre 2009 lors de la découverte de cavités non identifiées lors de la visite annuelle. Les travaux de confortement ont été réalisés en moins de quinze jours (36 000 €HT).

Remerciements

Nous tenons tous à exprimer notre gratitude à M. Langenier, Maire du Port, Président du SIVU, toujours à l'écoute de l'équipe technique, attentif aux risques encourus par ses administrés, qui a impulsé une dynamique sans laquelle, surveillance et entretien des ouvrages, Plan Local d'Urbanisme des terrains exondés, n'auraient pu voir le jour.

Concernant la CNR, pendant ces 20 dernières années, 8 spécialistes différents ont eu la chance d'intervenir sur la problématique de la rivière des Galets, avec missions sur place. Tous ont appris énormément sur le plan technique, l'île de la Réunion étant un formidable laboratoire concernant les phénomènes naturels, qu'ils ont appris à aborder avec beaucoup de modestie. Certains se sont même retrouvés en plein cyclone Gamède, moment dangereux mais inoubliable (voir photo fig. 13).

Les relations avec nos interlocuteurs, élus, services techniques des communes, services de l'Etat, ont toujours été excellentes, avec de leur part beaucoup d'écoute et de sens des responsabilités, ce qui nous a permis d'exercer avec efficacité notre métier d'ingénieur conseil; lesdits conseils ayant été en permanence écoutés.

Quelques photos pendant le cyclone Gamède en 2007 :



Fig. 13 Minuit pont axe mixte vent 150m/h



Fig. 14 Rivière des Galets vitesse 8 puis 14m/s



Fig. 15 Pont métallique, embase partiellement détruite



Fig. 16 Pont RN

CONCLUSION

Les études théoriques se sont combinées avec les travaux de confortement et la surveillance entretien des ouvrages, dans un esprit d'anticipation, tout en maîtrisant la vulnérabilité derrière les ouvrages, en visant un risque raisonnable accepté.

Cette démarche a anticipé d'une vingtaine d'années les études de dangers maintenant obligatoires en France. L'expérience acquise pour la Rivière des Galets peut être considérée comme un exemple pour d'autres ouvrages de l'Ile de la Réunion comme pour certains de la France métropolitaine ou autre pays de par le monde.

Toute cette démarche s'est déroulée dans un esprit de concertation et de collaboration entre partenaires complémentaires ce qui a conduit à une véritable maîtrise des risques naturels dans un univers torrentiel très hostile.

Cette démarche a été facilitée par l'évidente culture du risque des décideurs réunionnais comme des habitants de l'Ile, habitués à la conduite à tenir en cas de cyclone, de crues ou vents violents, ou encore d'éruption volcanique.

Les ouvrages vieillissent petit à petit, ils n'ont pas encore subi de très grosses crues dangereuses. Il ne faut donc pas baisser la garde, mais continuer inlassablement surveillance et entretien des ouvrages ainsi que bien sûr contrôle strict des constructions derrière les digues.

L'humilité doit continuer à s'imposer vis-à-vis des phénomènes naturels observés. Le budget d'entretien doit suivre, il sera toujours un très bon investissement pour l'avenir comme tout investissement dans la sécurité.

REDUCING PHYSICAL VULNERABILITY TO MOUNTAIN HAZARDS BY LOCAL STRUCTURAL PROTECTION

Sven Fuchs¹, Markus Holub² and Jürgen Suda^{3, 4}

ABSTRACT

Despite the long tradition of technical mitigation on a catchment scale in European mountain regions, losses due to mountain hazards are still considerable high in number and monetary loss. Therefore, the concept of technical mitigation had been supplemented by land-use planning and – more recently – local structural protection for buildings located in the run-out area of natural hazard processes. Implemented directly at or adjacent to endangered objects, local structural protection is able to reduce the vulnerability and additionally to be economically efficient. Nevertheless, this efficiency has so far not been quantified with respect to the overall costs necessary for the construction of buildings. Therefore, we will present a prototype of residential building typical for the Austrian Alps and adapted to mountain hazard processes. In particular, this prototype is equipped with various constructional elements which are able to resist the impact forces of hazardous events, i.e. fluvial sediment transport related to torrents, and snow avalanches. In this paper, we will focus on the constructive design necessary to resist these loads, and the amount of additional costs necessary for such an adaptation.

Keywords: mountain hazards, physical vulnerability, structural protection, risk management

INTRODUCTION

Following the axiom that natural hazard risk is a function of hazard and consequences, the ability to determine vulnerability is an essential step for reducing these consequences and therefore natural hazard risk. The approach of structural vulnerability is focusing on impact intensity and structural susceptibility of elements at risk, ranging from 0 (no damage) to 1 (complete destruction). From this point of view, vulnerability assessment is based on the evaluation of parameters and factors such as building types, construction material, state of maintenance, and presence of protection structures (Fell et al., 2008). By applying the concept of structural vulnerability, from an engineering point of view, considerable areas in European mountain regions are susceptible to hazard processes (Fuchs, 2009). Even though the theory of vulnerability has been subject to extensive research and numerous practical applications over the past decades, considerable gaps still exist with respect to standardised functional relationships between impacting forces due to occurring hazard processes and the structural damage caused (Papathoma-Köhle et al., 2011). The analysis of empirical data from torrent processes had shown that the vulnerability of buildings affected by medium hazard intensities (e.g., 1.00–1.50 m deposition height for torrent processes) is highly dependent on whether or not the entrained material harms the interior of the building (i.e., by an intrusion of material through openings such as doors, wells and windows, Fuchs, 2009; Totschnig et al., 2011). Consequently, local protection measures such as deflection walls and specially designed closure structures for at-grade openings definitely play a major role in reducing the vulnerability of buildings (Fuchs et al., 2007).

¹ Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria (e-mail: sven.fuchs@boku.ac.at)

² DI Markus Holub. RiskConsult Sicherheits- und Risikomanagementberatung GmbH, Engelsberggasse 4/2a, 1030 Vienna, Austria (e-mail: m.holub@riskconsult.at)

³ Dr. Jürgen Suda. Institute of Structural Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria

⁴ Dr. Jürgen Suda. alpinfra Consulting and Engineering GmbH, Kuefsteingasse 15-19, 1140 Vienna, Austria

Local structural protection measures which are implemented directly at or adjacent to endangered objects might therefore be a valuable and serious alternative with respect to reducing vulnerability within the concept of integral risk management. However, the effect of local structural protection in reducing susceptibility of values at risk has not been quantified satisfyingly so far (Holub & Hübl, 2008), even if the positive effect in reducing vulnerability seems to be obvious. Local structural protection, namely constructive preventive measures, can be either performed as enclosing structure or as structure directly connected to the building. Such enclosing structures are defined as measures surrounding elements at risk but which are not connected to them. These seem to be very effective since they prevent direct hazard impacts on the building envelope, while structures directly connected to the building envelope in principal generate an increased resistance of the construction; furthermore, they are less land-consuming. Local structural protection measures can be distinguished and classified according to their applicability for protection against hazard processes, their location with respect to the element at risk, as well as their construction type and material used. A further differentiation is according to the permanent or temporal implementation, such as permanent concrete walls or mobile flood protection. Considering the possible impacts of natural hazards, different construction materials show different performance and resistance. Consequently, a process-specific risk assessment, carried out at the earliest possible conceptual design stage and focusing on impact forces, vulnerability as well as damage patterns, will result in an appropriate protection concept. Therefore, information on both, hazard impacts and corresponding loads on the building envelope is necessary.

Taking these findings as a basis, we will present a prototype of residential building typical for European mountain regions and adapted to mountain hazard processes. In particular, this prototype is equipped with various constructional elements which are able to resist the impact forces of hazardous events, i.e. fluvial sediment transport related to torrents and snow avalanches. Therefore, we will start with a brief overview on studied hazard processes. Thereafter, we focus on (1) possible loads emerging from these hazardous processes and impacting the building envelope, (2) the constructive design necessary to resist the loads, and (3) the amount of additional costs necessary for such an adaptation.

HAZARD PROCESSES

Within this paper two major hazard categories occurring in mountain areas worldwide but also on the European level are considered: fluvial sediment transport related to torrents, and snow avalanches.

The term torrent refers to steep rivers within a mountain environment and is defined as a constantly or temporarily flowing watercourse within small catchment areas and characterised by changing perennial or intermittent discharge and flow conditions (ONR, 2009). Torrent events include a process group with a variety of different characteristics including discharge composed from pure water runoff, discharge with variable sediment concentration and debris flows. Fluvial sediment transport is characterised by a lower sediment concentration than debris floods and debris flows (< 40 % by weight, Costa, 1984). Fluvial sediment transport and related torrent processes cause static or dynamic impacts originating from flow conditions and the respective amount of transported solids. With respect to scale, process impacts may include surface as well as channel runoff, accompanied by erosion and deposition phenomena of different magnitude (Fuchs et al., 2008). The major process patterns result in possible intrusion of water and solids through the building openings and the sewage system, causing damage to the interior of the buildings, apart from possible buoyancy as well as erosion processes resulting in subsidence or even tilting, endangering the stability of the building.

Snow avalanches are fast-moving mass movements within a mountain environment and are defined as gravity-driven snow masses, moving along a certain track downwards slopes with a dislocation distance exceeding 50 m (McClung & Schaerer, 1993). According to the mechanisms of flow, snow avalanches are regularly distinguished into dense flow avalanches, which may contain additional solids such as rock fragments and logs, and powder avalanches (Keylock, 1997; Bründl et al., 2010). Elements at risk located in the deposition area are influenced by two major processes, the air pressure plume in front of a powder avalanche and the snow in motion that exerts high impact pressure on objects located in the runout path (Sovilla et al., 2008). Avalanches with their dense and powder snow part may affect buildings due to incurring high pressure loads and suction effects to the walls and the

roof. Impacts originating from the dynamic or static load of snow and transported solids jeopardize the stability of the building. Furthermore, snow and solid intrusion through the building openings may occur which will lead to considerable damage inside the buildings.

In the following section, the loads resulting from fluvial sediment transport related to torrents, as well as loads resulting from snow avalanches are presented. Additionally insights in the general building design criteria are provided.

LOADS ON THE BUILDING ENVELOPE

In general, building design criteria have to rely on the following set of design loads, (1) in order to take into account the dead load of the structure; (2) to take into account the maximum possible live load; (3) load assumptions resulting from the impact of wind storm, and (4) the assumed static snow load with respect to the design criteria of the truss. Furthermore, (5) the design loads resulting from fluvial sediment transport and (6) the design loads for snow avalanches (dense part and powder part) were calculated.

(1) To take into account the dead load of the structure under consideration, the characteristic tare weights were taken from the respective Austrian building code ÖNORM B 1991-1-1 (ON, 2003, 2006a). This building code provides design guidance and actions for the structural design of buildings and civil engineering works including geotechnical aspects for the densities of construction materials and stored materials, for the self-weight of construction works, and for imposed loads for buildings.

(2) The live load of the floor slab (first and second floor) were calculated by applying ÖNORM B 1991-1-1 (ON, 2006a) with $n_1 = 2.0 \text{ kN/m}^2$ for the category of residential buildings, $n_2 = 1.5 \text{ kN/m}^2$ for the walkable attic story, and $n_3 = 3.0 \text{ kN/m}^2$ for the staircase.

(3) The impact of windstorm on the structure was calculated by applying ÖNORM EN 1991-1-4 and the national specifications ÖNORM B 1991-1-4 (ON, 2005a, 2006a). The basic peak gust pressure was calculated with $q_{b,0} = 0.46 \text{ kN/m}^2$ resulting from the local wind conditions in mountain valleys of Austria. To calculate the design loads, the walls and the roof were classified into sections A to J (see Fig. 1), and different pressure coefficients c_p were assigned. With respect to the roof, the design loads 1-4 have to be calculated separately by the addition of either DL 1 and DL2, DL1 + DL 4, DL2 + DL3 or DL3 + DL4. The flow direction of the wind storm was assumed to affect the building from the valley-side. In analogy to the windstorm loads, design loads for the powder part of snow avalanches were calculated, while the flow direction of the powder part was assumed to affect the building from the hillside. In Tab. 1, the assigned pressure coefficients are shown for both, wind storm and powder avalanches (ON, 2005b). The pressure coefficients $C_{pe,10}$ are related to the probability of occurrence of a 1 in 10 years event and the exposure to a gable roof.

(4) The static snow loads and their distribution were calculated by applying ÖNORM EN 1991-1-3 and the national specifications ÖNORM B 1991-1-3 (ON, 2005b, 2006b). In dependence on the location above sea level and a specific meteorological zonation, the characteristic snow load was calculated with $s_k = 2.10 \text{ kN/m}^2$, representing the averaged local snow conditions in Austria. The snow load on a gable roof was calculated by using Eqn. (1), the design coefficient μ_A is dependent on the inclination α of the roof and was averaged with 0.8 for an inclination of $\alpha = 30^\circ$. Hence, the resulting snow load s_A equals 1.68 kN/m^2 , while in a second set of calculations, the design load DL1 was modified to include the effect of snowdrift as shown in Fig. 2. Design load DL2 assumed a snow drift on the valley side of the roof, and for DL3 snow drift effects on the hillside were taken into account. The resulting snow loads were modified accordingly.

$$s_A = \mu_A \cdot s_k \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (1)$$

(5) and (6) The building envelope is affected by additional forces resulting from the impact of natural hazard processes such as fluvial sediment transport and snow avalanches. The general impact pressure of flowing masses on obstacles is based on hydrodynamic approaches following Eqn. (2). Thereby, forces resulting from the impact are considered as stationary and therefore time-independent, and flow velocities are considered as being constant over the flow depth.

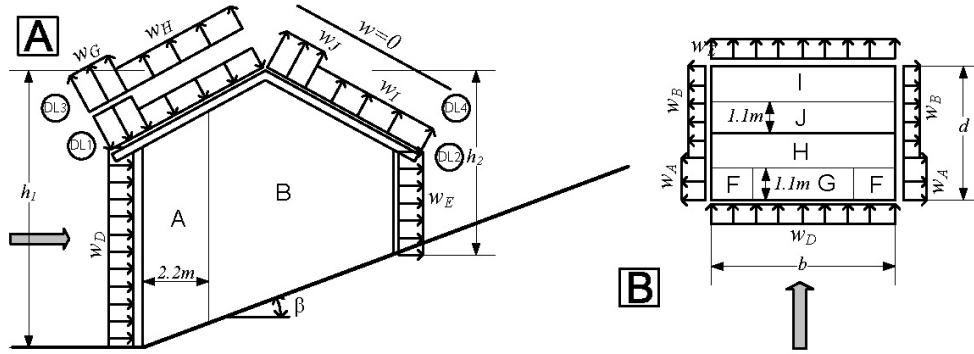


Fig. 1 Structural system for windstorm impacting a building, DL1 = load factor 1, DL2 = load factor 2, DL3 = load factor 3, DL4 = load factor 4, $w_{A...J}$ = wind load, β = inclination of the slope, $h_{1,2}$ = building height 1 and 2, d = building width parallel to the flow direction, b = building width normal to the flow direction. The grey arrow indicates the flow direction, A = lateral view, B = top view.

Tab. 1 Coefficients ($C_{pe,10}$) for the assignment of wind storm and powder avalanches loads impacting gable roofs according to ON (2006a, b), h_1, h_2, b and d refer to the building dimensions outlined in Fig. 1.

		Impact windstorm		Impact powder avalanche	
		$h_1/b=0.8$ und $d/b=0.7$		$h_2/b=0.5$ und $d/b=0.7$	
		min	max	min	max
Wall area	A	-1.04		-1.0	
	B	-0.74		-0.7	
	D	0.8		0.8	
	E	-0.37		-0.35	
Roof area	F = G	-0.5	0.7	-0.5	0.7
	H	-0.3	0.7	-0.3	0.7
	I	-0.4	0	-0.4	0
	J	-0.5	0	-0.5	0

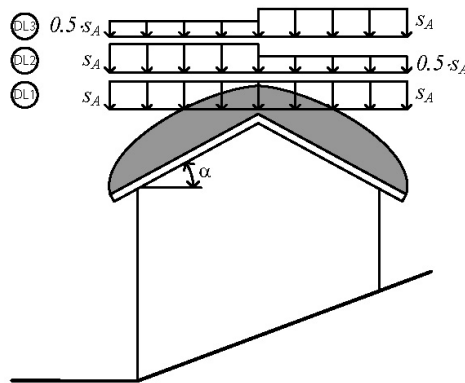


Fig. 2 Structural system for snow impacting a building, DL1 = load factor 1, DL2 = load factor 2, DL3 = load factor 3, s_A = snow load, α = inclination of the roof.

The impact of transported solids, such as woody debris and larger boulders, is considered separately due to the higher pressure which affects the building envelope locally in selected areas.

$$p = C \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (\sin \alpha)^2 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2)$$

where, ρ = density of the fluid, v = velocity of the fluid, C = resistance coefficient of the circumfluent obstacle, dependent on the type of process, the rheology of process and the geometry of the obstacle (design coefficient). The angle α is the inclination between the impacted wall (of the building

envelope) and the flow direction of the hazard process. If the impacted wall is directed parallel to the flow path, an angle of $\alpha = 20^\circ$ is used as an approximation instead to mirror the occurring forces accordingly. The impact pressure is directed normal to the impacted walls.

If any flowing masses impact an obstacle the additional resistance will increase the flow depth due the backwater effects. This increase in flow depth is approximated by Eqn. (3) for fluvial sediment transport and Eqn. (4) for snow avalanches.

$$h_{Stau} = \frac{v_{fl}^2}{2 \cdot g} \text{ [m]} \quad (3)$$

$$h_{Stau} = \frac{v_L^2}{2 \cdot g \cdot \lambda} \text{ [m]} \quad (4)$$

where, v_{fl} = velocity of the flowing mass, v_L = velocity of the snow mass, g = acceleration of gravity, λ = stowage height coefficient (dependent from flow characteristics of the fluid; dimensionless).

If areas are impacted with an angle $\alpha \neq 90^\circ$, a friction tension (shear stress) $q_{fl, R}$ (fluvial sediment transport) and $S_{L, R}$ (snow avalanches) additionally to the normal force has to be considered (Eqn. 5 for fluvial sediment transport and Eqn. 6 for snow avalanches). Thereby, the friction coefficient μ is dependent on the roughness of the impacted wall.

$$q_{fl, R} = \rho_{fl} \cdot g \cdot h_{fl} \cdot \tan \beta \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (5)$$

where, ρ_{fl} = density of fluid, g = acceleration of gravity, h_{fl} = flow depth, $\tan \beta$ = inclination between the impacted wall (of the building envelope) and the flow direction of the hazard process.

$$s_{L, R} = \mu \cdot s_{LF, \alpha} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (6)$$

where, μ = frictional loss coefficient, $s_{L, \alpha}$ = to be calculated according to Tab. 2 (overall equations used to calculate the impact pressure of fluvial sediment transport and snow avalanches are provided).

Tab. 2 Equations used to calculate the impact pressure of fluvial sediment transport and snow avalanches.

Process	Pressure	Variable	
Fluvial process	$p_{fl, dyn} = c_d \cdot 0.5 \cdot \rho_{fl} \cdot v^2 \cdot (\sin \alpha)^2$ $p_{fl, stat} = \rho_{fl} \cdot g \cdot h_{fl}$ $p_{fl} = p_{fl, stat} + p_{fl, dyn}$	c_d	Drag coefficient
Powder avalanche	$s_{LS} = c_p \cdot c_{LS}(z) \cdot 0.5 \cdot \rho_{LS} \cdot v_{LS}^2 = c_p \cdot s_{LS}(z)$	$c_{LS}(z)$	Powder avalanche coefficient (Issler, 1999)
		c_p	Pressure coefficient
Dense flow avalanche ¹⁾	$s_{LF} = c_d \cdot 0.5 \cdot \rho_{LF} \cdot v_{LF}^2 \cdot (\sin \alpha)^2$	c_d	Drag coefficient

¹⁾ Surfaces are impacted in normal direction

Fluvial sediment transport

Design loads were based on the assumption that a building adjacent to a torrent is affected by flooding with moderate sediment load, and parameters characterising the fluvial sediment transport are shown in Tab. 3. Fluvial sediment transport results in a pressure on the luvward side (p_{fl}). The impact pressure on the walls parallel to the flow direction (K) were calculated as an area being impacted with an angle of 20° ($p_{fl20, K}$), and an additional frictional tension $p_{fl, K}$ is assumed at these walls (Fig. 3). Additionally, woody material transport was assumed at the processward building wall (q_{eff}), and was considered with a maximum pressure within an area of 0.5 x 0.5 metres.

Tab. 3 Parameters necessary to calculate the impacts resulting from fluvial sediment transport.

Parameter		Value	Source
Flow height	h_{fl}	1.0 m	Assumption
Density	ρ_{fl}	1,300 kg/m ³	(Bergmeister et al., 2008; ONR, 2009)
Velocity	v_{fl}	4.0 m/s	(ONR, 2009)
Design coefficient (rectangle)	c_d	1.50	(Egli, 1999)
Design coefficient (splitting wedge)	c_d	1.25	(Egli, 1999)

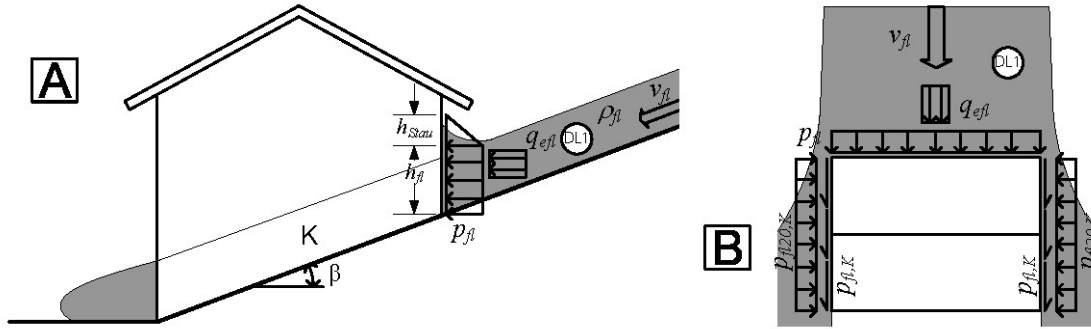


Fig. 3 Structural system for fluvial sediment transport impacting a building, DL1 = load factor 1, p_{fl} = pressure on the luvward side, $p_{fl,K}$ = frictional tension, $p_{fl,20,K}$ = frictional tension assuming an impact angle of 20°, q_{eff} = impact pressure due to woody material transport, v_{fl} = flow velocity, ρ = density of the fluid, h_{fl} = flow height, h_{Stau} = backwater effects due to Eqn. (3), A = lateral view, B = top view.

The design load resulting from DL 1 is presented in Fig. 3; and the resulting impact pressures were calculated by applying Eqns. 3 and 5 based on the equations provided in Tab. 2 and the parameters shown in Tab. 3. The impact pressures resulting from the impact of fluvial sediment transport on a building were calculated with $p_{fl} = 15.6$ kN/m²; $p_{fl,20,K} = 1.82$ kN/m²; $q_{eff} = 288$ kN/m²; $p_{fl,K} = 4.64$ kN/m²; and $h_{Stau} = 0.8$ m.

Snow avalanche

Design loads were based on the assumption of a mixed-type snow avalanche hitting an obstacle, composed from a (dense) flow part and a superimposed powder part (Bründl et al., 2010). The parameters necessary for the calculation of design load are summarized in Table 4.

Tab. 4 Parameters necessary for the calculation of design loads for mixed-type snow avalanches.

Avalanche type	Parameter		Value	Source
Dense flow part	Flow depth	h_{LF}	1.5 m	Assumption
	Snowpack depth	h_A	0.5 m	Assumption
	Density	ρ_{LF}	300 kg/m ³	(ASTRA, 2007; ONR, 2007)
	Velocity	v_{LF}	20 m/s	(Bozhinskiy & Losev, 1998)
	Drag coefficient (rectangle)	c_d	2.0	(Egli, 1999)
	Drag coefficient (splitting wedge)	c_d	1.5	(Egli, 1999)
	Dimensionless coefficient due to flow characteristics	λ	1.5	(Egli, 1999)
	Friction coefficient	q	0.3	(Egli, 1999)
Powder part	Flow depth	h_{LS}	Exceeding obstacle height	Assumption
	Density	ρ_{LS}	20 kg/m ³	(ON, 2006b; ONR 2007)
	Velocity	v_{LS}	40 m/s	(Bozhinskiy & Losev, 1998)
	Powder avalanche coefficient	$c_{LS}(z)$	2	(Issler, 1999)

The flow part of an avalanche causes a pressure on the luvward side of the obstacle (s_{LF}). The impact pressure on the walls parallel to the flow direction (K) were calculated as an area being impacted with an angle of 20° ($s_{LF20, K}$), and an additional frictional tension $s_{LR, K}$ is assumed at these walls. Additionally, potentially transported material (e.g., boulders, logs) was assumed at the processward building wall (q_{eLF}), and was considered with a maximum pressure within an area of 0.5×0.5 metres (Fig. 4).

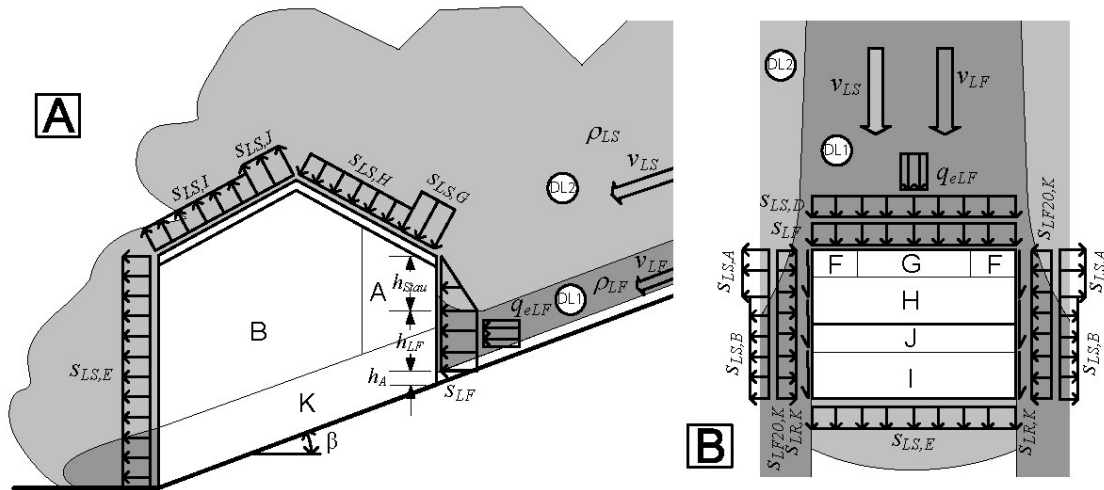


Fig. 4 Structural system for snow avalanches impacting a building, DL1 = load factor 1 (flow part) and DL 2 = load factor 2 (powder part), Flow part: s_{LF} = pressure on the luvward side, $s_{LR, K}$ = frictional tension, $s_{LF20, K}$ = frictional tension assuming an impact angle of 20° , q_{eLF} = impact pressure due to woody material transport, v_{LF} = flow velocity, ρ_{LF} = density of the fluid, h_{LF} = flow height, h_{Stau} = backwater effects due to Eqn. (4), h_A = height of the initial snow cover, Powder part: $s_{LA...J}$ = load on the respective section A...J, v_{LS} = flow velocity, ρ_{LS} = density of the fluid, A = lateral view, B = top view.

The design loads resulting from DL 1 (dense flow part) and DL 2 (powder part) are presented in Fig. 4; and the resulting impact pressures were calculated by applying Eqns. 4 and 6 based on the equations shown in Tab. 2 and the parameters shown in Tab. 4, and are presented in Tab. 5. Loads incurring in the roof area ($s_{LS,G} - s_{LS,J}$) were calculated by applying values from Table 2.2 following principles outlined in ÖNORM EN 1991-1-4 (ON, 2005a).

Tab. 5 Impact pressures resulting from the impact of a mixed-type avalanche on a building, values are provided in kN/m^2 . $h_{Stau} = 13 \text{ m}$.

Loads on the walls				Loads on the roof		
					min	max
s_{LF}	120	$s_{LS,A}$	-32	$s_{LS,F}$	-16	22.4
$s_{LF,20,K}$	14	$s_{LS,A}$	-32	$s_{LS,G}$	-16	22.4
q_{eF}	400	$s_{LS,B}$	-22.4	$s_{LS,H}$	-9.6	22.4
$s_{LR,K}$	4.2	$s_{LS,D}$	25.6	$s_{LS,I}$	-12.8	0
$s_{LS(z)}$	32	$s_{LS,E}$	-11.2	$s_{LS,J}$	-16	0

PROTOTYPE

Taking into account the outlined loads on the building envelope, a prototype for a contemporary reinforced building was developed representing a typical alpine residential building in the European Alps. Due to topographical constraints, residential buildings in mountain areas of Europe are commonly constructed in a hillside situation. The characteristic building includes a basement as well as first floor (ground floor) and second floor (upper floor). The average effective floor space equals 70 m^2 , which amounts to approximately 210 m^2 in total. Supporting walls consist of masonry while the baseplate and the ceilings are constructed from reinforced concrete, respectively. Timber is used for the roof truss, as well as the frame connectors for windows and doors. The roof truss is covered by

copper sheet; the roof area is of projecting type in order to better protect the outside walls. Due to the hillside situation, the basement serves usually as a quasi-first floor towards the valley. At the hillside, light wells are installed to allow for a utilization of the basement.

The possible loads due to hazardous events outlined before will result in several shortcomings of these typical residential buildings with respect to the design of their envelope: (1) Due to the process characteristics of fluvial sediment transport and snow avalanches, openings generally weaken the static resistance and stability of any wall. Moreover, they are a probable location for intrusion of material such as debris, water, and snow masses, above all due to the inherent material weakness of doors and windows. (2) If the material has been deposited in the interior of the building, an additional static load on ceilings and walls will occur. (3) With respect to torrent processes erosion initiated by surface runoff alongside the walls and as a result from possible shifts in the channel bed may lead to a scouring of the baseplate. (4) An overstrain of the sewage system associated with extraordinary flood discharge may cause back water effects in the sewage pipes of the building and, as a result, cause flooding from inside. (5) With respect to snow avalanches, a projecting roof is considerable susceptible to damage due to the occurring pressure gust and suction effects which result from the velocity of the powder part of the avalanche.

As a consequence, a necessary mitigation concept has to be developed taking into account these shortcomings. Local structural protection can be performed either in terms of a structural reinforcement of an existing building envelope, or in terms of a construction design comprehensively adapted to possible loads of a new construction. Thereby, constructive measures can either be physically connected to the building envelope (e.g., a reinforced window shutter), or the envelope as a whole could be adopted (e.g., by removing any window openings at the exposed building side). However, the overall aim is to develop a cost-efficient and protection-effective solution (Holub & Fuchs, 2008) that simultaneously fulfils the requirements of a formal aesthetic standard.

Structural reinforcement of the building

The structural reinforcement of any building in terms of increased protection against the impact of natural hazard processes (i.e., fluvial sediment transport and snow avalanches) can be achieved by different constructive approaches. In this section, possible adaptations will be presented with respect to reinforcement of the foundation, the structural levels (first and second floor), the roof construction, as well as with respect to additional design elements such as building openings, or mobile protection elements (see Tab. 6 and Fig. 5). A comprehensive matrix of necessary adaptations, including cost calculation, can be requested from the authors.

A major protective effect regarding possible settlements of the entire building, which may occur due to erosion originating from torrent processes, includes the construction of a base plate instead of a strip foundation; a measure that is obviously suitable to increase the overall stability. Furthermore, the basement should be waterproofed by a sealed type of construction obtained by the use of waterproofed concrete, including the sealing of penetration such as pipes and infrastructure facilities. Light shafts implemented should exceed the expected possible flood level in order to prevent the intrusion of liquids and solids into the interior. Moreover, a backflow flap installed in the sewage system effectively prevents against the effects of possible capacity overload of the drainage. The first floor is particularly susceptible to any type of external impact resulting from torrent processes and snow avalanches, i.e., the additional dynamic as well as static pressure towards the outer walls caused by the medium, and pressure peaks originating from transported solid particles (woody debris, boulders). Therefore, process-side outer walls should be either retrofitted in case of existing structures (e.g., by an additional concrete shall) or constructed from reinforced concrete instead of brick masonry in case of a new construction. With respect to the roof construction, eaves should be avoided to increase the resistance of the structure against pull resulting from avalanche processes. Furthermore, an overall strengthening is recommended to resist heavy snow loads, however, this is regularly prescribed in the local building codes.

As an overarching framework, any building openings should be avoided on the process-oriented (impacted) building walls. If this is not possible due to architectural or aesthetical constraints, the building openings have to be reduced in number and size, and any openings at ground surface level

should be eliminated. If necessary, specially reinforced multilayer window glass, window frames and fittings are available to protect against the considerable impact pressure of hazard processes, i.e., snow avalanches. A combination with window shutters mounted at the exterior of the wall instead within the window frame complements these suggestions.

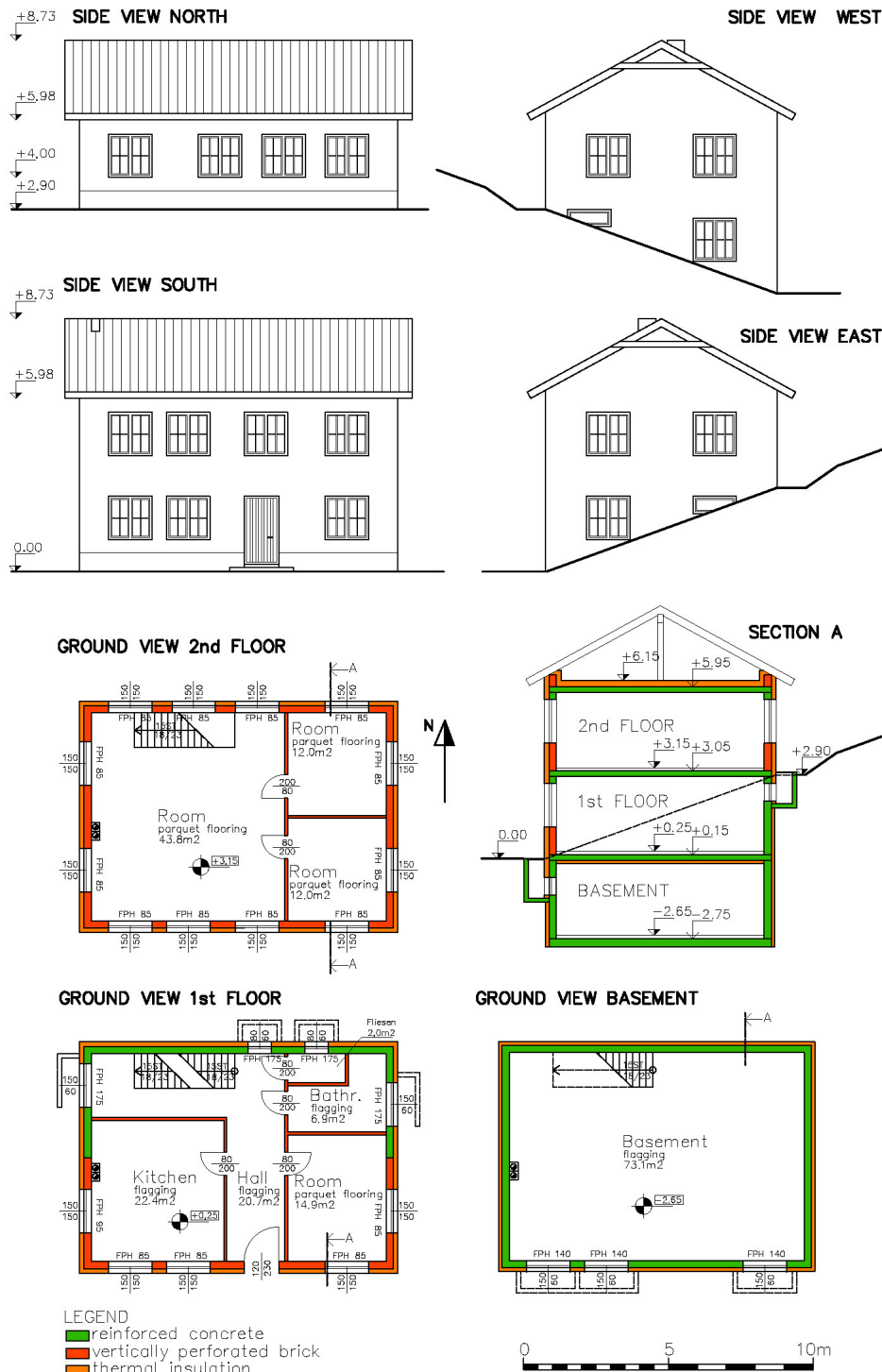


Fig. 5 Prototype building representing a typical reinforced alpine residential building.

Tab. 6 Possible local structural mitigation measures for a reinforcement of the building, the effectiveness is indicated by x = very effective, (x) = effective and - = not effective; and the suitability for the upgrading of existing buildings is indicated similarly.

Local structural protection measure	Type of measure	Effective for		Suitable for	
		Avalanche	Flood	Upgrade	New building
Foundation	Base plate foundation	(x)	x	-	x
Basement	Waterproofed concrete	-	x	-	x
	Enhancement (raising) of light shafts above flood level (flow depth), sealing of all wall penetrations	(x)	x	x	x
	Backflow flaps in sewage pipes	-	x	(x)	x
First (and second) floor	Reinforcement of the supporting structure (walls, ceilings, ...)	x	x	(x)	x
Roof	Reinforcement of the roof, avoidance of eaves	x	-	(x)	x
Building openings	Decrease of the amount and area of windows and implementation of avalanche safe windows and/or heavy shutters	x	(x)	x	x

EXPENSES NECESSARY FOR LOCAL STRUCTURAL PROTECTION

Within this section, a prototype of residential building adapted to mountain hazard processes is presented based on the design needs outlined above. This prototype is based on the modern residential building typical for the European Alps and is equipped with various constructional elements which are able to resist the impact forces of hazardous events, i.e., fluvial sediment transport, and snow avalanches. The amount of construction costs are opposed to the additional expenditures necessary for an adapted design. The price basis is related to the average standard construction prices in Austria, which equals approximately the price indices in European mountain regions. The sets of calculation are based on net prices and neglected the sales tax; therefore, the results are in principle applicable to other countries with different taxation systems. A comprehensive overview on absolute prices used for the sets of calculation can be requested from the authors.

Tab. 7 Relative increase in construction costs if local structural mitigation is implemented.

Measure	Δ construction costs (compared to standard version) [%]
Reinforcement of the hillside outer wall	+ 17
Reinforcement of the structural slab	+ 30
Reinforcement of the truss	+ 10
Reduction of eaves (decrease in roof area)	- 16
Avalanche-proof window and window shutter	+ 67
Above flood-level light shafts	+ 23
Total costs of the prototype building	+ 8

Due to the design loads necessary for the implementation of different local structural protection measures, the average construction costs are above the costs for unprotected buildings. Nevertheless,

the ratios differ for individual measures as shown in Tab. 7. While the additional expenditures for the construction of a structural slab amount to an increase of one third, and the implementation of avalanche-proof windows result in an increase of two thirds (calculated in terms of the individual costs needed for this respective measure), the reduction of eaves leads to a decrease in construction costs of approximately 16 %. In total, the design adaptation of the prototype building under consideration lead to an increase in construction costs of 8 %, compared to an unprotected standard building.

CONCLUSION

Neither conventional structural measures, which influence both, the magnitude and frequency of events, nor passive mitigation concepts can guarantee reliability and complete safety of elements at risk exposed. Therefore, the concept of local structural protection was developed (Egli, 1999; Holub & Hübl, 2008). This concept has been proven to be very cost-efficient; above all, since the required expenditures do not necessarily have to be taken over by the general public (Holub & Fuchs, 2009). However, until now only little information was available on the absolute height of investments needed for such measures on the local scale.

Taking these findings as a basis, a prototype of residential building typical for European mountain regions has been presented. Based on possible design loads, this prototype was further equipped with different local structural protection measures in order to resist the impact forces of torrent hazards and snow avalanches. The underlying structural modifications were calculated based on information from the Austrian construction industry and the insurance business. As a result, it had been shown that the adaptation of the standard building would result in an increase in construction costs of below 10 %. In absolute number, the increase in construction cost due to the implementation of structural mitigation outlined above amounts to approximately € 17,000. If this amount is compared to available data related to direct losses resulting from torrent events and snow avalanches, the savings potential becomes obvious (e.g., Fuchs, 2009; Hilker et al., 2009). Comparing the results of our study with such data clearly proved the potential for local structural protection; depending on the data set, an investment of approximately € 17,000 is at least able to prevent the effects of low-magnitude but high-frequency torrent processes (amounting to € 8,000 on average, Oberndorfer et al., 2007). With respect to higher-magnitude torrent events, it has to be assumed that at least a considerable portion of the average of € 85,000 per damaged building (Fuchs, 2009) will be prevented, and a respective decrease in loss has to be assumed. With respect to snow avalanches, the investment in local structural protection equals the average loss (Fuchs & Bründl, 2005), which in turn implies that such average loss can be effectively prevented by local structural protection.

Within the overall context of managing natural hazard risk, local structural protection aims at reducing the structural vulnerability of buildings exposed due to a reduction of design loads on the building envelope and due to a prevention of material intrusion through building openings protected. As a result, the resilience towards low-magnitude and high-frequency events can be enhanced, leading to less economic vulnerability of values at risk exposed (Fuchs, 2009). An increased economic resilience, in turn, will discharge the public funds necessary, since due to missing overarching insurance systems in Austria the competence of compensating losses that incurred due to natural hazards is allocated on the level of federal states (Holub & Fuchs, 2009).

REFERENCES

- ASTRA (2007). Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien. Bundesamt für Strassen, Bern.
- Bergmeister K., Suda J., Hübl, J., Rudolf-Miklau, F. (2008). Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. In: Bergmeister K., Wörner J.-D.: Beton-Kalender 2008, Ernst & Sohn, Berlin: 91-289.
- Bozhinskiy A., Losev K. (1998). The fundamentals of avalanche science [Osnovy lavinovedenija]. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.
- Bründl M., Bartelt P., Schweizer J., Keiler M., Glade T. (2010). Review and future challenges in snow avalanche risk analysis. In: Alcántara-Ayala I., Goudie A.: Geomorphological hazards and disaster prevention, Cambridge University Press, Cambridge: 49-61.

- Costa J. (1984). Physical geomorphology of debris flows. In: Costa J., Fleisher P.: Developments and applications of geomorphology, Springer, Berlin: 268-317.
- Egli T. (1999). Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren. Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen, St. Gallen.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102: 85-98.
- Fuchs S., Bründl M. (2005). Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements of the canton of Grisons, Switzerland. *Natural Hazards* 34: 53-69.
- Fuchs S., Heiss K., Hübl J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 495-506.
- Fuchs S., Kaitna R., Scheidl C., Hübl J. (2008). The application of the risk concept to debris flow hazards. *Geomechanics and Tunneling* 1: 120-129.
- Fuchs S. (2009). Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria – Paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 337-352.
- Hilker N., Badoux A., Hegg C. (2009). The Swiss flood and landslide damage database 1972-2007. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 913-925.
- Holub M., Fuchs S. (2008). Benefits of local structural protection to mitigate torrent-related hazards. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies* 39:401-411.
- Holub M., Hübl J. (2008). Local protection against mountain hazards – State of the art and future needs. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8: 81-99.
- Holub M., Fuchs S. (2009). Mitigating mountain hazards in Austria – Legislation, risk transfer, and awareness building. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 523-537.
- Issler D. (1999). Berücksichtigung der Staublwinen in der Gefahrenkartierung, Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. Unveröff. Kursunterlagen, Teil IV.
- Keylock C. (1997). Snow avalanches. *Progress in Physical Geography* 21: 481-500.
- McClung D., Schaerer P. (1993). *The avalanche handbook*. The Mountaineers, Seattle.
- Oberndorfer S., Fuchs S., Rickenmann D., Andrecs P. (2007). Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich, BFW Berichte 139, Wien.
- ON (2003). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ON (2005a). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ON (2005b). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ON (2006a). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ON (2006b). Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ONR (2007). Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennungen und Definitionen sowie statische und dynamische Lastannahmen (Vorschlag, 27.08.2007), Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ONR (2009). Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- Papathoma-Köhle M., Kappes M., Keiler M., Glade T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards* 58: 645-680.
- Sovilla B., Schaer M., Rammer L. (2008). Measurements and analysis of full-scale avalanche impact pressure at the Vallée de la Sionne test site. *Cold Regions Science and Technology* 51: 122-137.
- Totschnig R., Sedlacek W., Fuchs S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. *Natural Hazards* 58: 681-703.

GESTION DU RISQUE D'INONDATION SUR L'AVANÇON PAR RETENTION DE SEDIMENTS

OPTIMISATION SUR MODÈLE PHYSIQUE

FLOOD RISK MANAGEMENT OF THE AVANÇON RIVER BY MEANS OF SEDIMENT RETENTION

PHYSICAL MODEL BASED STUDY

Tamara Ghilardi¹, Jean-Louis Boillat², Anton J Schleiss³, Gérard De Montmollin⁴, Stéphane Bovier⁵

RÉSUMÉ

La capacité de charriage du torrent de l'Avançon à travers la ville de Bex, en Suisse, est insuffisante en situation de crue. En octobre 2000, lors d'un événement de temps de retour estimé à 20 ans, le niveau d'eau a pratiquement atteint la limite de débordement à cause des alluvions accumulées dans le lit de la rivière. Plusieurs mesures de protection ont alors été envisagées, incluant un bassin de rétention des sédiments, placé parallèlement au cours d'eau en amont de la ville. Vu le concept novateur de l'ouvrage de dérivation, composé d'un seuil à engravures dans le cours d'eau et d'un déversoir latéral, il a été jugé nécessaire d'optimiser son fonctionnement sur modèle physique. La forme du déversoir latéral joue en l'occurrence un rôle fondamental pour la dérivation des sédiments.

Mots-clés: gestion du risque d'inondation, charriage, rétention de sédiments, modélisation physique.

ABSTRACT

The sediment transport capacity of the Avançon mountain river through Bex City, in Switzerland, is insufficient during floods. In October 2000, during a 20 years return period event, the water level rose to danger limit due to the high amount of alluvium accumulated in the river channel. Numerous protection measures have then been taken, including the creation of a sediment retention basin in parallel of the river, upstream from the city. Because of the innovative concept of the derivation system, composed by a sill with orifices in the stream and a lateral weir, it was required to optimize its functioning on a physical model. The form of the lateral weir plays in this case a fundamental role for the amount of derived sediments.

Keywords flood risk management, bed load transport, sediment retention, experimental modeling.

INTRODUCTION

Sans être une problématique nouvelle, la gestion sédimentaire des cours d'eau est aujourd'hui d'une grande actualité. La cause de cette préoccupation est liée à de nombreux facteurs, parmi lesquels les effets anthropiques et les changements climatiques occupent une place importante. De nombreux projets de bassins de rétention sédimentaire dans le cours d'eau même ont ainsi été projetés durant les dernières années (Meile et al., 2004) ; Boillat et al., 2009 ; Müller et al., 2010). Une nouvelle tendance, consistant à dériver les sédiments excédentaires en dehors du cours d'eau, tend actuellement à se renforcer (Studer et al., 2010 ; Hachem et al. 2012). Les conditions locales propres à chaque situation

¹ PhD Tamara Ghilardi. Laboratoire de constructions hydrauliques – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL ENAC IIC LCH, GC A3 495 (Bâtiment GC), Station 18, CH-1015 Lausanne (e-mail : tamara.ghilardi@epfl.ch)

² Dr. Jean-Louis Boillat. Chemin de la Brotte 4, 1163 Etoy, Suisse

³ Prof. Anton J. Schleiss. Laboratoire de constructions hydrauliques – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

⁴ Gérard de Montmollin. STUCKY Ltd, Rue du Lac 33, 1020 Renens VD 1, Suisse

⁵ Stéphane Bovier. Service des Eaux Sols et Assainissement, Rue du Valentin 10, 1014 Lausanne, Suisse

ne permettent cependant pas de généraliser les solutions trouvées. Il en est ainsi pour le présent projet, à caractère novateur et dont la situation locale particulière impose la dérivation latérale de sédiments sur un tracé en courbe. Dans ces conditions, il a été décidé d'optimiser le présent projet par des essais sur modèle physique.

L'Avançon est un affluent du Rhône, situé dans les Préalpes vaudoises sur les contreforts du massif des Muverans. La ville de Bex est située sur le cône de déjection de l'Avançon (Fig. 1), dans la zone naturelle de dépôt sédimentaire constituée à la sortie des gorges, là où le torrent rejoint la plaine.

Les études de risque (Stucky SA et SESA, 2002) ont montré l'important potentiel de dommages existant en traversée de Bex, de part et d'autre du cours d'eau. Dans cette situation, le Canton de Vaud, la ville de Bex et la Confédération suisse se sont regroupés juridiquement dans l'« Entreprise de Correction Fluviale de l'Avançon » (ECF Avançon) pour mettre en œuvre un concept de protection. Celui-ci inclut l'augmentation du gabarit hydraulique de l'Avançon en traversée de Bex ainsi que la création d'une zone d'épandage des sédiments en amont de la ville (Fig. 1). D'autres mesures de protection ont également été réalisées sur des torrents latéraux, en particulier la Croisette et le Bey de Sérisson. Le Tableau 1 présente les principales caractéristiques du bassin versant de l'Avançon.

Le présent article traite de la conception, de l'étude expérimentale sur modèle et de la réalisation de la zone d'épandage de sédiments précitée.

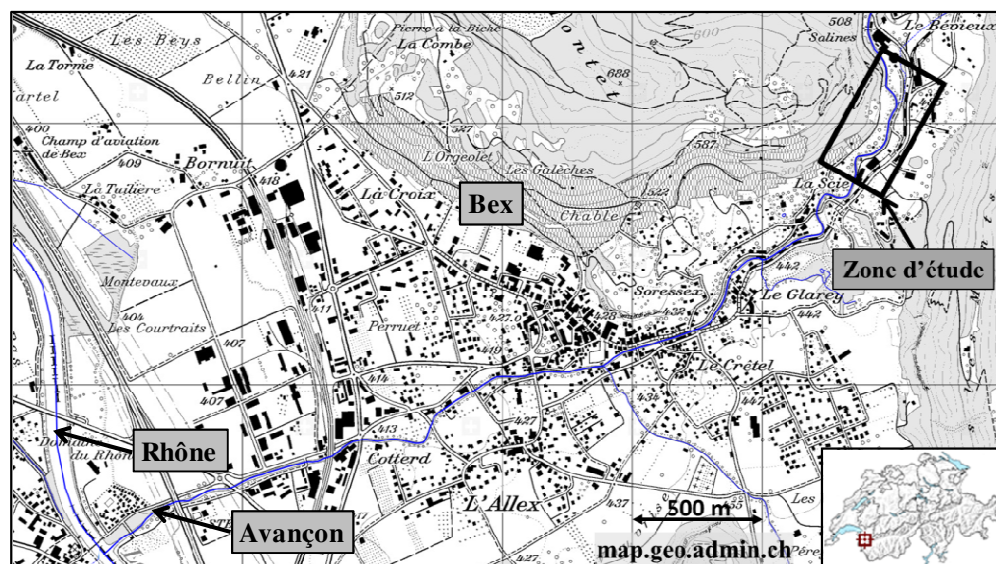


Fig. 1 Situation et localisation du projet sur l'Avançon, en amont de la ville de Bex

Fig. 1 General map and location of the project on the Avançon river, upstream from Bex City

Tab. 1 Principales caractéristiques du bassin versant en amont de Bex

Tab. 1 Main characteristics of the catchment area upstream from Bex

Surface [km ²]	77.3	Débit moyen [m ³ /s]	3.9
Pente locale de la rivière [%]	4.7	Débit de crue [m ³ /s]	
Largeur plein bord du lit [m]	33	Q ₃₀ (Temps de retour = 30 ans)	60
Altitude maximale [ms.m.]	3209.7	Q ₁₀₀ (Temps de retour = 100 ans)	79
Altitude moyenne [ms.m.]	1746.6	Q ₃₀₀ (Temps de retour = 300 ans)	96
Altitude minimale [ms.m.]	468.9		

Dans l'histoire de l'Avançon, des crues majeures se sont produites en 1910 (Fig. 2), 1927, 1929 et 2000. Tous ces événements sont caractérisés par d'importants dépôts sédimentaires en amont et en traversée de la ville de Bex. Depuis le milieu du siècle passé, différents travaux de correction ainsi que le curage du lit ont permis de réduire sensiblement le risque de débordement. Cependant, lors de la crue d'octobre 2000, caractérisée par un débit de pointe de 40 m³/s correspondant à une période de retour de 20 ans environ, un transport sédimentaire massif a été observé. Il en a résulté un dépôt de l'ordre de 8'000 m³ en traversée de Bex, avec une surélévation du lit du cours d'eau de l'ordre de 1.5 à 2.0 m. Le gabarit hydraulique résiduel se limitait alors à 0.5 m environ par endroits.

Suite à cet événement, une étude a été effectuée (Stucky SA et SESA, 2002) à l'échelle du bassin versant de l'Avançon, dans le but d'établir la carte des aléas et processus. Cette étude a montré que de grandes quantités de matériaux pouvaient être mobilisées par le réseau hydrographique. Compte tenu des caractéristiques hydrauliques de l'Avançon et de ses affluents, le potentiel d'apports solides en amont de Bex se révèle également très important, de l'ordre de quelques dizaines de milliers de mètres cubes lors de fortes crues.

La présence de nombreux bâtiments sur les berges du cours d'eau en traversée de Bex rend impossible une augmentation significative du gabarit hydraulique. De même, l'accroissement de pente du profil en long par suppression de seuils n'est applicable que sur des tronçons relativement limités. Dans une telle situation, la problématique du charriage ne pouvait être réglée qu'en amont de la zone urbanisée, sous la forme d'une zone d'épandage de sédiments.



Fig. 2 Travaux de remise en état de l'Avançon après l'inondation de 1910 (Stucky SA, 2002)

Fig. 2 Rehabilitation works of the Avançon river after the flood event of 1910 (Stucky SA, 2002)

PRÉSENTATION DU PROJET

Afin d'éviter la déstabilisation du lit du cours d'eau et d'améliorer son intégration paysagère, la zone d'épandage du Bévieux sur l'Avançon n'a pas été conçue comme un dépotoir « classique » dans le lit même du cours d'eau. Les nombreuses observations réalisées sur ce type de dépotoirs, montrent qu'ils retiennent la majeure partie des sédiments charriés, quel que soit le débit et non seulement en périodes de crue. A l'aval de tels dépotoirs, une importante érosion du lit est souvent observée, conduisant à une déstabilisation des berges et parfois à la ruine de seuils transversaux. Cet affouillement est la conséquence directe du déficit sédimentaire résultant de la rétention en amont.

La fonction de la zone d'épandage du Bévieux n'est donc pas de retenir tout le charriage transitant par l'Avançon, mais uniquement les volumes excédentaires lors des crues de période de retour supérieure ou égale à vingt ans. De tels événements peuvent apporter des quantités de sédiments de l'ordre de 17'000 m³ à 25'000 m³ environ. Pour le dimensionnement de la zone d'épandage des critères relativement précis ont ainsi été définis, tels que reportés dans le Tableau 2.

La zone d'épandage est dimensionnée pour une crue centennale. Elle offre une capacité de stockage de l'ordre de 12'000 m³. De plus, un volume d'environ 8'000 m³ peut être stocké dans le lit de l'Avançon sur le secteur proche de l'ouvrage. Lors d'un événement centennial, l'apport résiduel de sédiments en traversée de Bex devrait alors correspondre à la capacité de charriage de l'Avançon en aval de la zone d'épandage.

D'un point de vue fonctionnel, le système de régulation est caractérisé par trois éléments (Fig. 3) : un ouvrage d'entrée, un bassin de rétention sédimentaire et un ouvrage de sortie. L'ouvrage d'entrée a pour but de réguler le déversement vers la zone d'épandage d'une partie des débits, solide et liquide, amenés par l'Avançon. Le bassin de rétention ou zone d'épandage est l'étendue sur laquelle les matériaux charriés vont se déposer. Finalement, l'ouvrage de sortie doit permettre d'optimiser la capacité de stockage sédimentaire du bassin et assurer le retour du débit liquide vers l'Avançon.

Tab. 2 Critères de dimensionnement des ouvrages de dérivation et de rétention sédimentaire
Tab. 2 Design criteria for the sediment derivation and retention system

Événement	Débit de pointe	Volume transporté	Volume stocké dans la zone d'épandage	Volume stocké dans l'Avançon
Annuel (Q_1)	26 m ³ /s	Non défini	0 m ³	Non modifié
Vingtennal (Q_{20})	45 m ³ /s	17'000 m ³	6'000 m ³	~6'000 m ³
Centennal (Q_{100})	79 m ³ /s	25'000 m ³	12'000 m ³	8'000 m ³
Tri-centennal (Q_{300})	96 m ³ /s	Non défini	Idem	Idem
Extrême (Q_{ext})	120 m ³ /s	~50'000 m ³	Idem	Idem

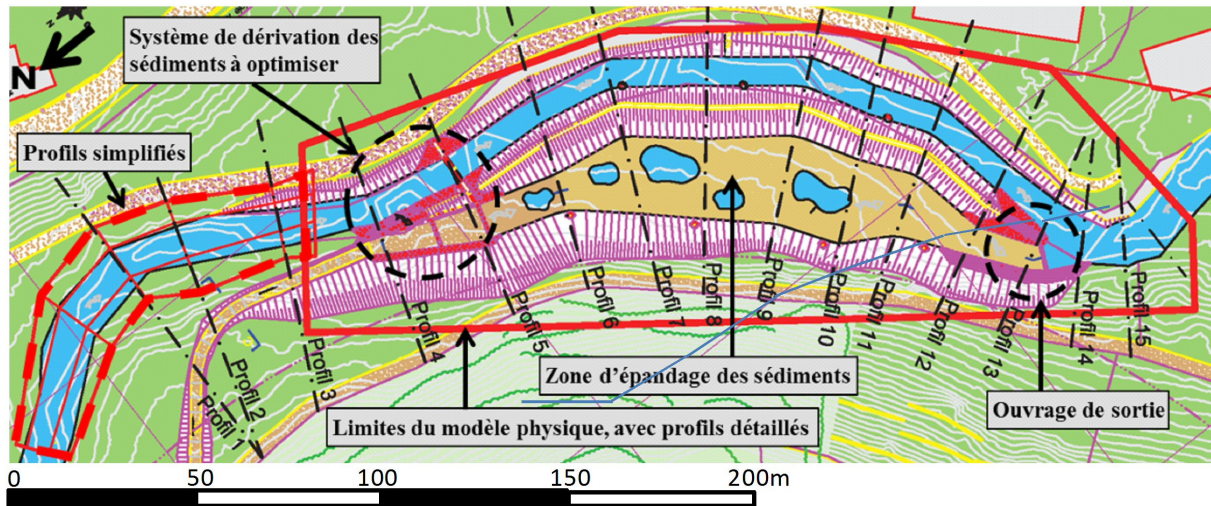


Fig. 3 Vue en plan de la zone d'étude avec les limites du modèle physique au 1/30

Fig. 3 Topographic plan view of the project zone with borders of the 1/30 physical scaled model

L'ouvrage d'entrée est composé d'un seuil placé en travers de l'Avançon (Fig. 4) et d'un déversoir latéral sur la rive droite amont (Fig. 5). Le seuil est subdivisé en deux pertuis à engravures d'une largeur de 3.20 m chacun. Les engravures permettent de glisser des linteaux pour obturer la partie supérieure des pertuis et ainsi créer une section à deux orifices surmontés d'un déversoir. En crue, la limitation de débit induite par cette structure provoque un exhaussement de la ligne d'eau amont et conduit au déversement d'une partie de l'écoulement vers la zone d'épandage. Les linteaux de fermeture de la partie supérieure des pertuis sont ajustables, permettant une modification ultérieure éventuelle du fonctionnement de l'ouvrage.

Le déversement sur le seuil latéral est initié dès que le débit de l'Avançon dépasse la crue annuelle. Pour les crues plus importantes, le ralentissement provoqué par le seuil a pour effet de favoriser l'alluvionnement du lit en amont et consécutivement la surélévation du plan d'eau.

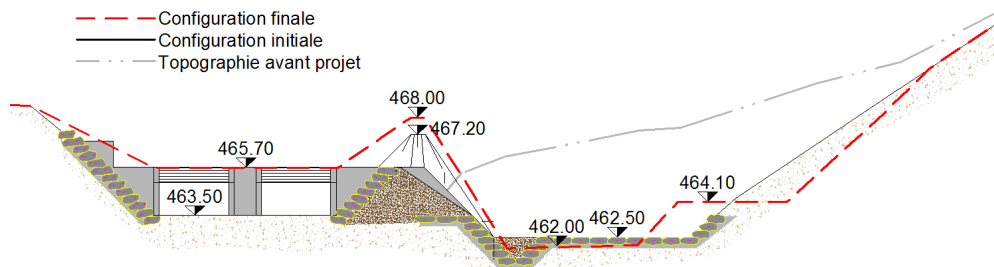


Fig. 4 Profil en travers N 5. Pertuis à engravures dans la configuration initiale (C1) et dans la configuration optimisée (C6, ligne traitillée rouge). La ligne traitillée-pointillée grise représente la topographie d'origine

Fig. 4 Cross section Nr. 5. Sill with orifices in the original configuration (C1) of the project and in the optimized configuration (C6, dashed red line). The dashed-dotted grey line represents the initial topography

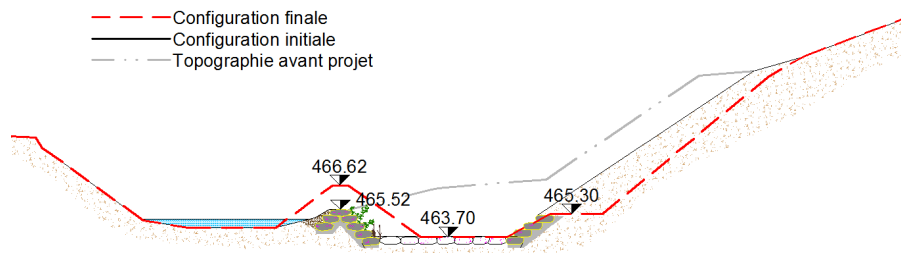


Fig. 5 Profil en travers N 4, au droit du déversoir latéral dans la configuration initiale (C1) et dans la configuration optimisée (C6, ligne traitillée rouge). Le traitillé-pointillé gris représente la topographie d'origine
Fig. 5 Cross section Nr. 4, across the lateral weir in the original configuration (C1) of the project and in the optimized configuration (C6, dashed red line). The dashed-dotted grey line represents the original topography

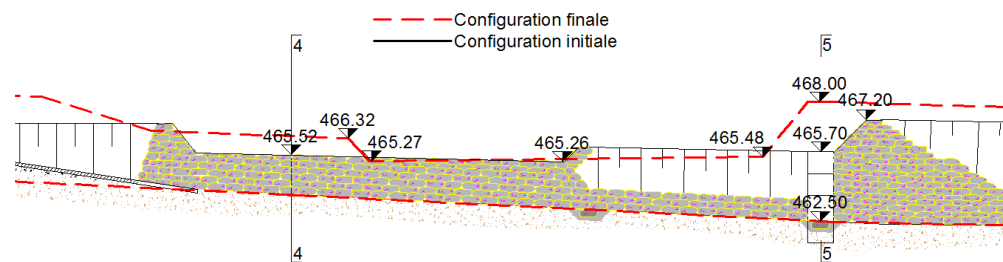


Fig. 6 Profil en long sur le déversoir latéral à l'amont du seuil à engravures, dans les configurations initiale du projet (C1) et optimisée (C6, ligne traitillée rouge). La position des profils en travers 4 et 5 est indiquée
Fig. 6 Profile over the lateral weir upstream of the sill with orifices in the original (C1) and optimized (C6, dashed red line) configurations of the project. The position of cross sections 4 and 5 is indicated

En situation de crue, la zone d'épandage doit être entièrement inondée. De par sa faible pente et sa grande largeur, l'écoulement sera fortement ralenti à cet endroit, favorisant le dépôt des matériaux charriés. Le profil en travers à double niveaux réalisé dans la partie amont de la zone (Figs. 4 et 5) permet de réduire la capacité de charriage à cet endroit, lorsque le bassin est rempli, et de contribuer au retour du cours d'eau dans son lit naturel.

Après chaque crue ayant généré un déversement important, la zone d'épandage doit être curée et son état originel reconstitué. Une telle opération devrait intervenir en moyenne tous les 10 à 20 ans. L'ouvrage de sortie est l'endroit où les écoulements se concentrent avant de retourner dans l'Avançon. La vitesse, et par conséquent l'énergie de l'écoulement, sont plus importantes dans cette zone. Afin d'éviter tout risque d'affouillement ou de déstabilisation de la digue, l'ouvrage de sortie est renforcé à l'aide d'enrochements.

MODÉLISATION PHYSIQUE

Le modèle physique de l'Avançon a été construit à l'échelle 1/30 au Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, dans les limites indiquées sur la Fig. 3. La partie centrale de la maquette a été réalisée en mortier de ciment (Fig. 7). La partie amont de la rivière caractérisée par une forte courbe a été reproduite en PVC, à partir de profils en travers simplifiés. La modélisation de ce tronçon permet de reproduire le comportement tridimensionnel des flux liquide et solide à l'approche de l'ouvrage de dérivation. Le déversoir latéral et le seuil à engravures, susceptibles de subir des ajustements, ont été construits en PVC et intégrés au modèle de manière à être facilement modifiables.

En phase de calage du modèle, un ajustement de la rugosité du lit et des berges du cours d'eau a été nécessaire. Pour ce faire, les lignes d'eau mesurées dans le lit de la rivière, sans dérivation vers le bassin de rétention, ont été comparées à celles obtenues par simulation numérique à l'aide du logiciel HEC-RAS avec des coefficients de rugosité adéquats.

Pour la mesure en continu des lignes d'eau, onze sondes à ultrasons ont été installées sur le modèle, tant dans la zone d'épandage que dans le lit de l'Avançon. Des photographies zénithales ont été prises chaque minute, afin de suivre l'évolution séquentielle du front de sédiments dans la zone d'épandage. Les apports solides ont été effectués de manière continue, sur une base volumétrique. A trois stades de chaque essai, l'alimentation était arrêtée et les niveaux de sédiments relevés dans chaque profil en

travers (profils 4 à 14, Fig. 3). Ces interruptions ont été provoquées à la pointe de la crue, à la fin de la crue et après la séquence de purge suivant la crue. Durant cette dernière phase, le débit caractéristique de fin de crue était maintenu constant à travers le modèle. Une durée de purge de 6h à l'échelle prototype a été simulée pour l'ensemble des essais. Aucun apport de sédiments n'a été effectué pendant cette phase, dont le but était d'évaluer la capacité d'auto-curage du cours d'eau.

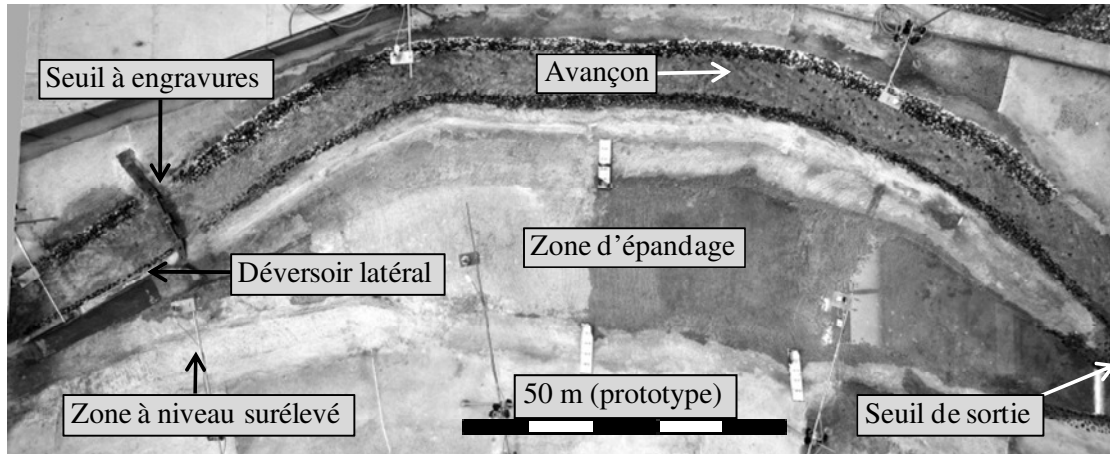


Fig. 7 Vue zénithale de la partie centrale du modèle physique

Fig. 7 Picture from above of the central part of the physical model

Pour le transfert des résultats du modèle hydraulique au comportement réel de l'Avançon, la maquette a été exploitée en similitude de charriage (critère de Shields) pour ce qui est du transport solide et en similitude de Froude pour les écoulements, c'est-à-dire en conservant le rapport entre forces d'inertie et de gravité (Tab. 3). Dans ce type de modélisation, les hypothèses suivantes sont admises:

- Les sédiments sont constitués de matériaux granulaires non cohésifs, ils sont caractérisés par une granulométrie étendue et par leur masse volumique; la distribution granulométrique sur modèle est définie de manière à respecter le critère de Shields pour l'initiation du mouvement sédimentaire ;
- Les pertes de charge sont tributaires de la géométrie locale et de la rugosité des parois et du fond;
- Le débit solide, introduit à l'entrée du modèle, reproduit les volumes de charriage observés lors des crues.

Tab. 3 Facteurs d'échelle des paramètres hydrauliques et géométriques du modèle (m : modèle ; p : prototype)

Tab. 3 Scale factors of the hydraulic and geometrical parameters of the model (index m : model ; p : prototype)

Paramètre physique	Rapport d'échelle	Facteur d'échelle
Longueur L [m] / Pression P [m de colonne d'eau]	$L_p/L_m = P_p/P_m = \lambda$	30
Vitesse V [ms^{-1}] / Temps t [s]	$V_p/V_m = t_p/t_m = \lambda^{1/2}$	5.48
Débit Q [m^3s^{-1}]	$Q_p/Q_m = \lambda^{5/2}$	4930

Afin de définir une forme représentative d'hydrogramme pour la simulation des crues, l'événement d'octobre 2000 a été adopté comme référence et l'équation de Maxwell (1) (Hager and Sinniger, 1985) a été utilisée pour l'ajustement d'une forme théorique optimale.

$$Q(t) = Q_{pt} \left(t/t_{pt} \exp(1 - t/t_{pt}) \right)^n \quad (1)$$

$Q(t)$ est le débit Q à un instant t , Q_{pt} le débit de pointe, t_{pt} le temps de montée et n un facteur de forme. La représentation adimensionnelle de l'ajustement de la crue d'octobre 2000, obtenu avec un facteur de forme $n=9$, est présentée à la Fig. 8, avec Q_{base} le débit de base de la crue. L'hydrogramme est ensuite ajusté par paliers, pour la simulation sur modèle, en respectant le volume de la crue (Fig. 9).

Pour les crues de projet, le volume total de sédiments charriés par l'Avançon a été évalué par le bureau d'étude (Tab. 2 ; Stucky SA et SESA, 2002). Afin de définir le solidogramme correspondant, la formule VAW 1983 (Smart et Jäggi, 1983), applicable aux rivières à forte pente, a été utilisée. Un débit solide est ainsi calculé pour chaque palier et un facteur correctif est appliqué pour ajuster le volume de sédiments requis (Fig. 9).

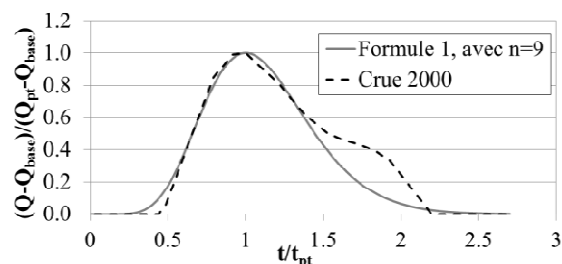


Fig. 8 Comparaison adimensionnelle entre la crue d'octobre 2000 et l'ajustement proposé

Fig. 8 Dimensionless comparison between the October 2000 flood and the theoretical adjustment

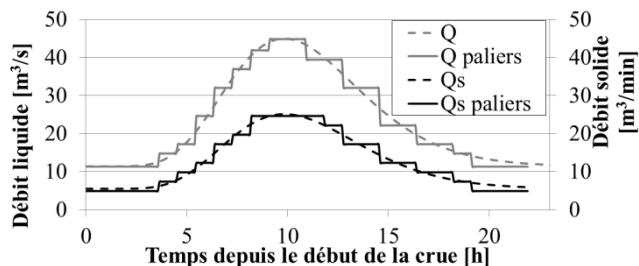


Fig. 9 Hydrogramme Q et solidogramme Q_s de la crue vingtentennale, avec ajustement par paliers

Fig. 9 Hydrograph Q and sediment hydrograph Q_s of the 20 years flood event, with adjustment by steps

Les caractéristiques granulométriques des échantillons sédimentaires prélevés in situ, ainsi que celles calculées en similitude puis finalement utilisées sur le modèle, sont reportées dans le Tableau 4. La fraction fine de la courbe granulométrique, très variable selon les endroits de prélèvement, n'a pas été considérée sur modèle car elle est associée à un transport en suspension.

Tab. 4 Granulométrie du lit du cours d'eau, à l'échelle du modèle (critère de Shields) et utilisée pour les essais

Tab. 4 Grain size distribution on prototype, at model scale (Shields criteria) and used during tests

	Prototype [cm]		Similitude 1/30 (Shields) [mm]		Utilisé sur modèle [mm]
	min	max	min	max	moy
d₉₀	10.9	31.0	3.640	10.3	5.6
d₆₅	5.2	7.1	1.813	2.405	1.7
d₅₀	3.0	3.8	1.158	1.393	0.9
d₃₀	1.1	1.4	0.549	0.670	0.45

RESULTATS

L'objectif prioritaire de ce projet étant la protection de la ville de Bex contre les crues rares, les essais ont débuté par l'optimisation de l'ouvrage de dérivation pour la crue centennale. Dans la configuration initiale (C1), il a d'emblée été remarqué que les volumes de rétention fixés comme objectif n'étaient pas atteints. En outre, un problème majeur est apparu lors de la purge après crue où le processus d'auto-nettoyage du cours d'eau n'était pas amorcé. L'écoulement prioritaire continuait de transiter par la zone d'épandage, en remobilisant une part importante des sédiments accumulés. Ce comportement était lié à la configuration particulière de la digue latérale, dont la partie située à proximité du seuil à engravures était plus haute qu'à son extrémité amont. L'effet de courbe a également un effet significatif sur le comportement hydraulique et sédimentaire à cet endroit. Afin de corriger les défauts observés, le seuil à engravures a été déplacé légèrement vers l'amont dès la configuration C3, de manière à ce que le courant arrive presque perpendiculairement sur l'ouvrage. L'effet de courbe n'est cependant pas le principal facteur d'influence sur la dérivation des sédiments vers la zone d'épandage. La hauteur, forme et position des différentes parties du déversoir latéral ont révélé un impact déterminant sur le comportement général du système. Finalement, la création d'un lit majeur (Fig. 10) rétrécissant la partie amont du bassin, introduite à partir de la configuration C4, a contribué à atteindre l'objectif d'auto-nettoyage en fin de crue.

Dans toutes les configurations testées, le remplissage de la zone d'épandage commence par une accumulation de sédiments dans sa partie centrale, après l'élargissement de section et l'uniformisation du fond (profil 7, Fig. 3). Le remplissage progresse ensuite tant vers l'aval que vers l'amont et, une fois le fond de la zone d'épandage couvert de sédiments, l'épaisseur des dépôts augmente rapidement. A l'entrée du bassin, dans la partie à double lit, des dépôts importants se constituent jusque sur le lit majeur (Fig. 11). Une fois le niveau de ce dernier atteint par les sédiments, l'écoulement perd de sa puissance consécutivement à l'augmentation de la surface d'écoulement. Les sédiments se déposent alors sur toute la largeur à l'entrée de la zone d'épandage. La hauteur de dépôt s'accroît et obstrue de plus en plus le passage vers la zone d'épandage. Cet obstacle a pour effet de progressivement réorienter l'écoulement vers le seuil à engravures, dès la fin de la crue centennale et pendant la

séquence de purge qui suit. C'est ce processus qui permet l'auto-nettoyage du cours d'eau et la préservation du dépôt sédimentaire constitué dans la zone d'épandage.

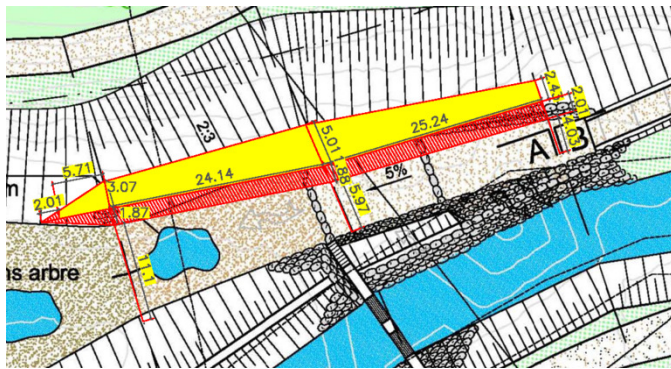


Fig. 10 Plan de situation de la partie amont de la zone d'épandage avec une section à double lit (en jaune la partie horizontale du lit majeur)

Fig. 10 Plan view of the upstream part of the retention basin with the compound channel sector (in yellow the horizontal raised part)

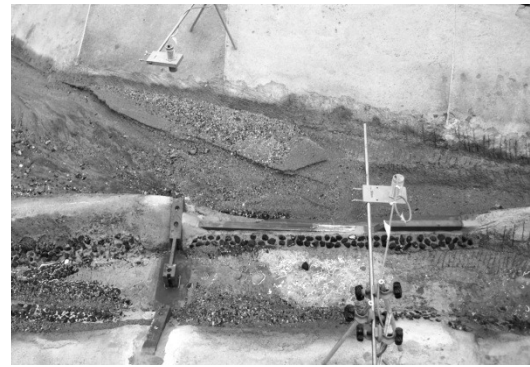


Fig. 11 Remplissage du lit majeur derrière le déversoir latéral après la séquence de purge de la crue centennale, dans la configuration (C6).

Fig. 11 Filling of the compound channel behind the lateral weir after auto-cleaning of the 100 year flood, with configuration (C6)

Pour que déversoir latéral à l'amont du seuil à engravures fonctionne correctement, sa hauteur et sa forme ont dû être optimisées. Les configurations successivement testées ont montré que le déversoir latéral doit être de relativement faible hauteur juste en amont du seuil à engravures car la dérivation de sédiments se fait essentiellement à cet endroit. L'eau par contre est dérivée sur toute la longueur du déversoir. Ainsi, avec un déversoir latéral de trop grande longueur, la puissance d'auto-curage du cours d'eau est réduite et la remobilisation des sédiments dans la zone d'épandage accentuée, sans que la dérivation de sédiments soit augmentée pour autant. Les résultats comparatifs d'alluvionnement, obtenus dans les différentes configurations testées, sont présentés sur la Figure 12.

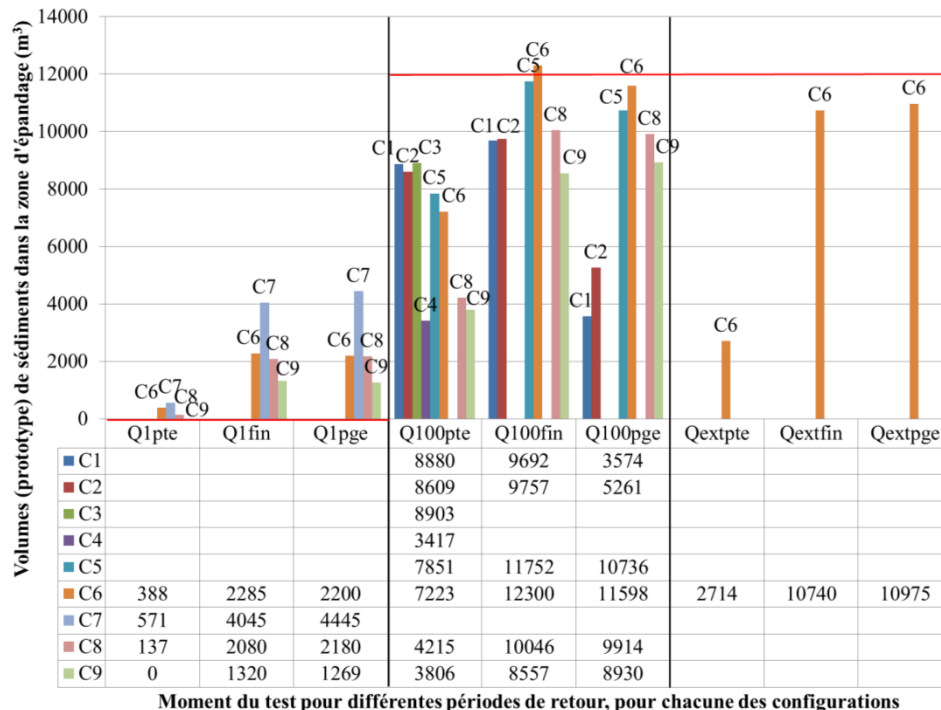


Fig. 12 Volume de sédiments dans la zone d'épandage à différents instants de la crue (pte: pointe; fin: fin; pge: phase de purge), pour trois périodes de retour (Q1, Q100 et Qext), dans les configurations C1 à C9. Les lignes horizontales rouges indiquent les objectifs de stockage dans la zone d'épandage (Tab. 2)

Fig. 12 Volume of sediments in the retention basin at different stages of the flood event (pte: peak; fin: end; pge: auto-cleaning phase), for three return periods (Q1, Q100 et Qext), with configurations C1 to C9. The red horizontal lines indicate the retention objectives of the sediment basin (Tab. 2)

La forme optimale du déversoir latéral a été trouvée de manière itérative avec la configuration C6, en traitillé rouge sur la Fig. 6. L'état de la zone d'épandage dans cette configuration est montré, à différents stades de la crue centennale, sur la Fig. 13. A la pointe de la crue les sédiments commencent à s'accumuler sur le lit majeur du secteur amont et le seuil à engravures est complètement submergé (Fig. 13a). A la fin de la crue, le seuil est à nouveau visible mais obstrué. Le dépôt de sédiments constitué sur le lit majeur gêne le passage vers la zone d'épandage, réorientant l'écoulement dans le cours d'eau (Fig. 13b). Après la séquence de purge, l'auto-nettoyage du lit est total, alors que la remobilisation de sédiments dans la zone d'épandage est quasi-nulle (Fig. 13c). Dans cette configuration, le déversoir latéral est malheureusement un peu trop bas pour éviter une dérivation de sédiments lors de la crue annuelle, (Fig. 13d), ce qui ne correspond pas tout à fait aux objectifs du projet. Un tel comportement n'est pas souhaitable, car susceptible d'augmenter les frais d'entretien.

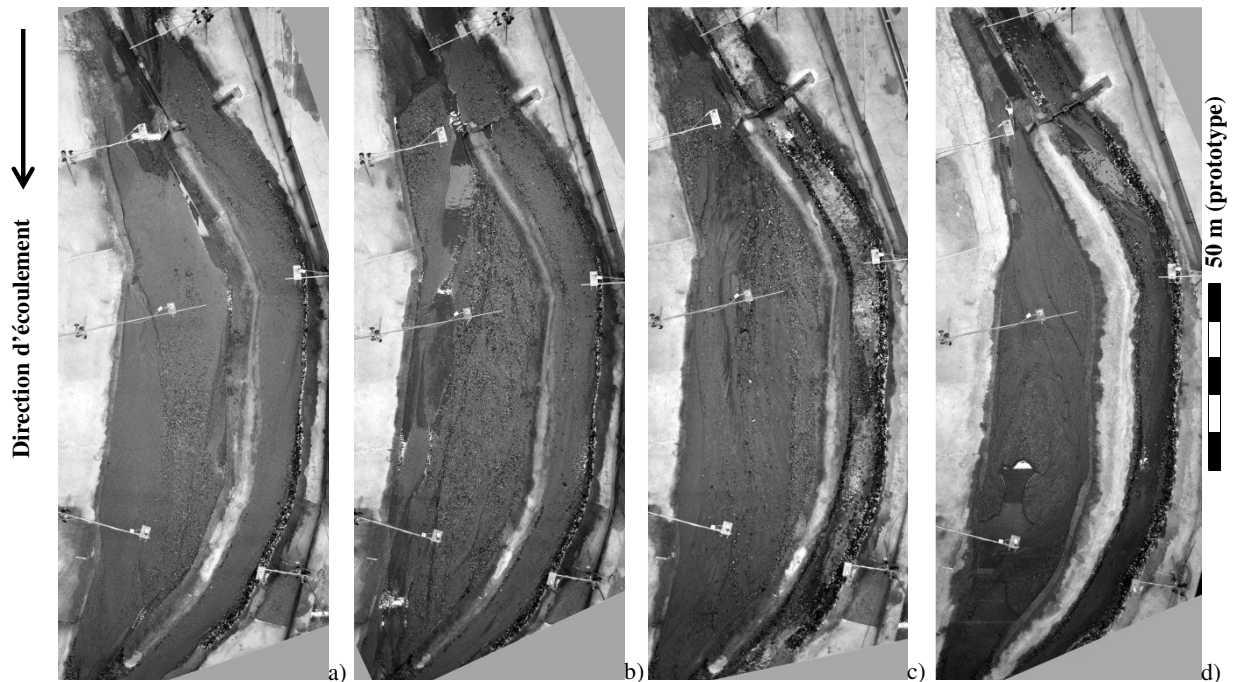


Fig. 13 Résultats d'alluvionnement pour la crue centennale dans la configuration optimisée (C6): a) à la pointe de la crue ($79 \text{ m}^3/\text{s}$); b) à la fin de la crue; c) après la phase de purge (débit de base de $19.7 \text{ m}^3/\text{s}$); d) à la fin de la crue annuelle (débit de pointe $26 \text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 13 Sedimentation results for the 100 year flood in the optimized configuration (C6): a) at the flood peak ($79 \text{ m}^3/\text{s}$); b) at the end of the flood; c) after the auto-cleaning phase (base discharge of $19.7 \text{ m}^3/\text{s}$); d) at the end of the yearly flood event (peak flow of $26 \text{ m}^3/\text{s}$)

Afin de satisfaire les objectifs fixés pour la crue annuelle, une étape d'optimisation supplémentaire a été effectuée. Les linteaux du seuil à engravures ont été retirés afin d'initier plus tardivement la dérivation de sédiments. Cette modification permet d'approcher au mieux les objectifs fixés pour les différentes crues (Fig. 12).

Le comportement de la configuration optimisée est illustré par les Figures 14 et 15. La première montre l'évolution de l'accumulation de sédiments dans les différentes parties de l'aménagement pour Q_{100} . Il apparaît que le remplissage du lit de l'Avançon concerne 12% des sédiments charriés par la crue centennale. La remobilisation des sédiments dans la zone d'épandage est presque nulle pendant la séquence de purge. Au final, 55% des sédiments charriés transitent à travers le secteur modélisé. Une partie de ces sédiments sera vraisemblablement déposée en traversée de la ville de Bex, mais sans causer de problèmes compte tenu de leur quantité réduite. La Figure 15 présente l'évolution de la ligne d'eau en fonction du débit au profil 7, dans la zone d'épandage (ZE) et dans le cours d'eau (CE), pour Q_{100} et Q_1 . Dans la zone d'épandage, tant pour la crue annuelle que pour la crue centennale, le niveau d'eau sur sédiments à la fin de la crue ne retrouve pas son niveau initial, en raison du dépôt constitué. Dans le cours d'eau, le niveau final est identique au niveau initial, confirmant un nettoyage pratiquement total du lit. Pour la crue centennale le niveau d'eau sur sédiments dans le cours d'eau est

proche de la limite de débordement vers la zone d'épandage (ligne horizontale traitillée). Il n'existe par contre aucun risque de débordement vers l'extérieur, donc aucun problème de sécurité.

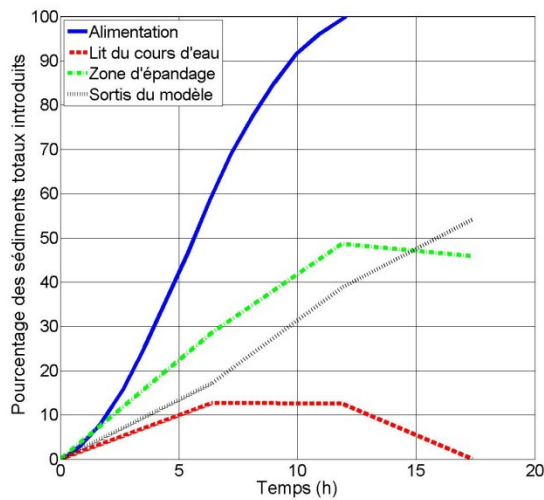


Fig. 14 Pourcentage de sédiments déposés dans différentes parties de l'aménagement au cours de la crue centennale, dans la configuration optimale (C6)
Fig. 14 Percentage of deposited sediments in different parts of the system during the 100 years flood, with the optimal configuration (C6)

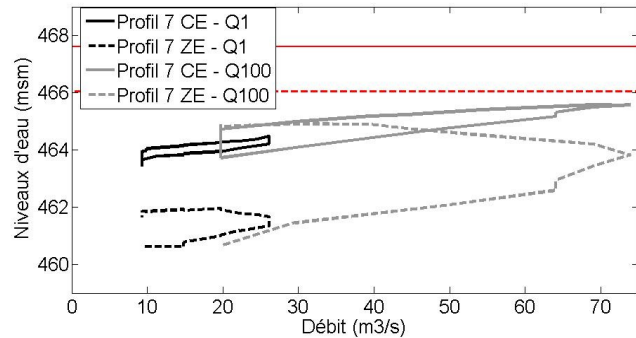


Fig. 15 Niveau d'eau en fonction du débit au profil 7, dans le cours d'eau (CE) et dans la zone d'épandage (ZE), pour les crues annuelles Q_1 et centennale Q_{100} , dans la configuration optimale (C6). En traitillé rouge le niveau de la digue séparant la rivière du bassin, en trait continu le niveau de la rive gauche de la rivière
Fig. 15 Water level in function of discharge at cross section 7, in the river (CE) and in the retention basin (ZE), for the annual Q_1 and hundred years Q_{100} flood events, with optimal configuration (C6). The red dashed line reports the level of the bank between river and basin, the continuous line indicates the level of river's left bank

Des essais spécifiques ont également été effectués dans le but de vérifier le comportement du système en cas d'arrivée de bois flottants. Le volume de bois V_b introduit est basé sur le volume de la crue V_w , selon la relation (2) (Bezzola et Lange, 2006). La Fig. 16 reporte les résultats des essais avec bois flottants dans les configurations C6, C8 et C9 pour la crue annuelle.

$$V_b \approx 4 * V_w^{2/5} \quad (2)$$

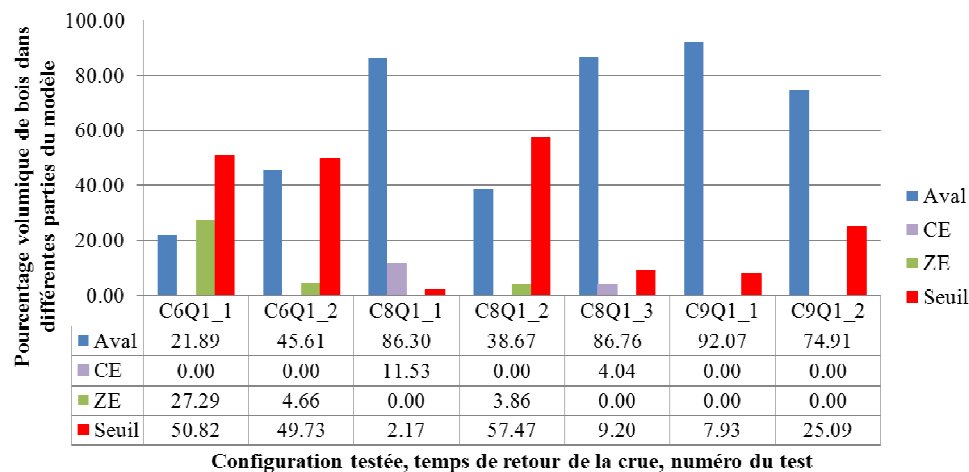


Fig. 16 Résultats des essais avec bois flottants pour la crue annuelle, dans les configurations C6, C8 et C9. Plusieurs lâchers ont été effectués dans chaque cas
Fig. 16 Results of the tests with floating debris for the annual flood event, within configurations C6, C8 and C9. Several tests have been done in each case

Il apparait clairement que la présence de linteaux sur le seuil à engravures crée un obstacle important au transit des corps flottants, comme le montrent les résultats de la configuration C6 (Fig. 17a). Toutefois, l'absence des linteaux ne garantit pas leur transit non plus. Dans ce cas (configuration C8, Fig. 17 b et c), les résultats sont très variables et aléatoires, fonction surtout du moment auquel le premier tronç reste bloqué. La hauteur du déversoir latéral n'a toutefois pratiquement pas d'impact sur le résultat.



Fig. 17 Situation finale des avec bois flottants: a) C6Q1_1; b) C8Q1_3; c) C8Q1_2

Fig. 17 Final state of the tests with floating debris: a) C6Q1_1; b) C8Q1_3; c) C8Q1_2

Pour le passage de la crue centennale, aucun problème n'a été décelé car le niveau d'eau et sa puissance sont tels qu'aucun tronc ne se bloque sur le seuil à engravures. Des apports de flottants ont été simulés également à la pointe de la crue centennale et au début de la séquence de purge dans la configuration C8. Les résultats montrent que l'arrivée de bois n'a que peu d'influence sur le comportement de la zone d'épandage, si ce n'est une légère accélération de l'auto-nettoyage du cours d'eau.

REALISATION

Les travaux de réalisation de la zone d'épandage du Bévieux ont débuté en septembre 2010 et se sont terminés en mai 2011. La durée effective des travaux a été de 7 mois. Le chantier a débuté par l'excavation du bassin et la création de la digue longitudinale de séparation. Les travaux dans le cours d'eau, en particulier le seuil à engravures, ont été effectués durant la période de basses eaux hivernales (janvier – février 2011). Le déversoir latéral ainsi que les différents travaux de finition ont été réalisés au printemps 2011.

La Figure 18 montre l'ouvrage d'entrée de la zone d'épandage, avec l'Avançon sur la gauche, le déversoir latéral au centre et le bassin sur la droite. Les linteaux doivent encore être posés pour fermer la partie supérieure des engravures. L'ouvrage de sortie est visible sur la Figure 19.

Dans le but d'améliorer la valeur environnementale de l'aménagement, des hibernaculæ (zones d'hibernation pour les reptiles) ont été réalisées sur la rive gauche du bassin (exposition Sud). De plus, des mares ont été créées par surcreusement du fond de la zone d'épandage, de manière à favoriser l'émergence d'un milieu pionnier. Finalement, des abris pour la faune piscicole ont été aménagés dans l'Avançon.

Les travaux ont nécessité l'évacuation de 14'000 m³ de matériaux, des mouvements de terre pour un volume d'environ 7'000 m³ et la mise en place de 2'400 tonnes d'enrochements et 800 m³ de béton. Les matériaux d'excavation se sont avérés de qualité suffisante pour être utilisés, après tamisage, pour la réalisation de la digue.

Le chantier a bénéficié de conditions météorologiques particulièrement clémentes. Le coût de réalisation, hors taxe et honoraires, s'élève à 600'000 CHF.



Fig. 18 Vue amont du seuil à engravures (à gauche) et de la zone d'épandage (à droite)

Fig. 18 View of the sill with orifices (left) and of the sediment retention basin (right)



Fig. 19 Vue d'aval de la zone d'épandage, avec l'ouvrage de sortie (en bas à droite)

Fig. 19 Downstream view of the sediment retention basin, with the outlet work (down right corner)

CONCLUSIONS

L'étude expérimentale du projet d'une zone d'épandage sédimentaire, implantée en parallèle du cours d'eau de l'Avançon, a été effectuée par des essais sur modèle réduit. L'optimisation a été possible grâce à une approche itérative visant à satisfaire au mieux les critères de dimensionnement.

Le concept novateur de cet aménagement réside principalement dans le principe de fonctionnement de l'ouvrage d'entrée. Celui-ci est composé d'un seuil à engravures à deux orifices placé en travers du cours d'eau et d'un déversoir latéral sur la rive droite amont. En crue, la limitation de débit induite par le seuil provoque un exhaussement de la ligne d'eau amont et conduit au déversement d'une partie de l'écoulement vers la zone d'épandage. Le déversement sur le seuil latéral est initié dès que le débit de l'Avançon dépasse la crue annuelle. Pour les crues plus importantes, le ralentissement provoqué par le seuil a pour effet de favoriser l'alluvionnement du lit en amont et consécutivement la dérivation des sédiments charriés vers la zone d'épandage. Dans la configuration optimisée, le volume sédimentaire stocké dans la zone d'épandage atteint de manière satisfaisante les objectifs fixés pour les crues vingtennale, centennale et extrême. La dérivation indésirable de sédiments, observée en crue annuelle, ne satisfait pas rigoureusement le critère de dimensionnement. Elle implique un entretien régulier de la zone d'épandage.

Les essais effectués avec des corps flottants montrent que le seuil à engravures à deux orifices est source d'embâcles pour la crue annuelle. Lorsque les linteaux horizontaux fermant la partie supérieure des orifices sont retirés, la quantité de bois accumulée derrière le seuil est réduite. Compte tenu de cet effet, il a été décidé de mettre en place la configuration optimisée, avec des linteaux amovibles. Cela permettra, en cas de problème avéré, de retirer les linteaux pour dégager la section critique. Le volume de sédiments dans la zone d'épandage en crue centennale sera alors légèrement réduit.

L'optimisation expérimentale a mis en évidence le fait que la forme du déversoir latéral à niveau variable a un impact déterminant sur le comportement de l'ouvrage. Finalement, la réalisation d'une section à double lit dans le secteur amont de la zone d'épandage facilite le processus d'auto-nettoyage du cours d'eau.

RÉFÉRENCES

- Bezzola G.R., Lange D. (2006). "Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze". Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETHZ, Zürich.
- Stucky SA, Service des Eaux Sols et Assainissement du Canton de Vaud (SESA) (2002). "Etablissement de la carte des dangers de l'Avançon de Bex – Données de base, identification des aléas et phénomènes, carte indicative des dangers", N° 4457/4006a, Renens, Suisse.
- Boillat J.-L., Geiges-Mayaud M., Teyssie Ph. (2009). "Auslaufbauwerk des Geschiebesammlers Fromatta" Wasser Energie Luft, 101. Jhrg., Heft 1/2009, pp. 32-36.
- Hachem T., Herzog B., Boillat J.-L., Schleiss A. (2012). "Gestion du risque d'inondation sur le Milibach en Suisse. Optimisation sur modèle physique", 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble, France.
- Hager W.H., Sinniger R. (1985). Flood storage in reservoirs. Proc. ASCE, J. Irrigation and Drainage, Vol. 111, IR1, 76-85.
- Meile T., Bodenmann M., Schleiss A., Boillat J.-L. (2004). "Umsetzung des Hochwasserschutzkonzeptes der Gemeinde Brig - Glis im Kanton Wallis", Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – Riva/Trient, Themenkreis VII, pp. 219-230.
- Müller M., Bieri M., Ribeiro Martins J., Boillat J.-L., Schleiss A. (2010). "Barrage de Lavey. Etudes physique et numérique des écoulements et du transport solide dans le Rhône" La Houille Blanche, 6/2010, pp. 60-67.
- Smart G.M., Jäggi M.N.R. (1983). "Sediment transport on steep slopes". Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 64, ETHZ, Zürich.
- Studer M., Hachem F., Boillat J.-L. (2010). "Experimental design of a diversion structure of granular debris flows", River Flow 2010, Braunschweig, Germany, Ed. Dittrich, Koll, Aeberle & Geisenhainer (eds), Bundesanstalt für Wasserbau, ISBN 978-3-939230-00-7, 2010, pp. 1363-1369.

THE ROLE OF FALLING ROCK PROTECTION BARRIERS IN THE CONTEXT OF LANDSLIDE RISK ANALYSIS AND MITIGATION

Alice Gorlato¹, Guido Gottardi², **Laura Govoni**³, Alessio Mentani⁴, Marco Ranalli, Claudia Strada⁵

ABSTRACT

In this paper, the authors investigate the behaviour of the falling rock protection barrier at present installed within the territory of the Autonomous Province of Bolzano (PAB). Information relevant to the description of these structures are found in the complete inventory of all rockfall protection works, recently developed by PAB (VISO). Based on these data, suitably integrated with the available technical documentation and in situ surveys, a set of FE models was developed to predict the response of such structures to the impact of blocks of known kinetic energy. The models were designed so that the results could be interpreted to evaluate the effectiveness of existing barriers toward any possible rockfall event, in terms of structure deformation and forces developed at the foundations and anchoring points. This study forms part of the research activities of the European project PARAMount: imPROved Accessibility, Reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to MOUNtainous hazard in a changing climate.

Keywords: Natural hazards, risk mitigation, falling rock protection barriers, rockfall, FE modelling.

INTRODUCTION

Falling rock protection barriers are metallic structures used as passive measures against rockfall, with the aim of intercepting and stopping the blocks moving along an unstable slope.

As illustrated in Figure 1a, these structures are made of a series of identical functional modules installed in sequence up to the desired length. Each functional module generally features an interception structure, kept in position by support structures. Connecting components join the barrier elements and transfer the loads to the foundations. Falling rock protection barriers are able to intercept the blocks moving along a slope and stop them by developing elasto-plastic deformations of the system and its components: the higher the structure compliance, the greater the barrier energy absorption capacity from few to more than 4500 kJ (Descouedres et al., 1999), as it is schematically illustrated in Figure 1b. Available in a variety of models, these structures are widely used since they are light, versatile, easy to be maintained and particularly effective towards rockfall risk mitigation.

The Autonomous Province of Bolzano has recently catalogued about one thousand falling rock protection barriers installed on its territory: approximately more than a half are of low capacity (lower than 100 kJ). In order to evaluate the effectiveness of these structures against rockfalls, the position and the behaviour under dynamic conditions should be known and compared with the data relevant to the description of predicted rockfall events (Giani, 1992; Corominas et al., 2005; Oggeri and Tosco, 2005; Peila and Guardini, 2008). The dynamic behaviour of a falling rock protection barrier is traditionally evaluated by means of full-scale tests, in which the ability of the system to stop blocks having energies up to the nominal value is assessed on prototypes. However, experimental evidences are not available for all the existing falling rock protection barriers and a relevant procedure becomes necessary.

¹ Alice Gorlato. DICAM, University of Bologna, Bologna

² Prof. Guido Gottardi. DICAM, University of Bologna, Bologna.

³ PhD. Laura Govoni. DICAM, University of Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy (e-mail: l.govoni@unibo.it)

⁴ Alessio Mentani. DICAM, University of Bologna, Bologna

⁵ Claudia Strada. Autonomous Province of Bolzano

Within such context the paper presents a numerical procedure for the investigation of the behaviour of falling rock protection barriers in dynamic conditions. The procedure has been developed and assessed on the basis of high quality experimental results of flexible falling rock protection barriers (Gottardi and Govoni, 2010) and has shown to be of general validity (Gentilini et al. 2011), as it is able of producing a very accurate description of the response of various types of flexible systems to a wide range of impact kinetic energies. The procedure is herein extended to predict the behaviour of barriers for which experimental data are not available. Numerical analyses enable to predict the parameters relevant to the evaluation of the effectiveness of existing barriers against rockfall events.

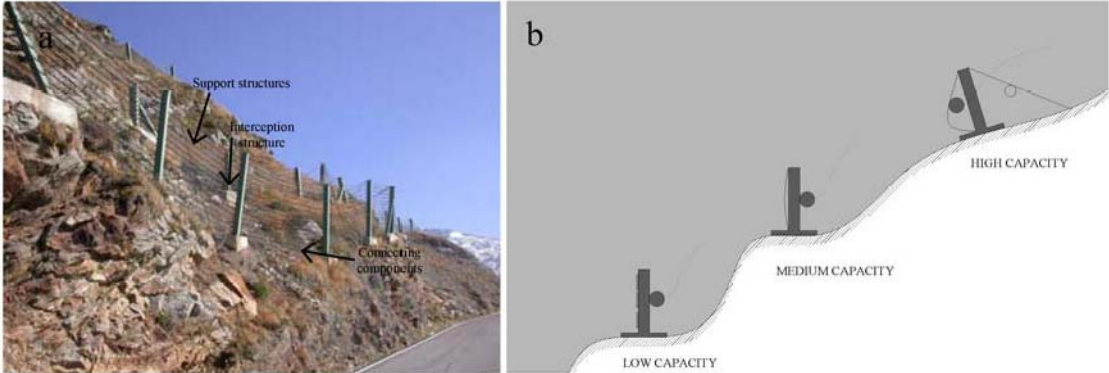


Fig. 1 Falling rock protection barrier: a) functional modules and structural components, b) compliance and capacity

THE FALLING ROCK PROTECTION BARRIERS WITHIN THE AUTONOMOUS PROVINCE OF BOLZANO

A complete database of the falling rock protection barriers at present installed within the Autonomous Province of Bolzano has been recently developed. The starting point was found in VISO, a thorough inventory of the protection works now installed within the Province area. With reference to the specific hazard events and threatened items, passive systems such as ditches, wire nets, earth dams, sheds and falling rock protection barriers have been registered within the inventory. Information included in VISO have been mostly acquired by direct inspections carried out over the last few years and essentially concerns the position, typology and principal dimensions of each protection work, along with relevant photographs and remarks on the state of maintenance.

With reference to the sole falling rock protection barriers, including those of low (Figure 2a and 2b) and high (Figure 2c) energy absorption capacity, further data were collected in order to provide each item with a complete structural description. These data, generally collected from the available technical documentation along with suitably carried out in-situ surveys, enable both geometry and mechanical properties of the barrier functional module to be accurately depicted.



Fig. 2 Falling rock protection barriers within the Autonomous Province of Bolzano: a) and b) low capacity systems, c) high capacity systems

Since the goal of the database is to provide the information necessary to investigate the response of such structures, technical reports on relevant full-scale tests were included in the catalogue.

Experimental results were available for only about one tenth of the inventoried works (all high capacity barriers) and no behavioural data were found for the rest of the structures.

Barriers were then grouped according to their functional module, providing the identification of a set of falling rock protection barriers types. Each type features a specific interception structure, support structure and connecting components and has been, in general, distributed by a single manufacturer.

Although barriers belonging to a given type might feature minor differences among each other (e.g. dimensions, special components), they are expected to exhibit a similar response to block impacts.

Therefore, behavioural studies were carried out for each barrier type and results were considered as reference data for all the barriers belonging to the group.

In Figure 3, pictures of the ANAS barrier type are shown. The functional module of this barrier type features: equally spaced longitudinal ropes, steel I-beam posts, side cables and special eyelets which let the longitudinal ropes slide horizontally through the posts while no vertical movement are enabled. Several barrier types are currently under investigation. However, for brevity the study is presented and discussed in the following section with reference to the ANAS barrier type only.

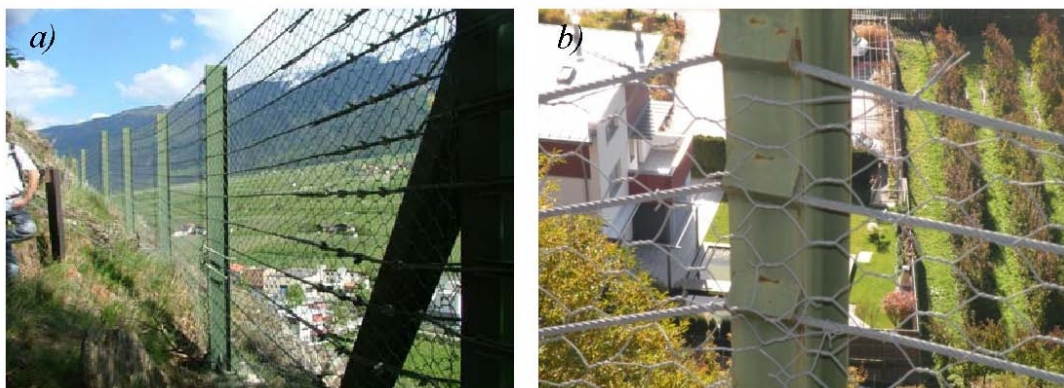


Fig. 3 The ANAS barrier type: a) general view, b) details of the connecting components

MODELLING OF FALLING ROCK PROTECTION BARRIERS

The dynamic behaviour of a falling rock protection barrier is traditionally evaluated by means of full-scale tests on prototypes and experiments are generally carried out at test sites (Figure 4) suitably instrumented for the measurement of the quantities relevant to the description of the structure response to block impacts, such as displacements and forces mobilised at the anchorages. In a test site as such, a barrier prototype, made of three functional modules, is subjected to the impact of blocks of known kinetic energies into the middle functional module. Results of the tests provide the complete time histories of the force-displacement response of the barrier and enable the assessment of its energy absorption capacity (the nominal capacity). According to the recently published Guideline for the European Technical Approval of falling rock protection kits, ETAG 27 (EOTA, 2008), full-scale testing is now mandatory for high capacity falling rock protection barriers. The Guideline, which has recently come into effect, provides all the requirements which a barrier should meet for being classified and distributed with a CE marking, as a proper construction product kit.

Over the last few years, significant improvements in testing set-ups and procedures have been made to meet the instructions included in the ETAG 27 and accurate and reliable experimental data on the behaviour of these structures in dynamic conditions have now become available (Gottardi and Govoni, 2010). Based on these data, a comprehensive strategy for the numerical modelling of falling rock protection barriers have been recently developed. The numerical procedure was designed on a set of numerical solutions for the modelling of the barrier structural components and impact conditions, which enable simple and effective models to be implemented (Govoni et al., 2011; Gentilini et al., 2011). Finite element, non linear, dynamic models of different high capacity barrier types were developed according to such procedure and analyses were run under various levels of impact kinetic energy using commercially available FEM codes. All the models have shown to be able to accurately

reproduce the experimentally observed behaviour, thus assessing the general validity of the numerical procedure. Such accuracy can be qualitatively appreciated in Figure 5, where the response of a model of a high capacity barrier type to a central impact is compared to the response of the corresponding prototype. Further details and results of the procedure are found in Gentilini et al. (2011). The findings would encourage the use of such numerical procedures to predict the response of any barrier type to any impact condition.

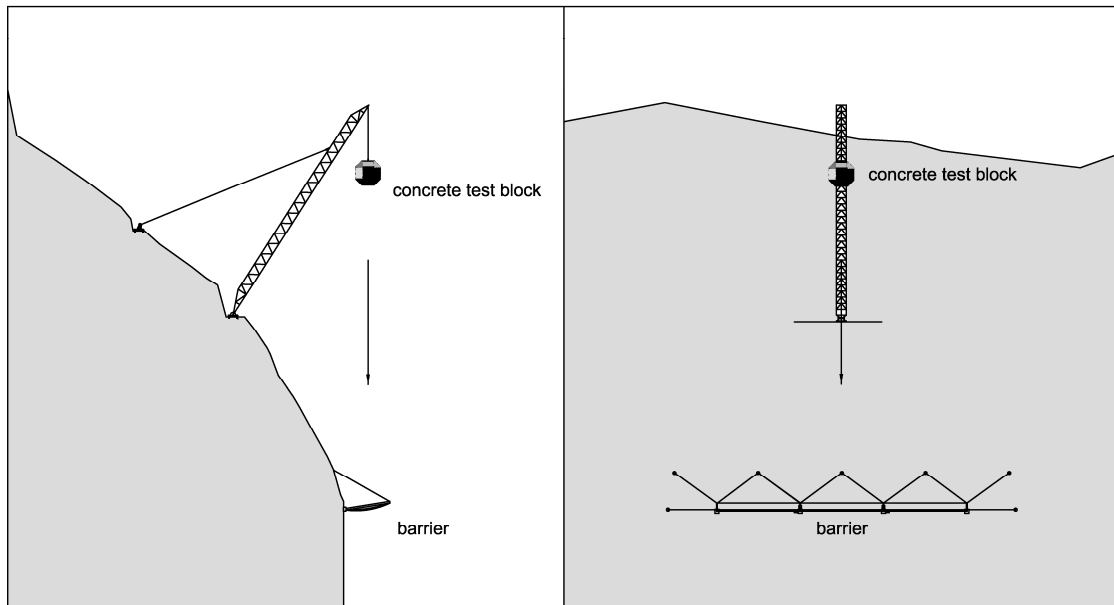


Fig. 4 Full-scale testing procedures on a three functional modules prototype at a vertical-drop test site

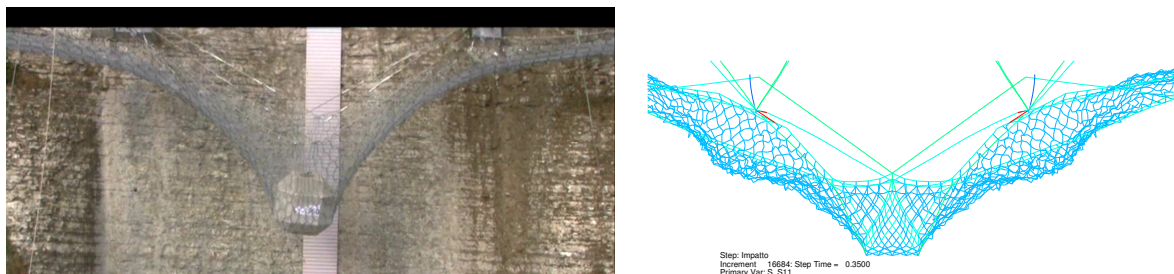


Fig. 5 Physical and numerical modelling of a falling rock protection barrier prototype in a vertical-drop test site

NUMERICAL MODELLING OF THE ANAS BARRIER TYPE

According to the data collected in the above described database of the falling rock protection barriers of the Autonomous Province of Bolzano, there is no experimental evidence of the response to block impacts of the ANAS barrier type.

In order to evaluate the effectiveness of this structure against possible rockfall events, a numerical study has been carried out, which can yield information on the behaviour that this structure would exhibit in full-scale testing conditions. Results of such analyses enable a thorough investigation of the structure force-displacement response along with an estimate of its nominal energy absorption capacity.

To this end, a prototype of ANAS barrier was devised, as schematically illustrated in Figure 7, according to typical full-scale testing conditions, i.e. a prototype made up of three functional modules and each module featuring an interception structure, a support structure and special connecting components. The interception structure is made of 12 mm longitudinal ropes, equally spaced; the support structures are made of two internal and two external I-beams; the connecting components are

two side cables, each 18 mm in diameter. Eyelets let the ropes move through the posts while vertical movements are prevented. The dimensions of the module are described by the barrier height, defined as the distance between the top and the bottom longitudinal ropes ($h_N = 3.2$ m) and the post spacing ($I = 5$ m). Posts are fully restrained at their base.

A FE model of the prototype has been then developed according to the model proposed by Gentilini et al. (2011): the interception structure was modelled with one-dimensional truss elements and no flexural rigidity. For the side cables, truss elements were used as well. For the posts, one-dimensional beam elements were adopted with flexural rigidity. The one-dimensional constitutive behaviour assigned to these elements is schematically shown in Figure 8, in terms of stress-strain and moment-curvature. In particular, an elastic perfectly plastic behaviour was introduced for the I-beams (Figure 8a). All the ropes were assumed to have a simple bi-linear, elastic hardening-plastic behaviour with no ability to sustain compressive stresses (Figure 8b), as it is observed on cables in conventional tensile tests (Fontanari et al., 2009; Castro Fresno et al., 2008).

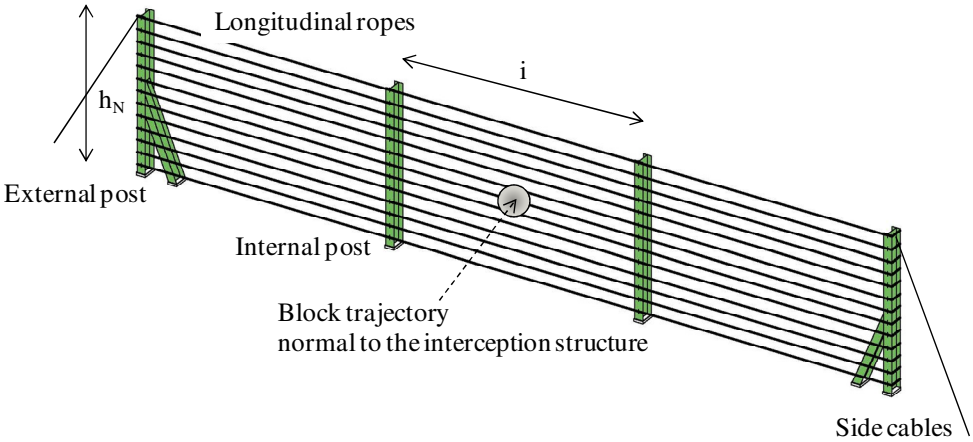


Fig. 7 FE Model of the ANAS type of semi-flexible falling rock protection barrier: geometry and impact conditions

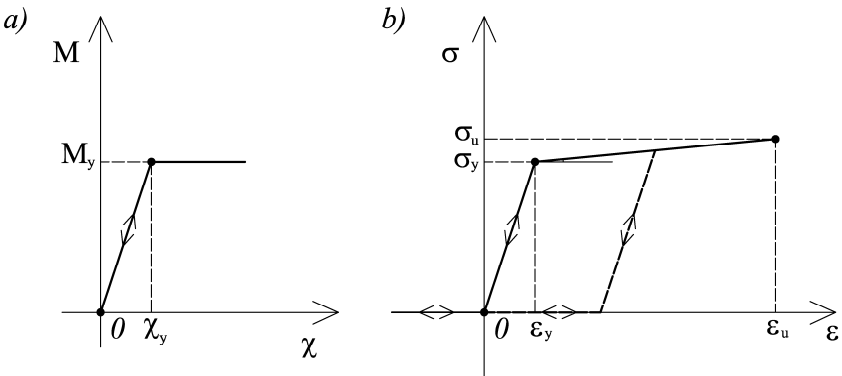


Fig. 8 FE Model of the ANAS type of semi-flexible falling rock protection barrier: material properties a) posts, b) interception structure

RESULTS OF THE NUMERICAL ANALYSES ON THE ANAS BARRIER MODEL

Analyses were run following the procedures of vertical-drop test site: the impact of the test block, normal to the centre of the middle functional module, was simulated by a set of lumped masses (311 kg) distributed on the impact area. A velocity was assigned to the masses in the direction normal to

the interception structure plane. Such procedure has been proved effective onto other barrier types (Gentilini et al., 2011).

Results of the analyses enable the behaviour of a given falling rock protection barrier type to be described. In particular, the simulations allow for the identification of a collapse mechanism for the investigated prototype, obtained by observing the development of plastic hinges within the structural components.

As it is illustrated in Figure 9, with reference to the ANAS barrier type, in response to a central impact, plastic zones start to develop at the external posts and then move to the base of the internal posts. Such mechanism was previously observed and used in simplified analytical procedures for the investigation of the behaviour of this structure type (Paronuzzi and Coccolo, 1998). A set of analyses was performed by varying the intensity of the velocity vectors in order to identify a threshold level after which the model no longer converges. Such velocity level, combined with the applied mass value, provides the maximum kinetic energy that the model is able to absorb prior to fail. Such value was taken as the barrier type nominal capacity, in the case of the analysed ANAS barrier type 50 kJ.

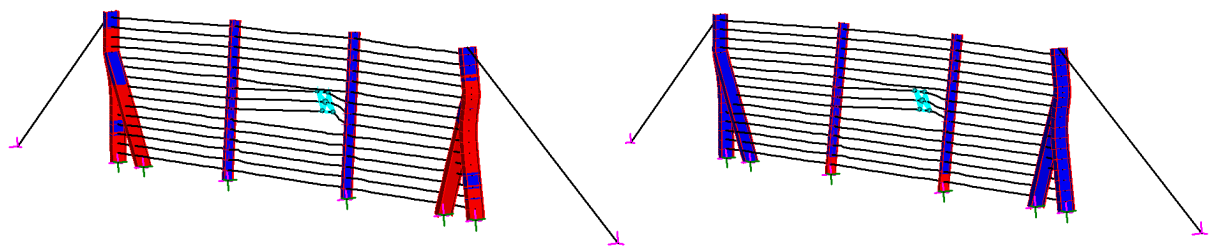


Fig. 9 Results of FE analyses of the ANAS type of falling rock protection barrier: failure mechanism

Results provide also information on the system maximum displacements. The time-history of the barrier elongation, given by the movement of the impact points in the direction normal to the interception structure, is given in Figure 10a. The peak value on the curve (1 m for the ANAS barrier type), when compared with the in-situ minimum distance between the barrier and the protected items, gives a further crucial information on the barrier effectiveness against rockfall.

Other relevant results are those concerning the reaction forces developed at the foundations. Again, the peak value on the curve can be suitably used to verify the adequacy of such foundation design. For the ANAS prototype, the tensile force developed at the side anchorages is given in Figure 10b, while the time histories of the force and moment resultants mobilised at the internal post foundations are shown in Figure 10c and 10d.

These results provide the reference data for all the barriers installed within the Autonomous Province of Bolzano and catalogued in the ANAS barrier type group. Since these barriers can be found on the Bolzano territory in several geometrical (post spacing, nominal height) and mechanical (posts and rope sections) configurations, parametric analyses were run to investigate their influence. Noting that parameter values in *italic* are those of the reference model, results of the simulations are summarised in Table 1, with relation to the capacity values and maximum forces and moments acting on the foundations. Results were obtained by varying one parameter at time on the reference barrier model. A preliminary parametric study was also carried out to investigate the effects of the impact location and results are also reported in Table 1. In particular, the structure response was studied for impacts onto the top longitudinal rope (top) and side span (lateral). More details can be found in Gorlato (2011). As it can be observed, the barrier capacity increases with its dimensions, both in terms of post spacing and height. Higher posts sections produce higher capacities, whereas larger rope diameters produce lower capacities. The capacity of this barrier type, as predicted by numerical analyses, is found between 30 and 90 kJ. It is also worth noticing that non standard and symmetric impact conditions can significantly reduce the barrier capacity.

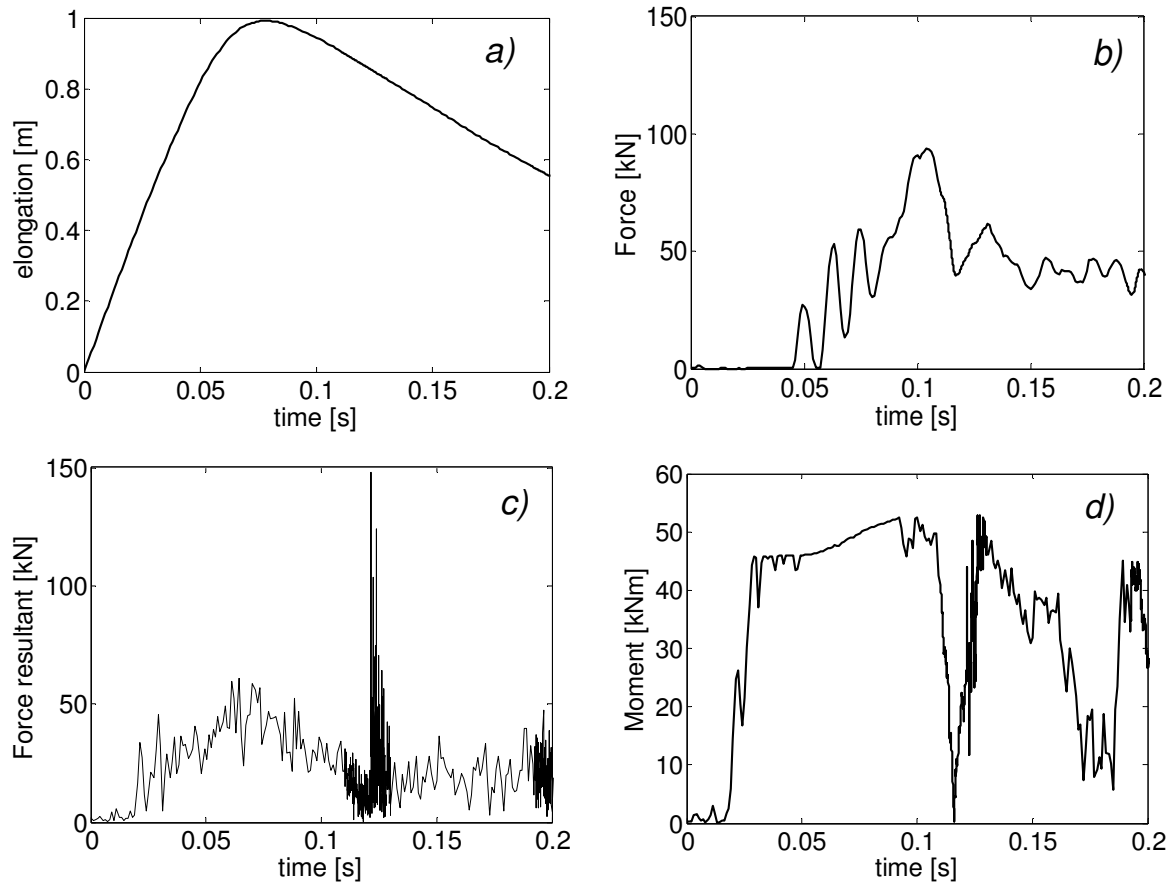


Fig. 10 Results of FE analyses of the ANAS type of falling rock protection barrier: time histories of a) the barrier elongation, b) the tensile force at one side anchorage, c) the force resultant at one internal post foundation and d) the resultant moment at one internal post foundation

Tab. 1 Parametric analyses on the ANAS type of semi-flexible falling rock protection barrier

Parameters		Capacity [kJ]	Max reaction force [kN]	Max reaction Moment [kNm]
Post spacing i	3.5 m	40	600	50
	5 m	50	600	50
	6.5 m	70	500	55
Nominal height h_N	2 m	40	500	55
	3.2 m	50	600	50
	4 m	70	400	50
Internal posts diameter	IPE 200	50	600	50
	IPE 220	70	600	60
	IPE 240	90	700	80
External posts diameter	IPE 270	40	550	50
	IPE 300	50	600	50
Longitudinal rope diameter	12 mm	50	600	50
	16 mm	30	600	50
	18 mm	30	700	50
Impact conditions	central	50	600	50
	top	30	350	50
	lateral	30	600	45

CONCLUDING REMARKS

The paper has presented a procedure to investigate the behaviour of the falling rock protection barriers at present installed within the territory of the Autonomous Province of Bolzano. The

procedure has been developed from the information collected in a database of all the barriers catalogued within the inventory of all the protection works of the Province territory. The aim of the study is to provide the data relevant to the description of the effectiveness of these special structures toward possible rockfall events. The data enabling the description of the behaviour of these structures in dynamic conditions are generally available only for high-capacity falling rock protection barriers, as they are typically subjected to suitably developed full-scale tests, while no experimental evidences on the response to block impacts of lower capacity falling rock protection barriers are currently available. A FE procedure, recently developed and assessed, has been then applied to investigate numerically the response of such low capacity barriers in conditions similar to those encountered in a test site. The procedure has been applied to various barriers and presented in the paper with reference to the widely used ANAS type. Results of the simulations provide parameters relevant to the evaluation of the effectiveness of this structure type against rockfall, such as the barrier absorption capacity, deformation and force mobilised at the foundations. Results of specific parametric analyses were also briefly presented.

This study forms part of the research activities of the European project PARAMount: imPROved Accessibility, Reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to MOUNTainous hazard in a changing climate.

REFERENCES

- Castro-Fresno D., del Coz Díaz J.J., López L.A. and García Nieto P.J. (2008). Evaluation of the resistant capacity of cable nets using the finite element method and experimental validation. *Eng Geol* 100, 1-10.
- Corominas J., Copons R., Moya J., Vilaplana J. M., Altimir J. and Amigo J. (2005). Quantitative assessment of the residual risk in a rockfall protected area, *Landslides* 2, 343-357.
- Descouedres F., Montani-Stoffel S., Boll A., Gerber W. and Labiouse V. (1999). Rockfalls. Disaster Resilient Infrastructure. Minor, H. E. (Ed.) *Internat. Decade Natural Disaster Reduction (IDNDR)*, 37-47.
- EOTA (2008). Guideline for European technical approval of falling rock protection kits (ETAG 027), February 2008, Brussels.
- Fontanari V., Monelli B.D. and Degasperi F. (2009). Experimental and numerical analysis of full-locked coil ropes fire behaviour. *Proceedings of the Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics*, 1-8.
- Gentilini C., Govoni L., de Miranda S., Gottardi G. and Ubertini F. (2011). Three-dimensional numerical modelling of falling rock protection barriers, *Computer and Geotechnics* (under revision).
- Giani G.P. (1992). *Rock slope stability analysis*. Balkema, Rotterdam, NL.
- Gorlato A. (2011). Numerical non linear modelling of the response of a rockfall protection barrier, Master Thesis, Bologna 2010 (in Italian).
- Gottardi G. and Govoni L. (2010). Full scale modelling of rockfall protection barriers. *International Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering* 43 (3), 261-274.
- Govoni L., de Miranda S., Gentilini C., Gottardi G. and Ubertini F. (2011). Modelling of falling rock protection barriers, *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics* 11 (4), 126-127.
- Oggeri C., Peila D. and Valfré A. (2006). Calcolo e dimensionamento di barriere paramassi a rete. *Le Strade* 10, 158-164 (in Italian).
- Oggeri C. and Tosco P. (2005). Identificazione del rischio per fenomeni di caduta massi. *GEAM*, 2005, 1, 23-32 (in Italian).
- Paronuzzi P. and Coccolo A. (1998). Modelli di calcolo per la valutazione dell'energia dissipabile da reti paramassi poco deformabili. *GEAM* 2008, 2-3, 189-196 (in Italian).
- Peila D. and Guardini C. (2008). Use of the event tree to assess the risk reduction obtained from rockfall protection devices, *Natural Hazards Earth System Science* 8, 1441-1450.

INTEGRALER STEINSCHLAGSCHUTZ IN ADELBODEN (BERNER OBERLAND, SCHWEIZ)

INTERGRAL ROCK FALL PROTECTION IN ADELBODEN (BERNESE OBERLAND, SWITZERLAND)

Ueli Gruner¹ und **Kaspar Graf**²

ZUSAMMENFASSUNG

Im bekannten Sommer- und Winterkurort Adelboden im Berner Oberland (Schweiz) sind grössere Bereiche des oberen Dorfteils durch Sturzprozesse bedroht: Rund 60 dauerbelegte Gebäude und ca. 20 Ferienhäuser liegen in Gebieten mit roten oder blauen Gefahrenstufen, d. h. in Verbots- oder Gebotszonen. Hier sind vorsorgliche Massnahmen zum Schutz von Personen und Gebäuden zu treffen. Zudem ist die bauliche Entwicklung in diesen Gebieten, z. B. An- oder Umbauten, verunmöglicht oder erschwert. Die Risikoanalyse zeigte, dass das individuelle Todesfallrisiko über dem akzeptierten Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ liegt, d. h. dass Massnahmen zum Schutz vor Menschen notwendig sind. Aufgrund von 3-D-Sturzmodellierungen konnten flächenhafte Angaben über Reichweiten, Energien und Sprunghöhen der relevanten Sturzblöcke im Prozessraum ermittelt werden. Auf dieser Basis wurden dynamische Steinschlagschutznetze projektiert, welche in bewohnten Gefahrengebieten eine Rückstufung ermöglichen. Insgesamt sollen über 1000 m Schutznetze mit Energieklassen zwischen 500 und 1500 kJ und Wirkungshöhen von 3 bzw. 4 m erstellt werden. Die Gesamtkosten werden auf rund CHF 3.3 Mio. beziffert.

Keywords: Steinschlag, Felssturz, 3-D-Modellierung, Gefahrenkarte, Risikoanalyse

ABSTRACT

In the famous summer and winter resort of Adelboden in the Bernese Oberland (Switzerland) large areas of the upper part of the village are threatened by rock fall: According to the natural hazard map about 60 permanent occupied buildings and about 20 vacation homes are located in areas with red or blue danger levels, i.e. in prohibited or restricted areas. Here, preventive measures regarding people and buildings are to be taken. In addition, the structural development in these areas are impossible or difficult. Based on a risk analysis it turned out that the individual risk of death is greatly increase, i.e. that measures are necessary for protection of humans. Base on 3D rockfall simulations extensive descriptions of range, energy and jump height of the relevant blocks could be obtained. On this basis, rock fall protection barrier were projected, which should protect the occupied endangered territories, which allows their downgrading. Overall a total of over 1000 m of protecting nets are to be installed, which have an energy intake between 500 and 1500 kJ at a height of 3 or 4 m. The total costs amount to around CHF 3.3 Mio.

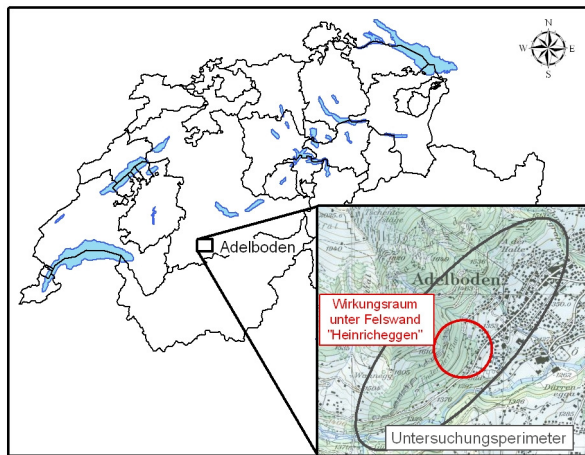
Keywords: rock fall, 3D simulation, natural hazard map, risk analysis

¹Dr. Ueli Gruner. Kellerhals+Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, CH-3011 Bern, Switzerland (e-mail:ueli.gruner@k-h.ch)

²Dr. Kaspar Graf. Geotest AG, Birkenstrasse 15, CH-3052 Zollikofen, Switzerland

EINLEITUNG

Der bekannte Sommer- und Winterkurort Adelboden im Berner Oberland (Schweiz; Figur 1) verfügt seit dem Jahr 2004 über eine Gefahrenkarte für die Naturprozesse (Kellerhals+Haefeli AG/Geotest AG/Kissling+Zbinden AG 2004). Dabei zeigte sich, dass Teile des Dorfes u. a. stark durch Sturzprozesse bedroht sind. Gemäss dieser Gefahrenkarte liegt eine grössere Anzahl von Gebäuden und Ferienhäusern innerhalb von Gebieten mit den Gefahrenstufen Rot und Blau, d. h. in Verbots- oder Gebotsbereichen. Gemäss den Bundesvorgaben sind in diesen Zonen Schäden - sei es an Personen oder Gebäuden - durch geeignete Vorsorgemassnahmen zu vermeiden. Ohne solche Massnahmen werden keine Baubewilligungen mehr erteilt.



Die Gemeinde Adelboden will diese Gefährdungslage mit einem integralen Schutz vor Stein- und Blockschlag verbessern. Damit sollen in erster Linie Personen- oder Gebäudeschäden vermieden werden. Zudem will man damit auch die weitere bauliche Entwicklung im betroffenen Gebiet ermöglichen – sei es in Bezug auf An- oder Umbauten bei heutigen Häusern, sei es bei Neubauten in bestehenden Bauzonen. Das entsprechende Vorprojekt wurde im Jahr 2010 ausgearbeitet (Kellerhals+Haefeli AG, 2010)

Fig. 1 Situation des Gefahrengbietes in Adelboden

Fig. 1 Situation of the danger area in Adelboden

ALLGEMEINES ZUR GEOLOGIE IM GEFAHRENGEBIET

Die Sturzgefahren für die erwähnten Häuser in diesem Dorfteil von Adelboden gehen von verschiedenen markanten Felswänden oberhalb des Dorfes aus. Diese Felsgebiete bestehen einerseits aus Gesteinen des sogenannten Ultrahelvetikums ("Zone des Cols"), andererseits aus der darüber lagernden Gesteinsabfolge der penninischen Niesen-Decke, welche bei der Alpenfaltung von Süden her überschoben wurde (Furrer et al, 1993). Beide tektonischen Einheiten wurden im Rahmen der alpinen Gebirgsbildung als eigenständige Decken weit nach Norden transportiert, verfaltet und z. T. auch verschuppt und sind deshalb felsmechanisch entsprechend stark beansprucht worden.

Bei den Gesteinen des Ultrahelvetikums handelt es sich in erster Linie um massige, unterschiedlich kompakte Kalkabfolgen des Oberen Malm mit einer meist ausgeprägten Klüftung. Diese Gesteine stellen den hauptsächlichen Gefahrenherd für Sturzereignisse oberhalb des Dorfes Adelboden dar. Ganz im Nordosten sind Gips, Rauhacken und Dolomitgesteine an der Basis der darüber liegenden Niesen-Decke die potenziellen Gefahrengesteine.

BISHERIGE STURZEREIGNISSE

Der Kataster der bisherigen Sturzereignisse bildet eine wichtige Grundlage bei einer Gefahrenbeurteilung. Er gibt Hinweise auf die zu erwartenden Sturzkörpergrössen und lässt eine Abschätzung der Wiederkehrperioden solcher Ereignisse zu. Beide Aspekte fliessen bei der Erarbeitung der Gefahrenkarte ein.

Kleinere Sturzereignisse (Steine) treten im Untersuchungsperimeter relativ häufig auf (teilweise jährlich), gefährden aber die Häuser nicht. Hingegen wurden in der Vergangenheit immer wieder grössere Blocksturzereignisse registriert, welche vereinzelt auch bis in heute bewohnte Gebiete gelangten: Im Jahr 1820 z. B. ereignete sich ein grösserer Felssturz aus den Felswänden oberhalb von Adelboden; im Ablagerungsgebiet standen jedoch damals noch keine Häuser.

Und im Jahr 1963 stürzte ein rund 20 m³ grosser Block aus einer Felswand, durchquerte den Schutzwald und rollte weiter talwärts zwischen den Häusern durch, ohne dabei allerdings einen bedeutenden Schaden anzurichten.

METHODISCHES ZUR GEFAHRENKARTIERUNG

Als Grundlage für die Sturz-Gefahrenkarte von Adelboden wurden im Untersuchungsperimeter des erwähnten Dorfteiles 3-D-Sturzmodellierungen mit dem Modell Zinggeler/Geotest auf einem hoch auflösenden digitalen Geländemodell durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden im Gelände die einzelnen Gefahrengebiete (Prozessquellen) aufgenommen und insgesamt sieben Wirkungsräume ausgeschieden. Die Bestimmung der für die einzelnen Wiederkehrperioden relevanten Sturzkörpergrössen bzw. Blockformen erfolgte aufgrund von Strukturaufnahmen in den Prozessquellen bzw. des erwähnten Ereigniskatasters. Folgende Grössen wurden ausgeschieden:

Tab. 1 Sturzkörpergrössen für die einzelnen Wiederkehrperioden eines Ereignisses

Tab. 1 Sizes of blocks for the different return periods of an event

Wiederkehrperiode	Blockgrösse in den Wirkungsräumen Süd*	Blockgrösse in den Wirkungsräumen Nord*
30-jährlich	0.24 m ³	0.13 m ³
100-jährlich	2.18 m ³	2.18 m ³
300-jährlich	2.18 m ³	2.18 m ³

* Lage vgl. Figur 7

Auch die weiteren für den Sturzprozess bzw. für die Modellierung relevanten Parameter wurden im Rahmen einer detaillierten Aufnahme im Gelände bestimmt: Es sind dies die Dämpfung und die Rauigkeit des Untergrundes im Transitbereich sowie der Wald (Baumdichte, Zustand etc.).

Die Modellierungen dienten den folgenden Zwecken:

- Flächenhafte Erfassung der möglichen Reichweiten der Sturzblöcke;
- Flächenhafte Darstellung der möglichen Sprunghöhen und Sturzenergien;
- Grundlage für die Projektierung und Dimensionierung von Schutzmassnahmen.

Aus den 3-D-Sturzmodellierungen resultierten einerseits die Reichweiten der Blöcke, andererseits die maximalen Sturzenergien bzw. Sprunghöhen innerhalb des gesamten Transitgebietes. Die entsprechenden Pixelkarten wurden anschliessend je nach den Bedürfnissen klassiert, z. B. für die Erstellung der Gefahrenkarte oder für die Lokalisierung und die Dimensionierung der Schutznetze.

Die Gefahrengebiete wurden auf der Grundlage der Modellierung gemäss Vorgaben der Behörden (BPR, BWW, BUWAL, 1997) festgelegt: Für Sturzenergien von über 300 kJ gilt generell die Stufe Rot (= erhebliche Gefährdung). Bei Sturzenergien zwischen 30 und 300 kJ wird für 100- bzw. 300-jährliche Ereignisse die Stufe Blau ausgeschieden (= mittlere Gefährdung).

ERGEBNISSE DER STURZMODELLIERUNGEN

Allgemeines

Mit den Sturzmodellierungen konnte einerseits die Ausdehnung der oben erwähnten Wirkungsräume bestimmt werden (Reichweiten der Blöcke). Andererseits ermöglichten die Resultate auch Angaben über die für die Gefahrenkarte relevanten Sturzenergien. Letztere sind in die Gefahrenkarte der Gemeinde Adelboden eingeflossen, welche heute Rechtskraft besitzt. Die Ergebnisse der Modellierungen zeigten dabei, dass grössere Bereiche des besiedelten Raumes durch hohe Sturzenergien von über 300 kJ tangiert werden können.

Insgesamt befinden sich 60 dauerbelegte Häuser und 19 Ferienhäuser innerhalb einer roten oder blauen Gefahrenzone, d. h. sie liegen in Gebieten mit einem Bauverbot (Rot) oder mit strengen baulichen Bauauflagen (Gebotsbereich, Blau). Dazu gehören auch öffentliche Gebäude, Gewerbegebäude

und Hotels mit einer relativ grossen Belegungszahl. Innerhalb der Wirkungsräume der Sturzprozesse gibt es zudem auch Verbindungsstrassen der Gemeinde sowie Bauzonen.

Beispiel Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“

In den nachfolgenden Abbildungen wird als exemplarisches Beispiel der Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“ dargestellt, der innerhalb des Wirkungsraumes II in südlichem Abschnitt liegt (vgl. Tabelle 2 und Figur 7).

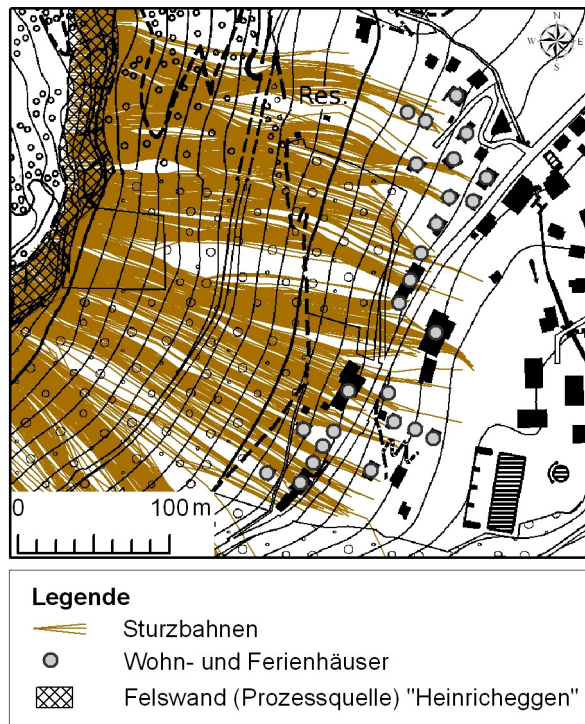


Fig. 2 Sturzbahnen eines 100- und 300-jährlichen Ereignisses im Teilwirkungsraum „Heinricheggen“

Fig. 2 Fall orbits of a 100- and 300-year event in the impact area „Heinricheggen“

Auch die Resultate der Sprunghöhen der Blöcke wurden in Klassen gezeichnet. Die Figur 4 zeigt, dass die Sprunghöhen im besiedelten Gebiet weniger als 3 m betragen bzw. die Blöcke in der Ausrollphase sind.

Die Figur 2 zeigt den Sturzbahnverlauf der 100- bzw. 300-jährlichen Ereignisse mit den entsprechenden Reichweiten der einzelnen Blöcke. Die Blöcke gelangen durch den Wald bis zu einer grösseren Anzahl von bewohnten Häusern und überqueren teilweise auch die Gemeindestrasse.

In den Figuren 3 und 4 sind die Ergebnisse der maximalen Sturzenergien bzw. der maximalen Sprunghöhen für den Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“ dargestellt. Die Sturzenergien wurden in einigen wenigen, ausgewählten Klassen aufgeführt. Zudem wurde auch die Lage der vorgeschlagenen Schutznetze eingetragen (vgl. auch Figur 6). Aus Figur 3 ist erkennbar, dass die bewohnten Häuser zwar tendenziell im Auslaufbereich der Sturzblöcke liegen, dass die Energien jedoch auch im besiedelten Gebiet lokal noch immer über 1000 kJ betragen.

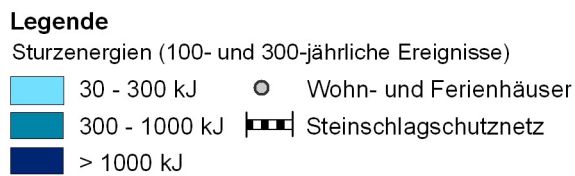
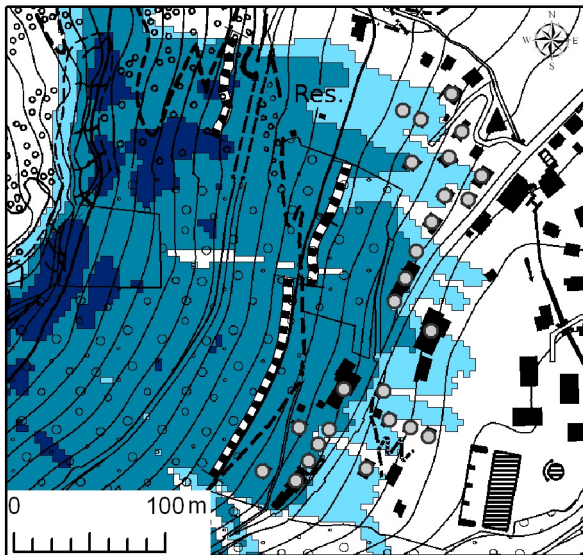


Fig. 3 Maximale Sturzenergien gemäss 3-D-Modellierung für ein 100- und 300-jährliches Ereignis (Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“)
Fig. 3 Maximum fall energies under 3D simulation for a 100- and 300-year event (impact area “Heinricheggen”)

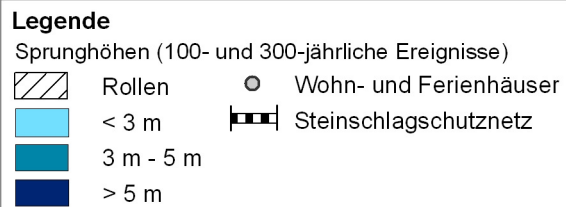
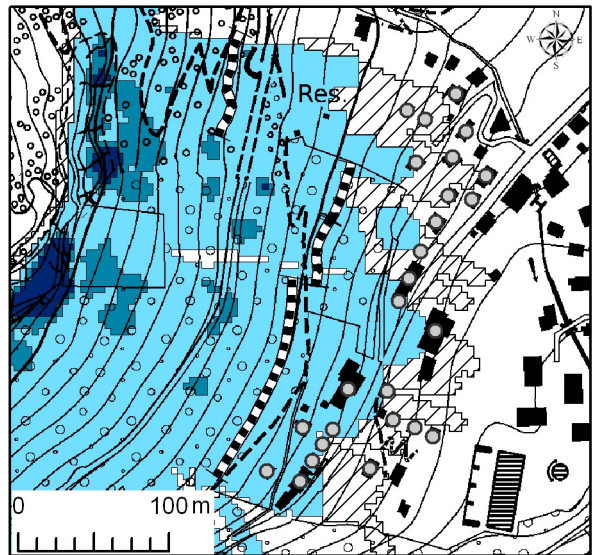


Fig. 4 Maximale Sprunghöhen gemäss 3-D-Modellierung für ein 100- und 300-jährliches Ereignis (Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“)
Fig. 4 Maximum jump heights under 3D simulation for a 100- and 300-year event (impact area “Heinricheggen”)

RISIKOBETRACHTUNGEN

Methodisches zum Todesfallrisiko

Aus den Ergebnissen der Sturzmodellierungen wurden flächenhafte Karten für die zwei relevanten Intensitäten erstellt (30 bis 300 kJ bzw. > 300 kJ). Diese Karten dienen als Grundlage für die Risikobetrachtungen. Die Berechnungen der Todesfallrisiken erfolgten mit den effektiven, durch die Gemeinde Adelboden gelieferten Besetzungszahlen der einzelnen Häuser. Als Berechnungsgrundlage stand ein im Auftrag der Bundesbehörden entwickeltes Tool zur Verfügung (EconoMe; Bundesamt für Umwelt, BAFU). Die Risiken werden einerseits als individuelle Todesfallrisiken, andererseits als Kollektivrisiken (kollektive Personenschäden und Sachwerte) ermittelt.

Bei der Beurteilung der Schutzdefizite ist das individuelle Todesfallrisiko massgebend, d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person im Gefahrengebiet durch einen Sturzblock umkommt. Ist dieses – unfreiwillig – eingegangene Risiko > als 10^{-5} pro Jahr, sind gemäss Vorgaben von Bund und Kanton Bern Schutzmassnahmen notwendig. Bei einem individuellen Todesfallrisiko von $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr sind solche Massnahmen wünschbar.

Das Kollektivrisiko ergibt sich aus der Summe aller Einzelrisiken pro Eintretenshäufigkeit eines Ereignisses. Dieses wurde für die einzelnen Wirkungsräume der Sturzprozesse ermittelt. Das Kollektivrisiko wird grundsätzlich einerseits als Personenschaden angegeben (Todesfälle/Jahr), andererseits als Gesamtrisiko in CHF/pro Jahr (Sachwerte und monetarisierte Personenwerte zusammengezählt). Die Berechnungen stellen zudem die Grundlagen dar, welche für die Beurteilung der Kostenwirksamkeit einer Massnahme innerhalb eines der sieben Wirkungsräume notwendig ist.

Methodisches zum Nutzen-Kosten-Verhältnis

Um Subventionen von Bund und Kanton zu erhalten, müssen die Schutzmassnahmen möglichst kostenwirksam sein, d. h. das Nutzen-Kosten-Verhältnis muss bei 1 oder darüber liegen. Dieser Faktor errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen einer monetarisierten Risikoreduktion des kollektiven Risikos und den jährlichen Kosten einer Schutzmassnahme innerhalb eines einzelnen Wirkungsräumens. Die jährlichen Kosten werden aus den Investitionskosten unter Einbezug von Unterhalt und Werklebensdauer errechnet. Die Berechnungen wurden ebenfalls mit dem vom Bund erstellten Tool EconoMe gemacht.

Ergebnisse

Die Berechnungen ergaben, dass bei 30 Gebäuden das individuelle Todesfallrisiko überschritten ist und dort somit Schutzmassnahmen notwendig sind; bei 19 Gebäuden sind solche wünschbar. Gemäss den Vorgaben der Behörden hat der Schutz von Menschen erste Priorität. Somit besteht im oberen Dorfteil von Adelboden ein ausgewiesenes Personenschutzdefizit.

Bei der Betrachtung der Gesamtrisiken zeigten die Berechnungen zudem, dass der Anteil an Personenschäden mit rund 70 % gegenüber 30 % Sachschäden relativ hoch ist.

Bei der Errechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses stellte sich heraus, dass in einzelnen Wirkungsräumen die Schutzmassnahmen einen Faktor von deutlich unter 1 aufweisen (Tabelle 2).

PLANUNG DER SCHUTZMASSNAHMEN

Randbedingungen

Die flächenhaft durchgeführten 3-D-Modellierungen ermöglichten eine präzise Bestimmung der Schutzmassnahmen im Gelände bzw. ein differenziertes Studium von einzelnen Varianten. Infolge des relativ steilen Geländes von meist deutlich über 30° kommt als Schutzmassnahme, wie vergleichende Abklärungen ergaben, einzig der Bau von Steinschlagschutznetzen in Frage.

Bei der Planung der Schutznetze mussten folgende Randbedingungen „unter einen Hut“ gebracht werden:

- Berücksichtigung maximaler Sturzenergien und Sprunghöhen gemäss Modellierung;
- Positionierung der Netze im Gelände mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Kosten (z. B. Zufahrt, Unterhalt, Wald etc.);
- Einigung mit privaten Landbesitzern bezüglich der Lage der Netze im Gelände und der bestehenden Nutzungen (Weidland, Waldbewirtschaftung etc.);
- Berücksichtigung der Anliegen des Landschafts- und Naturschutzes.

Ausmass der Schutznetze

Der bereinigte tragfähige Kompromissvorschlag zum Schutz des Dorfteiles von Adelboden beinhaltet nun in sechs Wirkungsräumen den Bau von total 1045 m Steinschlagschutznetze (Situation vgl. Figur 5). Die Energiewerte der Schutznetze liegen zwischen 500 und 1500 kJ, die entsprechenden Netzhöhen betragen 3 und 4 m (vgl. Tabelle 2). In einem der Wirkungsräume zeigte sich, dass eine Felsabdeckung mit einem Netz kostenwirksamer und besser realisierbar ist als ein Schutznetz.

Tab. 2 Zusammenstellung der Kennwerte der Schutznetze in den sieben Wirkungsräumen
Tab. 2 Compilation of the characteristics of the protective measures in the seven impact areas

Wirkungsraum	Länge total [m]	Höhe [m]	Energie [kJ]	Geschätzte Kosten [Mio. CHF]	Nutzen-Kosten-Verhältnis	
Süd	I	80	4	1000	0.24	0.7
	II*	575	3/4	500/1000/1500	1.71	1.0
Nord	III	118	3	500	0.34	0.8
	IV	70	4	1000	0.22	0.2
	V	90	4	1500	0.32	0.6
	VI	112	3/4	500/1000	0.37	0.2
	VII	Felsabdeckung			0.08	0.7
Total	1045			3.3	0.8	

* Die Felswand "Heinrichheggen" liegt innerhalb des Wirkungsraumes II

Die Gesamtkosten wurden auf Grund von konkreten Richtofferten auf rund CHF 3.3 Mio. beziffert. Da bei einzelnen Wirkungsräumen das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Schutzmassnahme deutlich unter 1 liegt, haben der Bund und der Kanton Bern ihre Finanzierungsunterstützung (Subvention) leicht gekürzt. Dies löst für die Gemeinde Adelboden höhere Kosten aus.

ZUVERLÄSSIGKEIT UND WIRKUNG DER SCHUTZMASSNAHMEN

Bei subventionierten Schutzmassnahmen verlangen die Bundesbehörden heute, dass die Zuverlässigkeit der Schutzmassnahmen beurteilt werden muss. Gemäss der Methode „PROTECT“ der PLANAT (2008) sind diesbezüglich die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit sowie die Wirkung solcher Schutzmassnahmen zu überprüfen.

Die oben erwähnten Vorgaben bezüglich Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit können erfüllt werden, wenn die entsprechenden Richtlinien des Bundes bezüglich Materialwahl und Verankerungen der Netze eingehalten werden. Die Gebrauchstauglichkeit sowie die Wirkung der Schutznetze kann bei einem Extremereignis (Wiederkehrperiode > 300 Jahre) jedoch eingeschränkt sein, wenn mehrere Grossblöcke hintereinander im Netz einschlagen oder auch eine grössere Felspartie von > 100 m³ zum Absturz kommt. Ein solches Extremereignis stellt einen Überlastfall dar, d.h. es kann ein funktionelles Versagen eines Schutznetzes infolge geringer dimensionierter Werkhöhe oder Energieaufnahme bedeuten. Da solche Ereignisse nur mit einem ausserordentlich hohen Aufwand zurückgehalten werden können, soll im Sinne einer Früherkennung von potenziellen Gefahrenherden eine messtechnische Felsüberwachung erfolgen. Die Felsüberwachung wird zurzeit mit gegen 20 Handmessstellen und Messiegel an verschiedenen potenziellen „Hot Spots“ durchgeführt. Zusätzlich werden die Bewegungen einer geologisch komplex aufgebauten, teils versackten Felspartie von rund 10'000 m³, dem so genannten Taubenfels direkt über dem Dorf Adelboden (Abbildung 7), aus Distanz mittels Laser periodisch erfasst.

REALISIERUNG DER SCHUTZMASSNAHMEN

Die Schutzmassnahmen wurden im Herbst 2010 in einer Volksabstimmung von der Gemeinde Adelboden mit grossem Mehr bewilligt, nicht zuletzt auch, weil ein tragfähiger Kompromiss erzielt worden war. Mit dem Bau der Netze soll auf Grund der entsprechenden Zustimmungen der Bundes- und Kantonsbehörden im Frühjahr 2012 begonnen werden.

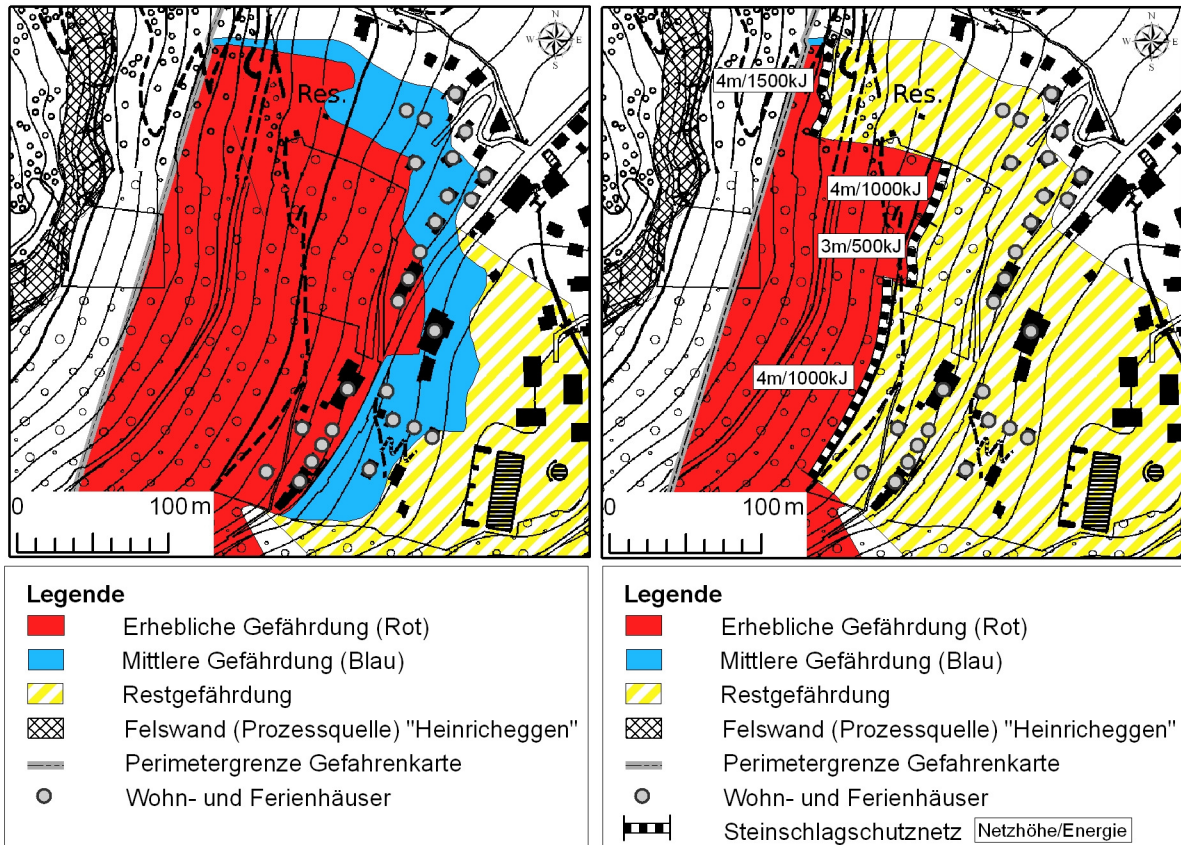


Fig. 5 Gefahrenkarte Sturzprozesse im Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“ (Stand heute)

Fig. 6 Gefahrenkarte Sturzprozesse im Wirkungsraum unterhalb der Felswand „Heinricheggen“ nach Realisierung der Steinschlagschutznetze

Nach der Realisierung der Massnahmen können die roten und blauen Gefahrenbereiche im Schutz der Netze in einen Bereich mit so genannter Restgefährdung umgewandelt werden. Die Figuren 5 und 6 zeigen wiederum das Beispiel des Wirkungsraumes unterhalb der Felswand „Heinricheggen“ mit der Gefahrenkarte vor und nach den Schutzmassnahmen. Auf der Figur 7 ist das entsprechende Bild nach Realisierung der Massnahmen für den ganzen Untersuchungsbereich des oberen Dorfteils von Adelboden dargestellt. Eine Restgefährdung bedeutet, dass eine Gefährdung durch Sturzprozesse hier nicht ganz ausgeschlossen werden kann, womit ein Restrisiko verbleibt. Diese Restgefährdung kann z. B. bei grossvolumigen Sturzereignissen bestehen oder wenn mehrere Grossblöcke kurz hintereinander auf ein Netz treffen. Dieses Risiko wird durch die oben erwähnte Felsüberwachung abgedeckt. Zudem soll der für Adelboden sehr wichtige Schutzwald weiterhin gepflegt werden, damit die Schutzfunktion gegen Steinschlag und andere Naturgefahren erhalten bleibt.

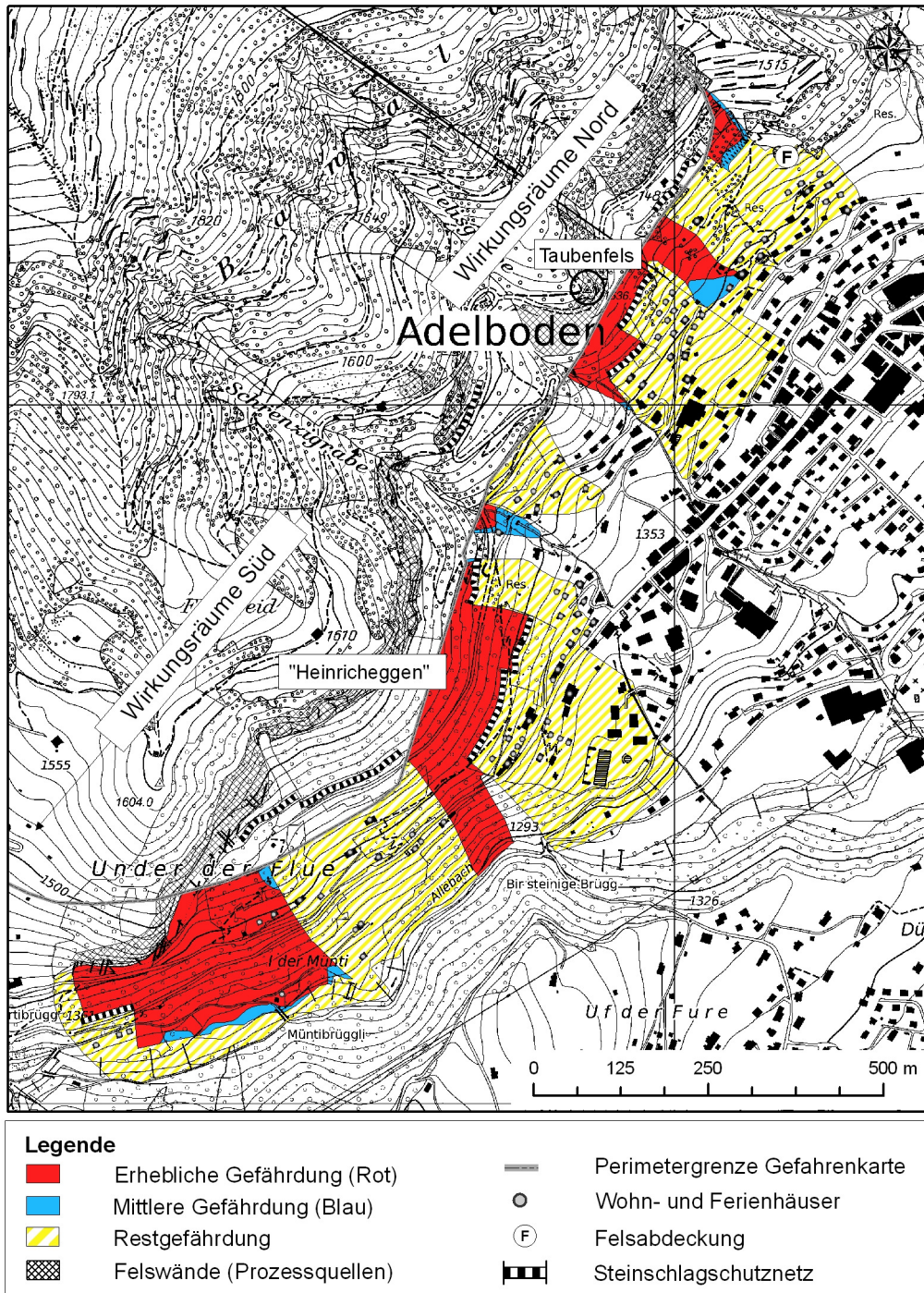


Fig. 7 Gefahrenkarte Sturzprozesse des oberen Dorfteils von Adelboden nach Realisierung der Schutzmassnahmen (Schutznetze und Felsabdeckung)

Fig. 7 Rock fall hazard map of the upper part of the village of Adelboden after implementation of the protective measures (rock fall protection nets and rock cover)

LITERATUR

BPR, BWW, BUWAL (1997). Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen.

Kellerhals+Haefeli AG/Geotest AG/Kissling+Zbinden AG (2004). Naturgefahren Gemeinde Adelboden. Unveröffentlichter Bericht mit Gefahrenkarte, April 2004.

- Kellerhals+Haefeli AG (2010). Steinschlagschutz Adelboden: Vorprojekt. Unveröffentlichter Bericht, Oktober 2010.
- Furrer H., Huber K., Adrian H., Baud A., Flück W., Preiswerk P., Schuler P., Zwahlen P. (1993). Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000. Blatt Nr. 87 Adelboden. Herausgeber: Landeshydrologie und -geologie.
- PLANAT (2008). Strategie Naturgefahren Schweiz. Wirkung von Schutzmassnahmen („PROTECT“). Testversion Dezember 2008.

GESTION DU CHARRIAGE SUR LE TORRENT DE MILIBACH POUR LA PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

OPTIMISATION SUR MODÈLE PHYSIQUE

MANAGEMENT OF THE BEDLOAD TRANSPORT OF THE MILIBACH TORRENT FOR FLOOD PROTECTION PURPOSE

A PHYSICALLY-BASED MODEL STUDY

Fadi Hachem¹, Beatrice Herzog², Jean-Louis Boillat³ and Anton Schleiss⁴

RESUME

Le torrent du Milibach présente une capacité hydraulique insuffisante conduisant à des débordements fréquents dans le village de Meiringen notamment. Ce manque de capacité est dû essentiellement à l'accumulation de sédiments dans le lit du cours d'eau pendant les crues. Une solution pour retenir une partie des sédiments charriés et ainsi réduire le flux solide à l'amont de la région à risque a été proposée. Elle consiste en un réaménagement du cours d'eau et en la création de terrasses de déposition sédimentaire sur la rive gauche adjacente. Un modèle physique a été réalisé pour optimiser le projet expérimentalement. Les améliorations ont essentiellement porté sur l'intégration de seuils dans le cours d'eau et de digues transversales sur les terrasses d'alluvionnement.

Mots-clés: Risque d'inondation, charriage, terrasse d'alluvionnement, modèle physique.

ABSTRACT

The Milibach torrent has a limited hydraulic capacity leading to frequent flooding, particularly in the village of Meiringen. The deficit of the river flow capacity is essentially caused by the decrease of the cross-sectional area due to local sediment deposition in the river bed. A protection concept has been proposed aiming to retain a proportion of the river bed load and thus reduce the sediment transport towards the downstream part of the river. The solution consists in adjusting the river channel and creating sediment deposition terraces on its left hand side. The optimization of the project has been done by physical modeling where several configurations were built by adding weirs across the river bed and transversal dikes on the deposition terraces.

Keywords: Flood risk, bed load, sediment deposition terraces, physical model.

INTRODUCTION

Le cours d'eau du Milibach, affluent de l'Aar, prend sa source dans la région de Gummen qui fait partie du bassin versant situé entre Oberhasli et le Canton d'Obwald en Suisse. La vallée de Gummen est couverte d'une couche de débris schisteux relativement importante, qui alimente en sédiments le Milibach pendant les épisodes de forte pluie. Avant de se jeter dans l'Aar, le Milibach traverse les communes de Hasliberg Reuti et de Meiringen. Sa capacité de transport solide diminue sensiblement à Meiringen (moins de 75% de capacité par rapport au tronçon entre Hasliberg Reuti et Meiringen) sous l'effet d'une réduction de sa pente longitudinale. Les sédiments charriés ont alors tendance à se

¹ Dr. Ing. Project Manager, Stucky SA, Renens, Suisse (email: fhachem@stucky.ch)

² Directrice de Herzog Ingenieure AG, Dorfstr. 10, 3073 Gümligen, Suisse (email: herzog@herzog-ingenieure.ch)

³ Dr. Ing. Chemin de la Brotte 4, 1163 Etoy, Suisse

⁴ Prof. Directeur du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

déposer sur ce tronçon, conduisant à des débordements pendant les fortes crues. Ce phénomène a été observé durant l'événement d'août 2005, au cours duquel une grande superficie de l'agglomération de Meiringen a été inondée par le débordement du Milibach. La Figure 1 présente la situation générale de la région du projet et indique les débordements de crue observés en 2005 à Meiringen et à Reuti. La Figure 2 montre l'état d'un tronçon du Milibach à Reuti après le passage de la crue de 2005.

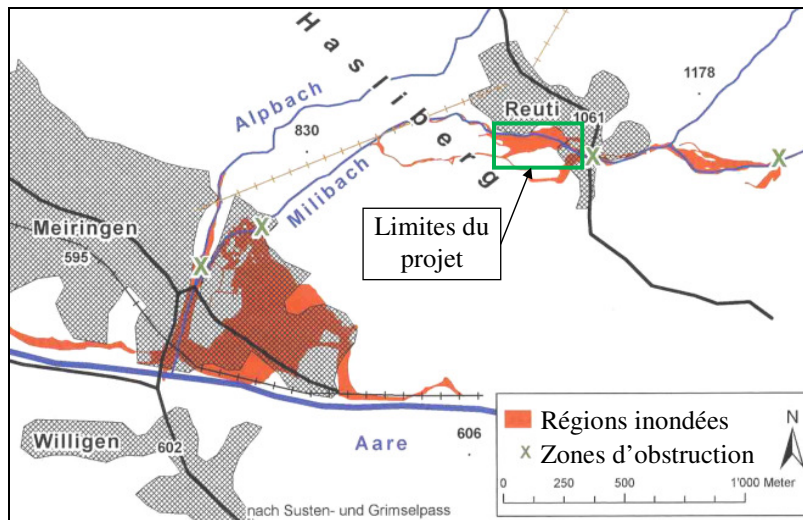


Fig. 1 Plan de situation montrant les limites du projet et les zones inondées lors de la crue de 2005

Fig. 1 Situation map showing the project location and the flooded zones during the 2005 flood event



Fig. 2 Tronçon du Milibach à Reuti après la crue de 2005

Fig. 2 Milibach reach at Reuti after the 2005 flood

Dans le but de résoudre le problème d'alluvionnement et de débordement du Milibach à Meiringen, le bureau d'études "Herzog Ingenieure SA" a proposé une solution d'aménagement du cours d'eau en amont des localités. Elle consiste à créer une zone d'alluvionnement sédimentaire à Reuti pour stocker un certain volume de sédiments durant les crues et ainsi réduire le transport solide à l'aval de cette zone. La charge solide résiduelle peut ensuite traverser Meiringen sans former de dépôts dans le cours d'eau, la capacité hydraulique de ce dernier étant alors suffisante pour faire transiter la crue centennale de dimensionnement. Il faut noter que toutes les crues historiques antécédentes et particulièrement celle de 2005, ont montrées que le transport sédimentaire est résolument associé à un processus de charriage, même si la remobilisation locale de dépôt alluvionnaire peut faire penser à un mécanisme de laves torrentielles.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une problématique nouvelle, la gestion sédimentaire des cours d'eau est aujourd'hui d'une grande actualité. La cause de cette préoccupation est liée à de nombreux facteurs, parmi lesquels les effets anthropiques et les changements climatiques occupent une place importante. De nombreux projets de bassins de rétention sédimentaire dans le cours d'eau même ont ainsi été projetés durant les dernières années (Meile et al., 2004; Boillat et al., 2009; Müller et al., 2010). Une nouvelle tendance, consistant à dériver les sédiments excédentaires en dehors du cours d'eau, tend actuellement à se renforcer (Studer et al., 2010; Ghilardi et al. 2012). Les conditions locales propres à chaque situation ne permettent cependant pas de généraliser les solutions trouvées. Il en est ainsi pour le présent projet, à caractère novateur et dont la situation locale particulière impose l'épandage de sédiments dans la zone riveraine du cours d'eau. Dans ces conditions, il a été décidé d'optimiser le système par des essais sur modèle physique.

Cet article décrit le projet d'aménagement, présente l'étude expérimentale faite au Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), et illustre les étapes de réalisation de la solution finale optimisée.

DESCRIPTION DU PROJET

Le projet consiste à aménager trois zones d'épandage en rive gauche du cours d'eau, sur une longueur de 350 m environ. La construction d'un nouveau pont routier entre les terrasses 1 et 2, ainsi que l'adaptation du tracé, du profil en long (réduction de la pente du lit de 13% à 5%) et de la section

transversale du cours d'eau existant font également partie du projet proposé par le Bureau d'ingénieurs (Figs. 3, 4 et 5). La réduction de la pente longitudinale est obtenue par l'implantation de deux rampes en blocs à l'extrémité aval des terrasses 2 et 3.

Les hydrogrammes de dimensionnement du projet sont présentés sur la Figure 6. Les deux évènements centennaux (HQ100, averse et longue durée) sont utilisés pour optimiser le projet, avec l'objectif que le volume solide transitant à l'aval ne dépasse pas 25% du volume entrant. Une fois la solution finale optimisée, une crue extrême (EHQ) est simulée pour évaluer le risque résiduel. Une crue à deux pics consécutifs de période de retour de 30 ans est également examinée pour tester la robustesse du système en cas de crues successives. Un intervalle de 12 heures avec un débit de base conséquent de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (crue annuelle) est considéré pour séparer les deux crues de la Fig. 6d. Un débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondant à une période de retour de 7 ans, a été choisi pour définir le débit seuil de débordement du cours d'eau en rive gauche.

Les débits sédimentaires à l'entrée de la zone de projet ont été estimés par la formule VAW 1983 (Smart et Jäggi, 1983), qui permet de calculer la capacité de transport solide du bief du cours d'eau à Milchhäuslibrücke juste en amont de Reuti. Dans cette estimation, la section du cours d'eau est considérée comme rectangulaire de largeur égale à 4 m, la pente longitudinale est uniforme et égale à 10% et la rugosité de surface correspond à un coefficient de Strickler $K=25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Une série d'analyses granulométriques du mélange sédimentaire déposé après l'évènement de crue de 2005 montre que le diamètre moyen des grains, d_m , est de 11 cm environ. Ce résultat est confirmé par les levés en ligne effectués sur le site (Fehr, 1987). Sur la base de ces investigations, les diamètres caractéristiques des sédiments transportés par le Milibach s'établissent comme suit: $d_{90} = 30 \text{ cm}$, $d_m = 11 \text{ cm}$ et $d_{30} = 1 \text{ cm}$.

Les solidogrammes calculés, correspondant à chacun des hydrogrammes considérés, sont représentés sur la Figure 6.

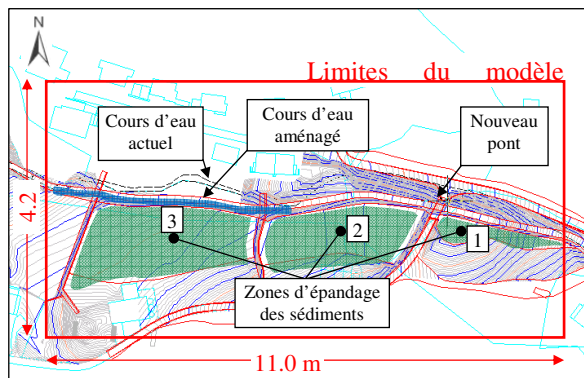


Fig. 3 Vue en plan topographique et limites du modèle physique à l'échelle 1/30

Fig. 3 Topographic plan view and limits of the physical 1/30 scaled model

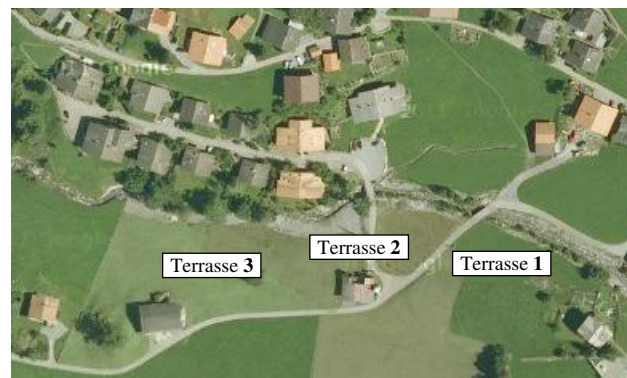


Fig. 4 Emplacement des terrasses 1, 2 et 3 en situation non aménagée

Fig. 4 Location of terraces 1, 2 and 3 before the implementation of the project

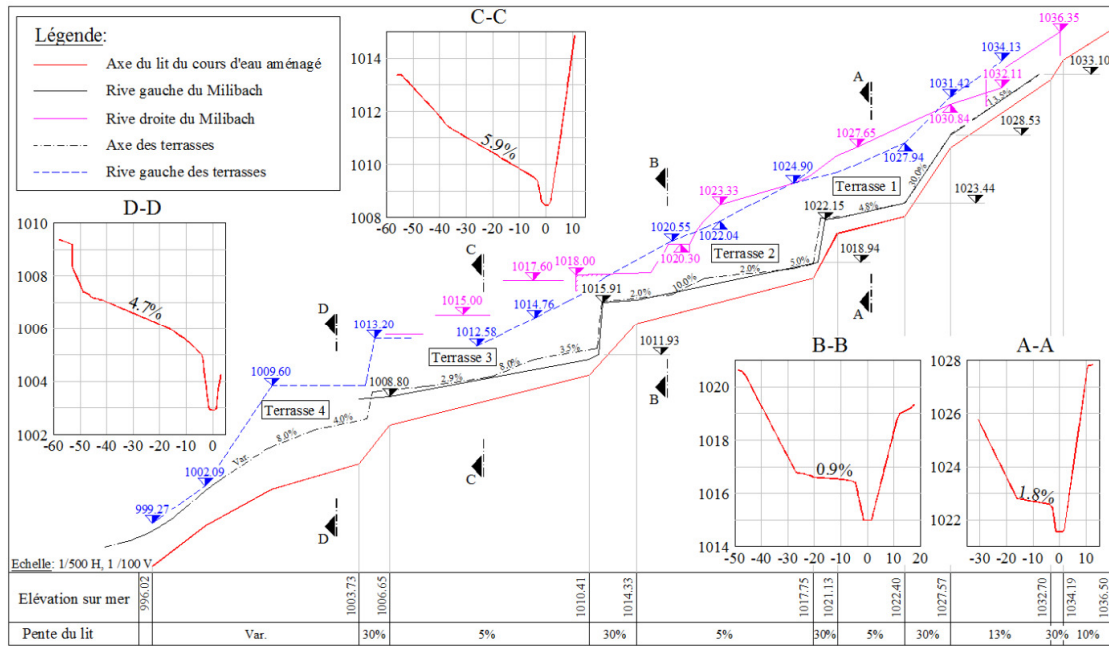


Fig. 5 Profil en long et sections transversales caractéristiques du projet initial
Fig. 5 Longitudinal profile and typical cross-sections of the original project

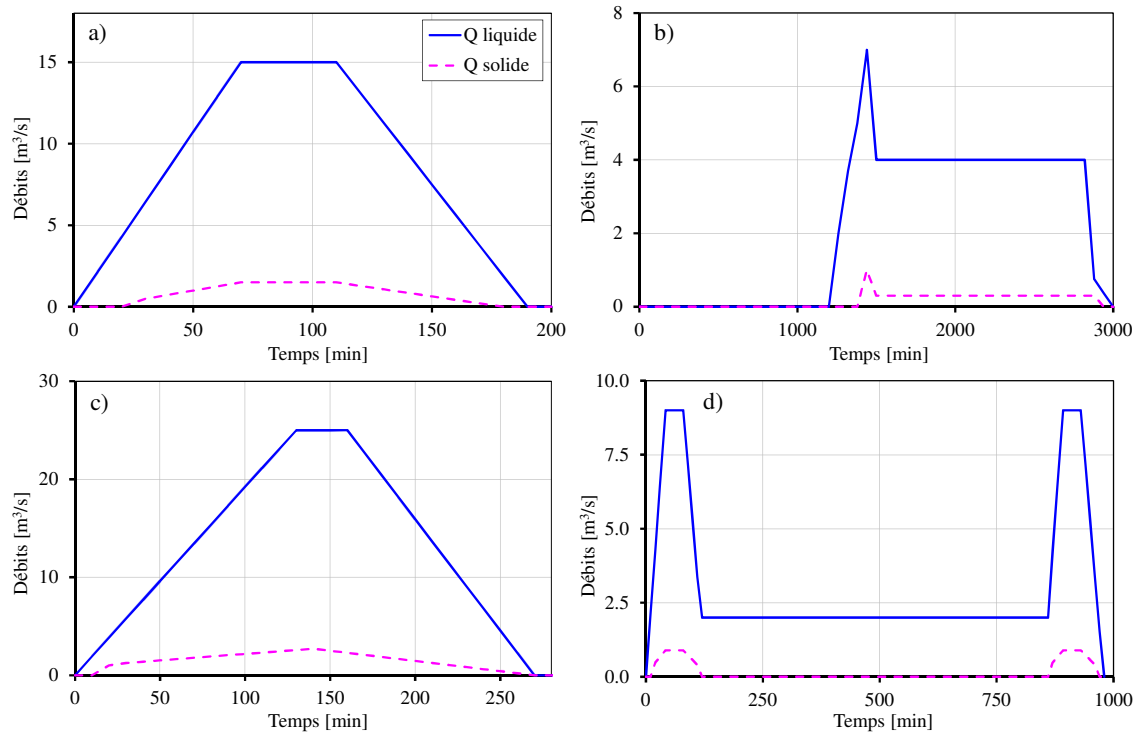


Fig. 6 Hydrogrammes et solidogrammes utilisés pour l'optimisation et la vérification du projet: a) HQ100, ($Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, averse); b) HQ100, ($Q_{constant}=7 \text{ m}^3/\text{s}$, longue durée); c) EHQ ($Q_{max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$); d) deux crues moyennes consécutives, ($Q_{max}=9 \text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 6 Water and sediment hydrographs used to optimize and verify the project: a) HQ100, ($Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, storm); b) HQ100, ($Q_{constant}=7 \text{ m}^3/\text{s}$, long duration); c) EHQ ($Q_{max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$); d) two consecutive medium floods, ($Q_{max}=9 \text{ m}^3/\text{s}$)

MODELISATION PHYSIQUE

Le modèle a été construit à l'échelle 1/30 dans les limites indiquées sur la Figure 3. La topographie a été façonnée à l'aide de sable déposé entre des profils en travers en PVC. Ce support a été couvert

d'une mince couche de mortier de ciment pour reproduire la topographie du cours d'eau et des zones d'épandage (Fig. 7).

Le modèle a été exploité en similitude de Froude selon les transformations données au Tableau 1. Le débit amont était assuré par pompage et mesuré à l'aide d'un déversoir triangulaire à la sortie d'un bassin amont équipé d'un limnimètre. Les sédiments étaient injectés manuellement dans le tronçon à forte pente du cours d'eau situé à l'entrée du modèle.

Le mélange sédimentaire a été préparé à partir de plusieurs classes de sédiments dans le but de reproduire la courbe cible correspondant à la distribution granulométrique du lit du cours d'eau. La Figure 8 montre la courbe granulométrique cible à l'échelle du modèle et celle du mélange utilisé.

A la fin de chaque essai, un bilan volumétrique sédimentaire était établi. Ce bilan inclut le volume retenu dans le cours d'eau et les zones d'alluvionnement. L'efficacité de chaque configuration testée a été évaluée sur la base du rapport des volumes de sédiments stockés et injectés dans le modèle ainsi que sur le respect de l'objectif opérationnel de l'aménagement (moins de 25% du volume solide transitant vers l'aval). Après chaque essai, des profils transversaux sur les sédiments déposés ont été levés en plusieurs sections réparties sur l'ensemble du modèle. L'évolution des dépôts dans le cours d'eau au passage du pont routier traversant le Milibach a été suivie en permanence afin d'évaluer le risque d'obturation par les sédiments. Des photos zénithales ont également été prises à intervalle de temps régulier pour suivre le développement du processus dynamique de déposition de sédiments dans les différentes zones d'épandage.

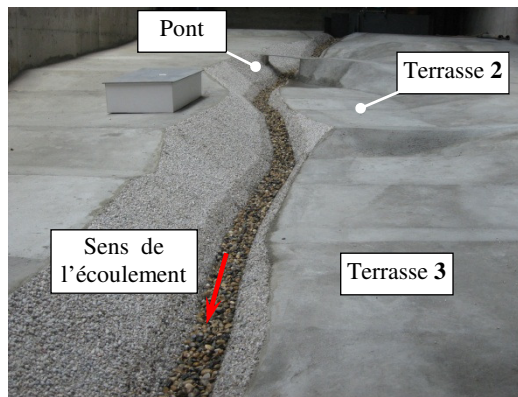


Fig. 7 Photo du modèle physique, construit conformément au projet du Bureau d'ingénieurs
Fig. 7 Photo of the physical model built according to the Consultant Engineer's project

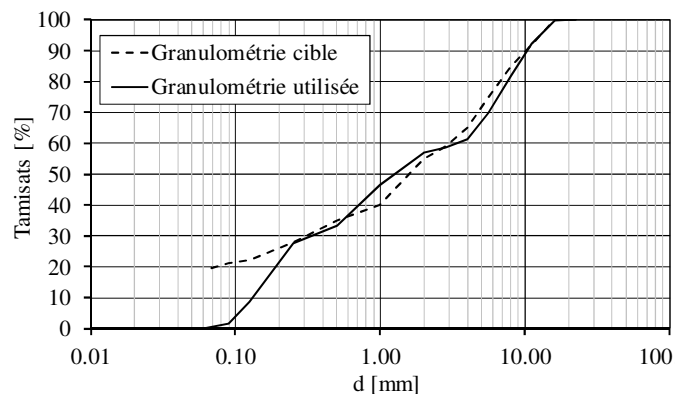


Fig. 8 Courbe granulométrique cible des sédiments à l'échelle du modèle et celle du mélange utilisé dans les essais
Fig. 8 Grain size curves of prototype sediments adapted to the model scale and sediment mixture used for the tests

Tab. 1 Facteurs d'échelle des principaux paramètres du modèle physique

Tab. 1 Scale factors of the main parameters of the physical model

Paramètre physique	Rapport d'échelle	Facteur d'échelle
Longueur [m] / Pression [m de colonne d'eau]	$L_p/L_m = P_p/P_m = \lambda$	30
Vitesse [ms^{-1}] / Temps [s]	$V_p/V_m = t_p/t_m = \lambda^{1/2}$	5.48
Débit [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]	$Q_p/Q_m = \lambda^{5/2}$	4930

L représente les longueurs, *P* les pressions en mètre de colonne d'eau, *V* les vitesses de l'écoulement, *t* le temps, *Q* les débits et λ le facteur d'échelle. Les indices *p* et *m* correspondent aux mesures effectuées sur prototype et modèles, respectivement.

L represents the lengths, *P* the pressures in meter of water column, *V* the flow velocities, *t* the time, *Q* the discharge and λ the scale factor. The subscripts *p* and *m* correspond to the measurements carried out in the prototype and the model, respectively.

RESULTATS

Après une série d'essais préliminaires à débit constant de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ et un apport sédimentaire de l'ordre de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$, il s'est avéré que la configuration initiale proposée ne favorise pas les dépôts sédimentaires dans les zones prévues. La pente longitudinale du lit du cours d'eau à 5% est trop raide, générant des vitesses d'écoulement et une capacité de charriage trop élevées. Dans ces conditions, l'écoulement reste concentré dans le lit du cours d'eau et les débordements ne se produisent pas

comme souhaité, notamment le long de la troisième terrasse d'alluvionnement. La pente transversale de cette zone de dépôt (égale à 5%) se révèle trop importante. Sur la base de ces premières observations, les modifications suivantes ont été apportées au modèle:

- réduction supplémentaire de la pente du lit du cours d'eau pendant des événements de crue, par l'implantation de quatre seuils avec grilles de 90 cm de hauteur sur prototype (3 cm sur modèle) pour retenir les matériaux charriés ;
- construction de deux épis (petites digues de 1.5 m de hauteur à l'échelle prototype) à la limite aval des terrasses 2 et 3 ; la fonction de ces ouvrages est de guider la restitution de l'eau vers le cours d'eau ;
- aplanissement de la 3^{ème} terrasse en réduisant sa pente transversale de 5% à 1% ; ce réaménagement a été effectué par une rotation de la plate-forme de 4% autour de la ligne de la rive gauche du cours d'eau ;
- ajout d'une rugosité de surface sur le croûtage en ciment du modèle, afin de mieux reproduire la résistance due à la végétation sur les terrasses 2 et 3.

La nouvelle configuration du projet est illustrée par un dessin schématique en 3D (Figure 9) et représentée sur le modèle par la photo de la Figure 10. L'efficacité et la robustesse du nouvel aménagement ont été évaluées par simulation des crues présentées à la Figure 6.

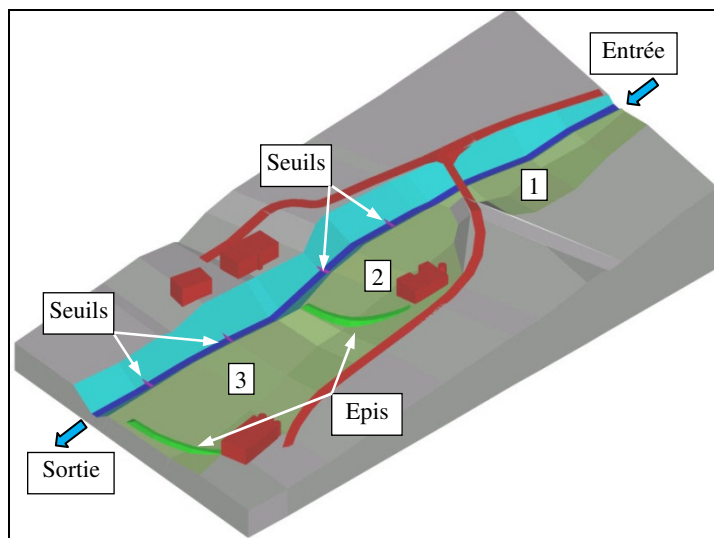


Fig. 9 Schéma 3D du projet incluant les modifications apportées à la suite des essais préliminaires

Fig. 9 Schematic 3D view of the project including the modifications completed after the preliminary tests

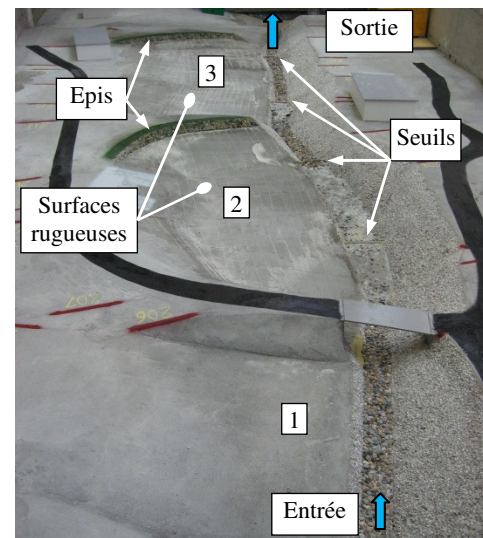


Fig. 10 Le modèle physique modifié après les essais préliminaires

Fig. 10 The physical model as modified after the preliminary tests

Pour la crue centennale de la Fig. 6a (HQ100, $Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, averse), le bilan des volumes de sédiments déposés sur le modèle à la fin de l'essai montre que la nouvelle configuration retient environ 91% du volume sédimentaire provenant de l'amont. Le volume solide déposé sur les zones d'épandage est réparti à raison de 11% sur la terrasse 1, 45% sur la 2 et 44% sur la 3. Grâce aux mesures périodiques effectuées durant l'essai, l'évolution temporelle du débit liquide ainsi que des volumes solides introduits et sortant du modèle a pu être reconstituée (Fig. 11a). Le volume de sédiments sortant (courbe verte de la Fig. 11a), montre un léger dépassement du seuil limite imposé, pendant la période située entre 23 et 26 minutes du début de l'essai. Le maximum de débit solide sortant du modèle a été détecté à la fin du palier maximal de la crue, lorsque des sédiments déposés dans le cours d'eau et dans les dépotoirs ont été remobilisés. Il convient de remarquer que les hydrogrammes et solidogrammes théoriques proposés n'ont pas été fidèlement reproduits durant les premiers essais. Des mesures logistiques ont été prises dans le but de mieux respecter ces données pendant la phase d'optimisation du projet.

Pour la crue centennale de longue durée (Fig. 6b), le bilan des volumes sédimentaires après le passage de la crue montre un taux de rétention de l'ordre de 88%. Un dépôt solide conséquent a été observé dans le bief situé à l'amont du pont. A cet endroit, les sédiments s'accumulaient de l'aval vers l'amont

pour atteindre, après 120 minutes d'essai, la limite amont du modèle. Ces dépôts n'ont toutefois pas mis en danger le pont ni la route en rive gauche. Une revanche minimale de 1.05 m à l'échelle prototype (3.5 cm sur modèle) subsistait à la fin de l'essai. Malgré une interruption à la moitié de la durée de test, le système est resté stable avec des débits solides sortants toujours inférieurs aux débits seuils imposés. Pour une crue similaire à l'échelle prototype, le tronçon du cours d'eau pourra se remplir de 12000 m³ de sédiments. Au-delà, le front supérieur des dépôts se développera vers l'amont, hors des limites du tronçon reproduit sur modèle.

Deux essais de crue extrême (Fig. 6c) ont ensuite été réalisés. Etant donné les importantes quantités de sédiments introduites dans le modèle (entre 0.2 et 0.55 l/s), il s'est révélé difficile de reproduire exactement les solidogrammes de base pendant ces essais. La configuration aménagée selon les Figures 9 et 10 s'est avérée capable de retenir environ 35% à 40% des sédiments injectés dans le système lors de ces crues extrêmes. Un pic de débit sédimentaire sortant de l'ordre de 4.9 m³/s prototype (1 l/s sur modèle) a été observé pendant le passage du débit maximal de crue. Un phénomène de lessivage de sédiments s'est également produit durant la séquence comprise entre 18 et 20 minutes du début des essais. Pendant cette période, les sédiments stockés dans le cours d'eau en phase de montée de crue ont été remobilisés sous l'effet de l'augmentation du débit.

Il convient de remarquer, que le volume de stockage de 6480 m³ (240 l sur modèle) représente la capacité maximale du système aménagé sur le Milibach à Reuti en épisode de crue extrême.

Les résultats obtenus par la simulation de deux crues moyennes consécutives montrent que la deuxième crue génère des dépôts sédimentaires supérieurs à ceux de la première. Le volume de sédiments purgés entre les deux crues était de l'ordre de 5.5 m³ sur prototype (0.2 l sur modèle), ce qui constitue environ 2% du volume sortant du modèle. La Figure 11d montre que le débit de sédiments qui transite est bien inférieur au seuil imposé et que le comportement du système face à une telle crue est très stable.

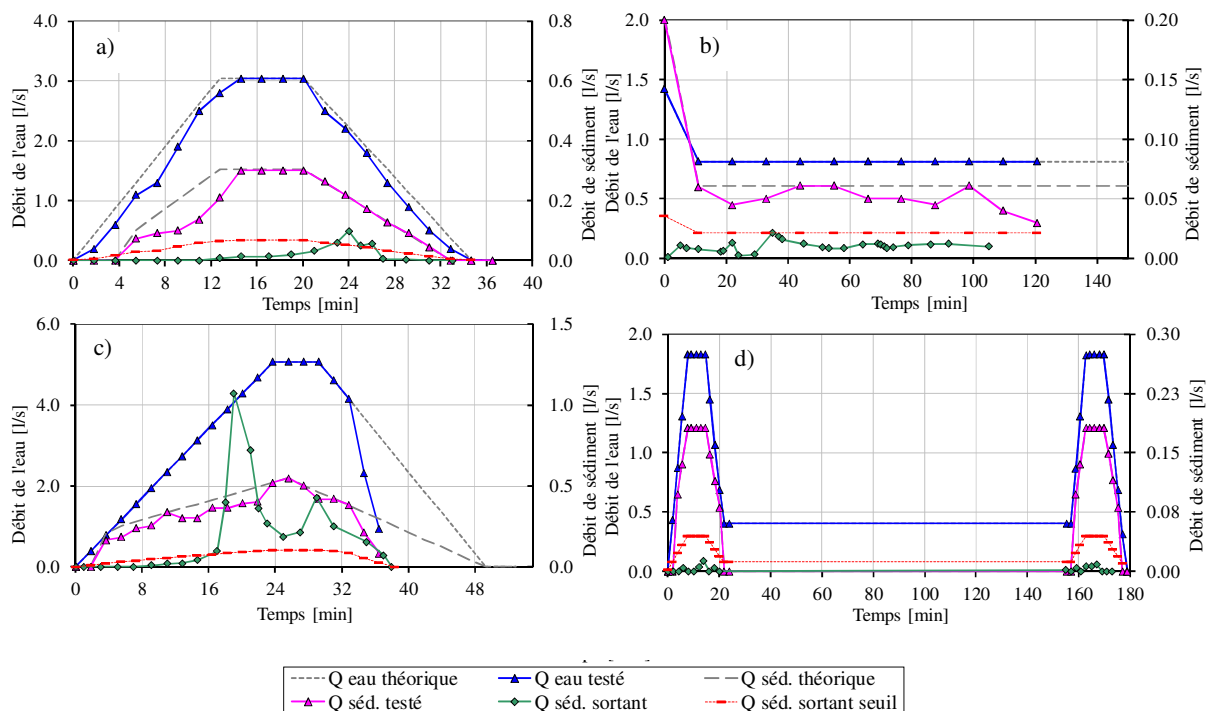


Fig. 11 Evolution temporelle des débits d'eau et de sédiments entrant et sortant du modèle: a) pour la crue HQ100, (Q_{max}=15 m³/s, averse); b) pour HQ100, (Q_{constant}=4 m³/s, longue durée); c) pour EHQ (Q_{max}=25 m³/s); d) pour deux crues moyennes consécutives, (Q_{max}=9 m³/s)

Fig. 11 Time evolution of the water and sediment flows entering and leaving the model: a) for the flood HQ100, (Q_{max}=15 m³/s, storm); b) for HQ100, (Q_{constant}=4 m³/s, long duration); c) for EHQ (Q_{max}=25 m³/s); d) for two consecutive medium floods, (Q_{max}=9 m³/s)

Une première tentative d'optimisation a été réalisée en modifiant la courbure du tracé du cours d'eau au passage des deux dépotoirs situés à l'aval du pont (ajout de deux contre-courbes en rive droite). Cette configuration a été testée avec les crues centennale (averse) et extrême. Les modifications

apportées à la configuration de base dans l'objectif de favoriser l'apport sédimentaire sur les terrasses n'ont pas donné les résultats escomptés. Au contraire, les volumes solides stockés sur le modèle sont restés inférieurs à ceux obtenus précédemment (69% au lieu de 91% pour la crue centennale et 24% au lieu de 40% pour la crue extrême). Il a également été remarqué que la configuration modifiée avait tendance à stocker les sédiments avant le passage du débit maximal de crue, provoquant une remobilisation des dépôts pendant et après le pic de crue. Le changement de courbure du lit favorise l'orientation de l'écoulement vers les zones de dépôt mais aussi la remobilisation des dépôts déjà constitués.

Les changements apportés au modèle durant la première phase d'optimisation ont été supprimés et deux nouvelles modifications ont été introduites. Elles concernent le remplacement des seuils sur le cours d'eau par des grilles. L'objectif visé est de favoriser la migration piscicole et de réduire la pente longitudinale du lit entre les seuils 3 et 4 de 5% à 3% lors des crues. Les hauteurs de grilles ont été fixées de sorte qu'un débit de base de 5 m³/s (période de retour de 7 ans) ne produise pas de débordement en rive gauche après la formation de dépôts par colmatage des grilles. La nouvelle configuration du modèle a été testée en respectant fidèlement les crues de projet de la Figure 6. Les évolutions temporelles mesurées des débits liquides et sédimentaires sont très similaires à celles de la Figure 11.

Cette solution qui répond bien aux objectifs fixés, a été considérée comme optimale. Le volume de sédiments stockés sur le modèle pendant la crue centennale à $Q_{\max} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ représente plus de 90% du volume entrant dans le Milibach à l'amont de Reuti. La Figure 12a montre une comparaison des volumes cumulés entrant et sortant du modèle pendant la crue centennale, pour les configurations avant et après optimisation du projet. Pour la crue extrême (Fig. 12b), la configuration optimisée est capable de retenir jusqu'à 53% des sédiments arrivant de l'amont. Un pic de débit sédimentaire sortant, de l'ordre de 3.7 m³/s sur prototype (0.75 l/s sur modèle), a été observé. La configuration finale du projet est illustrée par les photos de la Figure 13, prises à sec et à la fin des essais. Le profil en long à l'axe du cours d'eau ainsi que les modifications apportées au projet de base sont présentés à la Figure 14.

Le cours d'eau aménagé et optimisé permet le passage d'un débit de base de 5 m³/s sans déversement latéral en rive gauche. Il permet également de retenir les volumes de sédiments présentés dans le Tableau 2.

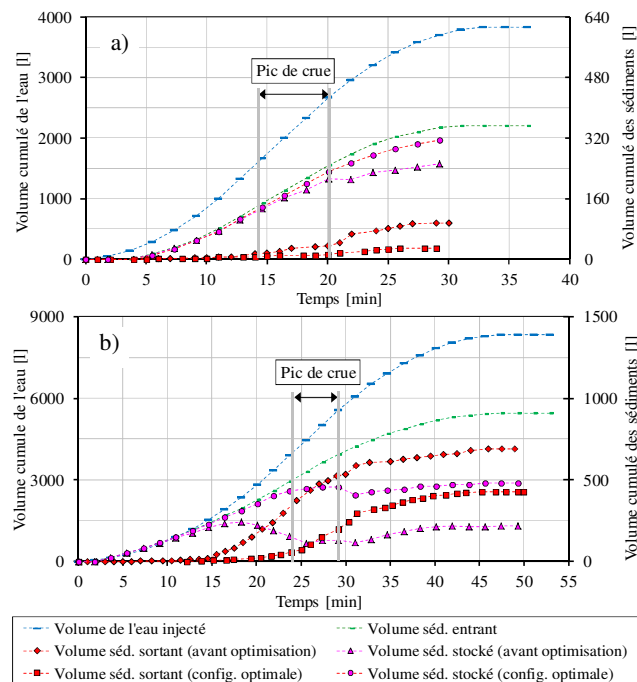


Fig. 12 Evolution temporelle, à l'échelle du modèle, des volumes cumulés de sédiments stockés et transités vers l'aval: a) pour la crue HQ100, ($Q_{\max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, averse); b) pour la crue EHQ ($Q_{\max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$)

Fig. 12 Time evolution, at the model scale, of the cumulative volumes of deposited and transited sediments: a) for the flood HQ100, ($Q_{\max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, storm); b) for the flood EHQ ($Q_{\max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$)

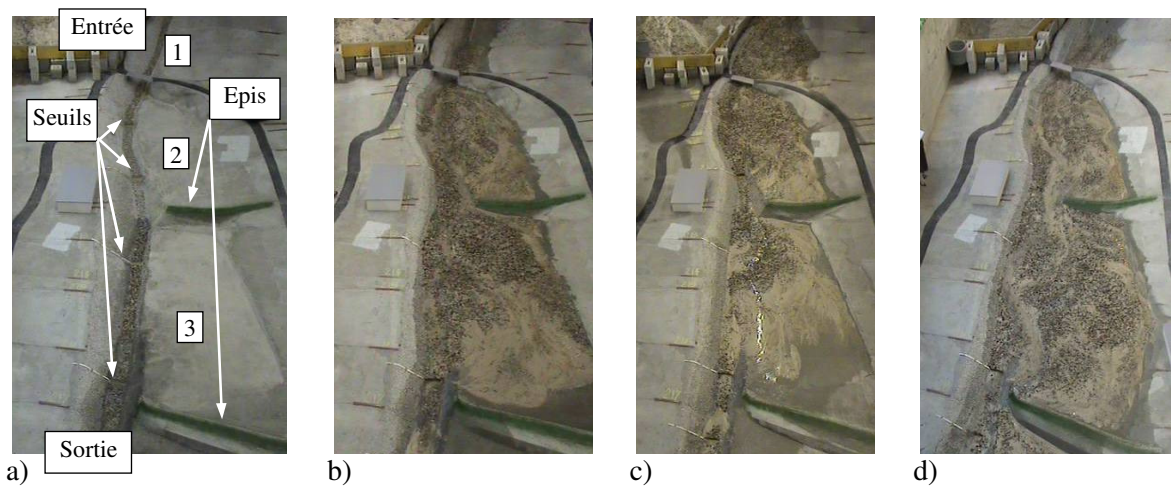


Fig. 13 Vue zénithale de la configuration optimisée sur modèle: a) sans sédiments; b) après HQ100, ($Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, averse); c) après HQ100, ($Q_{constant}=4 \text{ m}^3/\text{s}$, longue durée); d) après la crue extrême EHQ ($Q_{max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$)
Fig. 13 Top view of the optimized configuration on model: a) without sediments; b) after HQ100, ($Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, storm); c) after HQ100, ($Q_{constant}=4 \text{ m}^3/\text{s}$, long duration); d) after extreme flood EHQ ($Q_{max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$)

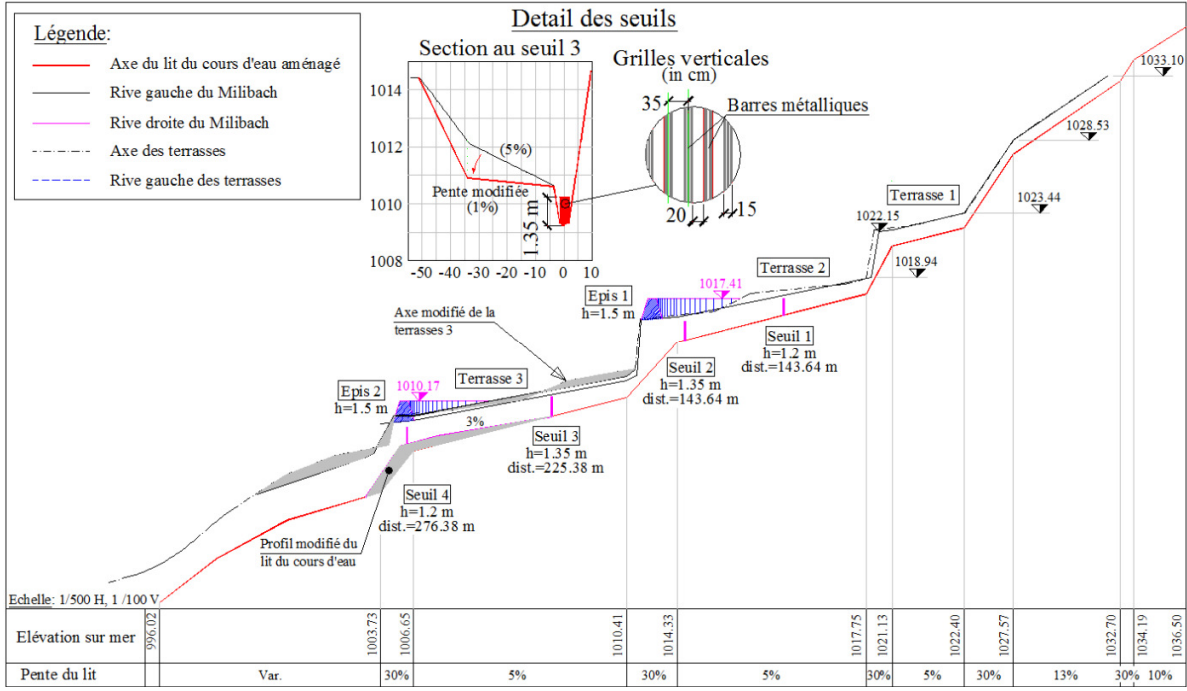


Fig. 14 Profil en long et section transversale à l'axe du seuil 3 du projet optimisé
Fig. 14 Longitudinal profile and cross-section at the weir axis Nr.3 of the optimized project

Tab. 2 Récapitulatif des résultats expérimentaux sur la configuration finale (à l'échelle prototype)
Tab. 2 Summary of the experimental results on the final configuration of the project (prototype scale)

Type de crue	Volume amont de sédiments [m ³]	Volume retenu de sédiments [m ³]	Volume aval de sédiments [m ³]	Rétention [%]
HQ100, ($Q_{max}=15 \text{ m}^3/\text{s}$, averse)	9400	8630	770	92
HQ100, ($Q_{constant}=4 \text{ m}^3/\text{s}$, longue durée)	12700	11475	1225	90
EHQ ($Q_{max}=25 \text{ m}^3/\text{s}$, extrême)	24550	12950	11600	53
Deux crues consécutives, ($Q_{max}=9 \text{ m}^3/\text{s}$)	8720	8450	270	97

REALISATION DU PROJET

Les enseignements tirés des essais sur modèle physique ont été intégrés au projet d'exécution parallèlement à la réalisation des travaux.

Il a ainsi été observé sur le modèle physique que le retour des écoulements vers le cours d'eau à l'extrémité aval des terrasses s'effectuait à haute vitesse. Afin d'éviter l'érosion à cet endroit, les épis de fermeture des terrasses ont été réalisés sous la forme de murs de soutènement en béton (Figs. 15 et 16). Ce choix s'imposait en raison de la faible résistance du sol limoneux-sableux en place. Ces murs de fermeture dépassent de 1.50 m le niveau de la terrasse amont.

D'autre part, afin de réduire la potentialité de rétention des corps flottants au passage des grilles-seuils, celles-ci ont été réalisées avec des barreaux métalliques horizontaux et non verticaux comme testés sur modèle (Figs. 15 et 17). La grille est dimensionnée de manière à provoquer une perte de charge identique à celle testée sur modèle. Il est en effet démontré en pratique qu'une grille verticale à mailles serrées nécessite davantage de travail de maintenance.

Les extrémités aval des rampes de blocs (Fig. 18) sont stabilisées par des seuils intégrés dans le lit du cours d'eau pour éviter l'affouillement.



Fig. 15 Terrasses 2 et 3 en rive gauche du cours d'eau à la fin des travaux. Les épis de fermeture des terrasses et les grilles-seuils dans le lit sont visibles

Fig. 15 Terraces 2 and 3 on the left side of the river at the end of work. The closing groynes of the terraces and the grid-sills across the river are visible



Fig. 16 Mur de soutènement entre les terrasses, vue d'aval

Fig. 16 Downstream view of the separation walls between terraces



Fig. 17 Détail de l'aménagement d'une grille-seuil

Fig. 17 Detailed fitting of a grid-sill



Fig. 18 Rampe en blocs entre les terrasses 2 et 3

Fig. 18 Blocks ramp between terraces 2 and 3

Avec ces quelques améliorations à caractère constructif, l'aménagement a été exécuté conformément au plan de la Figure 19.

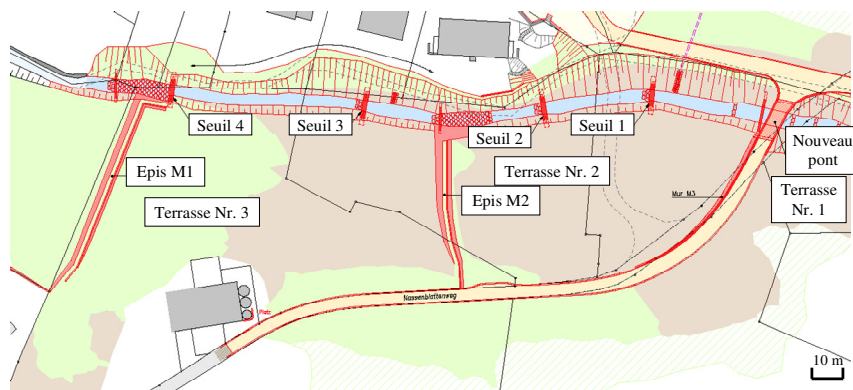


Fig. 19 Plan de l'aménagement conforme à l'exécution

Fig. 19 Plan view of the executed project

CONCLUSION

Dans le but de résoudre le problème d'alluvionnement et de débordement du Milibach à Meiringen, le projet d'aménagement d'un tronçon de cours d'eau, situé en amont de la zone à risque, a été testé et optimisé selon une approche itérative par des essais sur modèle réduit. Le projet prévoyait l'aménagement du profil en long du cours d'eau et la création de trois zones d'épandage sédimentaire, sous forme de terrasses en rive gauche. Les crues de projet centennales ont été utilisées pour optimiser la configuration proposée, avec comme objectif la rétention de 75% du volume des sédiments entrant sur le tronçon. La crue extrême (EHQ) et une crue à deux pics successifs de période de retour 30 ans ont été utilisées pour évaluer le risque résiduel et vérifier la robustesse de la solution optimisée.

A la suite de plusieurs séries d'essais effectuées sur le modèle physique à l'échelle 1:30, les modifications suivantes ont été apportées à la proposition initiale du Bureau d'ingénieurs:

- réduction de la pente longitudinale du lit du cours d'eau au moyen de quatre grilles-seuils ;
- implantation d'épis de fermeture de 1.5 m de hauteur à la limite aval des terrasses sédimentaires, afin de favoriser l'alluvionnement et maîtriser le volume de sédiments remobilisé dans ces zones ; ces petites digues, de 1.5 m de hauteur, servent aussi à guider l'écoulement pour sa restitution vers le cours d'eau principal ;
- aplanissement de la plate-forme du 3^{ème} dépotoir en réduisant sa pente transversale de 5% à 1% ; ce réaménagement est obtenu par une rotation de la plate-forme de 4% autour de la ligne de rive du cours d'eau.

Les résultats du modèle physique ont ensuite été interprétés pour une réalisation constructive par l'ingénieur du projet. En particulier, les fondations d'ouvrages, les protections contre l'affouillement et la taille des blocs à utiliser devaient être définies, car les essais sur modèle ont été exécutés sur fond dur.

Le système choisi d'une rétention de matériaux charriés sur des terrasses d'épanchement a confirmé sa fonctionnalité. Il présente un avantage certain pour le maître d'ouvrage, au niveau des frais de maintenance relatifs au déblayage des alluvions, comparativement à un dépotoir classique installé sur le cours d'eau. Le fait que le système ne supprime pas complètement le charriage sédimentaire est également bénéfique du point de vue écologique et pour la stabilité du lit à l'aval de l'aménagement.

RÉFÉRENCES

- Fehr R. (1987). Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse, Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck Heft 38/1987, pp. 1104-1109.
- Boillat J.-L., Geiges-Mayaud M., Teyssiere Ph. (2009). Auslaufbauwerk des Geschiebesammlers Fromatta, Wasser Energie Luft, 101. Jhrg., Heft 1/2009, pp. 32-36.

- Ghilardi T., Boillat J.-L., Schleiss A., De Montmollin G., Bovier S. (2012). Gestion du risque d'inondation sur l'Avançon. Optimisation sur modèle physique, 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble, France.
- Meile T., Bodenmann M., Schleiss A., Boillat J.-L. (2004). Umsetzung des Hochwasserschutzkonzeptes der Gemeinde Brig - Glis im Kanton Wallis, Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – Riva/Trient, Themenkreis VII, pp. 219-230.
- Müller M., Bieri M., Ribeiro Martins J., Boillat J.-L., Schleiss A. (2010). Barrage de Lavey. Etudes physique et numérique des écoulements et du transport solide dans le Rhône, La Houille Blanche, 6/2010, pp. 60-67.
- Smart G.M., Jäggi M.N.R. (1983). Sediment transport on steep slopes, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 64, ETHZ, Zürich.
- Studer M., Hachem F., Boillat J.-L. (2010). Experimental design of a diversion structure of granular debris flows, River Flow 2010, Braunschweig, Germany, Ed. Dittrich, Koll, Aeberle & Geisenhainer (eds), Bundesanstalt für Wasserbau, ISBN 978-3-939230-00-7, 2010, pp. 1363-1369.

ANALYSIS OF TORRENT PROTECTIVE STRUCTURES AS A BASIC ELEMENT OF THE HAZARD MAPPING PROCESS

DETERMINING THE AS-IS-STATE OF 100 YEARS OLD CHECK DAMS MADE OF NATURAL STONE MASONRY

Bernd Kister¹, Markus Zimmermann², Gabi Hunziker³, Bruno Zimmerli⁴ and Walter Fellmann⁵

ABSTRACT

The natural hazard map for the villages of Schwanden, Hofstetten, Brienz and Brienzwiler (Bernese Alps, Switzerland) had to be revised as a consequence of large debris flows and flooding in August 2005, which caused huge damage. The more than 20 torrent control structures in the Lammbach gorge, constructed approximately 100 years ago, play a vital role for today's safety on the fan of the Lammbach with extended housing estate and small-scale industry. This paper presents the general hazard mapping process and main results of the assessment and rating for the as-is-state of the old check dams. For the visual inspection of the natural stone masonry of the check dams the "Lucerne Rating System" has been used. Simple 2D-models as well as 3D-FEM have been applied to check structural safety as well as effectiveness of the structures. The results of structure assessments have been directly integrated into the hazard mapping process.

Keywords: hazard, risk assessment, natural hazard map, torrent control structures, potential failure mechanism, natural stone masonry, as-is-state of structures, rating, 3D-FEM

INTRODUCTION

The torrents in the area of the villages Brienz, Schwanden and Hofstetten in the Bernese Alps, Switzerland (Fig. 1b), are well known for flooding and debris flows for hundreds of years.

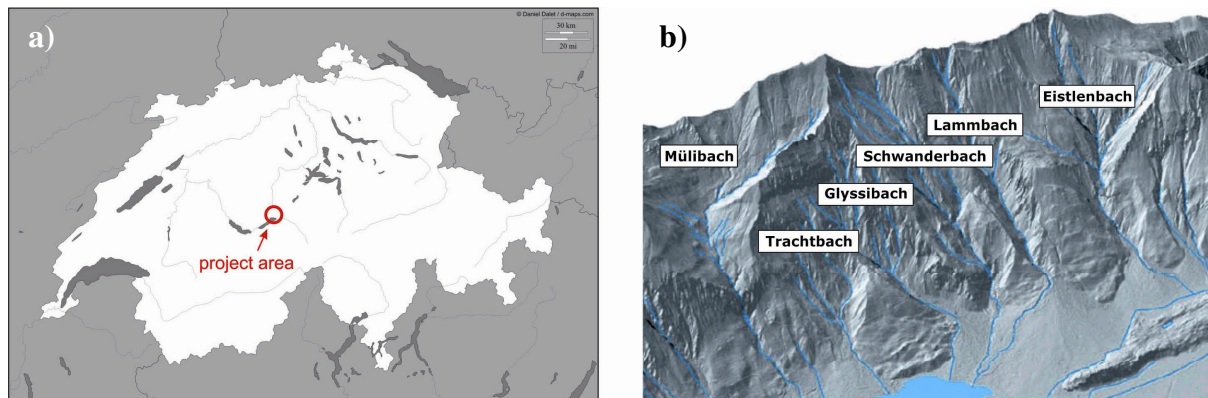


Fig. 1 a) geographical position of the project area, located north of the Lake Brienz, b) the mountain torrents of the Brienz area located at the southern slope of the Brienzgrat (Ryter, 2004).

¹ Dr. Bernd Kister, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Technikumstrasse 21, CH - 6048 Horw, Switzerland (e-mail: bernd.kister@hslu.ch)

² Dr. Markus Zimmermann, NDR Consulting GmbH, Riedstrasse 5, CH - 3600 Thun, Switzerland

³ Gabi Hunziker, Hunziker Gefahrenmanagement, Gärteli 19, CH - 3210 Kerzers FR, Switzerland

⁴ Prof. Dr. Bruno Zimmerli, Zimmerli Bauingenieure GmbH, Fliederstrasse 8a, CH – 6010 Kriens, Switzerland

⁵ Walter Fellmann, Fellmann Geotechnik GmbH, Bruchmatthalde 3, CH – 6003 Lucerne, Switzerland

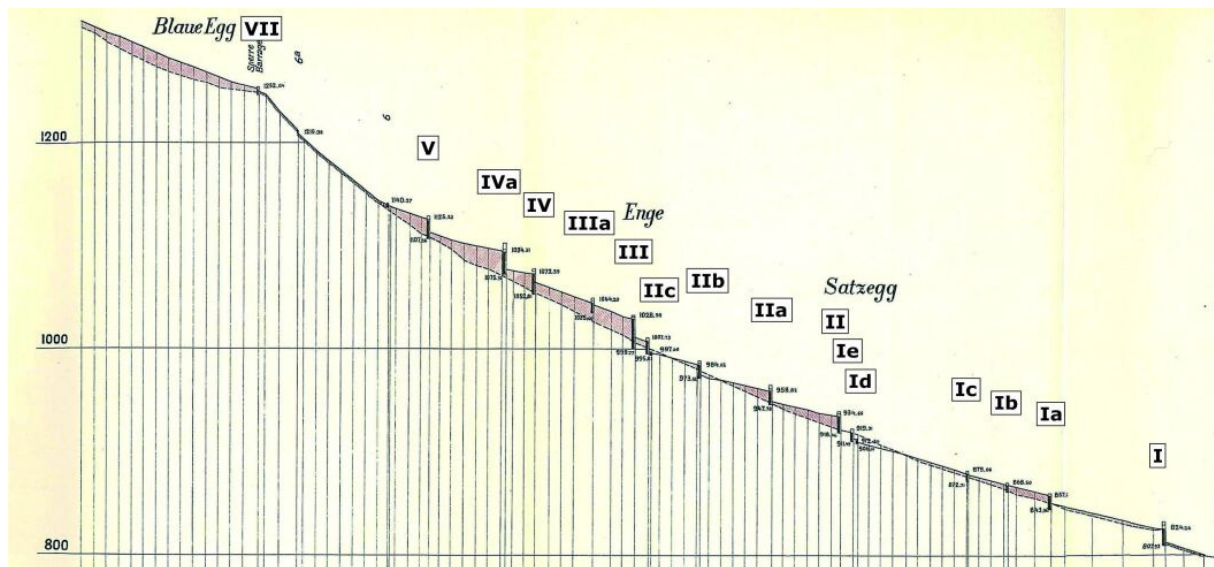


Fig. 2 Longitudinal section of the main part of the Lammbach gorge showing position and mode of action of the check dams, cut-out of a plan dated 1913 (OIK)

Because of this, a risk assessment for that area had been done already in the period 1997 - 1998. But due to large debris flows and flooding in August 2005 as well as the new discussion to take into account the impact of protection measures (PLANAT, 2008), the natural hazard map of that area had to be revised. In that revision process the Lammbach played a decisive role, because of the large uncertainties concerning the options of scenarios the hazard map is based on. Those large uncertainties traced back to the unknown as-is-state of the check dams which had been established in the Lammbach gorge approximately 100 years ago.

The Lammbach was not active during the 2005 events, but during the past centuries there have been a lot of examples for extremely dangerous debris flows and flooding. For example in 1499 the village Kienholz and the manor house Kien had been destroyed by large debris flows and debris and mud had been deposited up to a thickness of 10 m. The last large event occurred in the year 1896, when disastrous debris flows emerged in the Lammbach gorge which destroyed several houses in the village Kienholz, along with the track of the Swiss Federal Railway. The volumes of the last three incidents have been reported as approximately 300'000 m³ of material covering land along a shoreline length of 120 m at Lake Brienz with an average debris thickness of about 2.5 to 4.0 m. In consequence of those disastrous debris flows, a massive reforestation program had been started in the area and 20 torrent control structures (check dams) had been installed in the Lammbach gorge in the period 1896 to 1913 to raise the streambed and stabilize the slopes (Fig. 2). These barriers consist of natural stone masonry and have remarkable dimensions in part. The largest one, check dam IVa, has a span of 90 m and the visible height at the downstream face is still 13 m today (Fig. 5).

Since the construction of those check dams no disastrous debris flow with origin at the Lammbach valley has ever reached the villages. But on the other hand up to now by guess more than 500'000 m³ of debris has been accumulated behind the torrent control structures and at least the same quantity of debris are deposited at the slopes of the Lammbach gorge. For this reason there is a potential for large debris flows, especially if one or more of the check dams will fail to work. The structural safety of the old torrent control structures is therefore of utmost importance. An essential part of the revision process of the natural hazard map was therefore the assessment and rating of the old check dams made of natural stone masonry with regard to their structural safety and fitness for purpose.

TOPOGRAPHY AND GEOLOGY OF THE PROJECT AREA

The watershed of the Lammbach is placed at the southern slope of the Brienzgrat (Fig. 1b) and covers an area of approximately 3.2 km². The area ranges from approx. 2'200 m altitude down to the Lake Brienz at 578 m altitude.

The Brienergrat consists of the cretaceous rocks of the so-called Wildhorndecke. At the ridge siliceous limestone appear. Downhill the limestone is replaced by the marly layers of the Valangien. The dark siliceous limestone is normally stratified and alternates with layers of marl. Compression, minor folds and buckling is very common in this geologic structure (Bauer, 1971). The dip direction (DD) of the bedding plane in the project area is SE and the dip (D) is 25° to 35°. Three main joint sets K1, K2 and K3 have been identified (Fig. 3, Tab. 1).

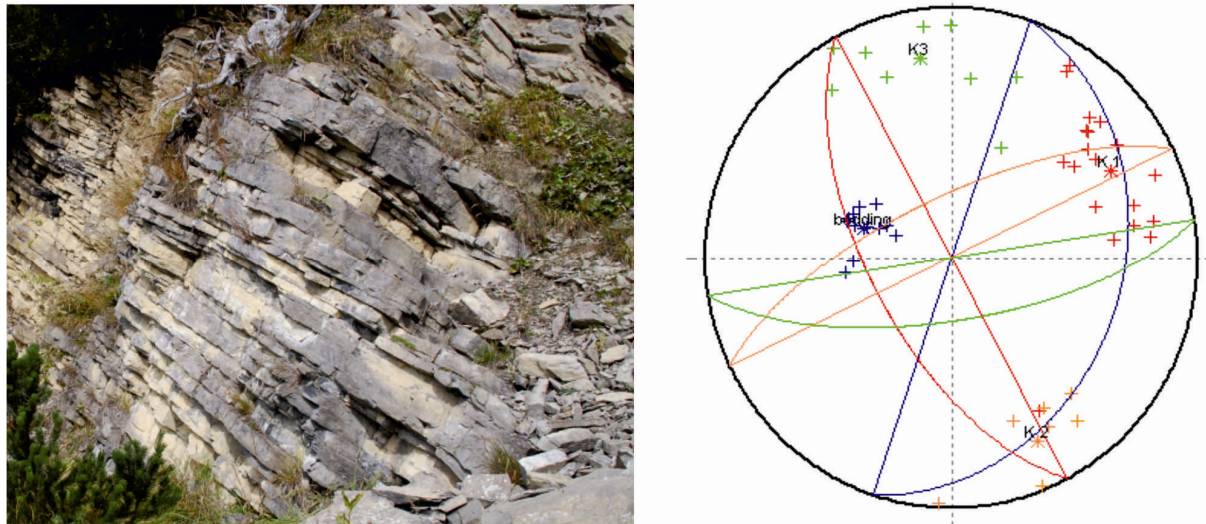


Fig. 3 Left: Example of thin to medium bedded limestone in the project area, right: Distribution of measured joints and great circles of joint sets

Tab. 1 Dip Direction (DD) and Dip (D) of the three main joint sets in the project area

Joint set	DD	D
K1	242°	63°
K2	334°	70°
K3	171°	69°

The bedding planes have slightly rough surfaces while the joint surfaces can be described as rough. The Geological Strength Index (GSI) is in the range of 35 to 45. The rock mass at the Lammbach valley is in general vulnerable for weathering and erosion. Due to the existing joint system the limestone degrades into cubical or block-shaped pieces with an edge length of 1 to 4 decimeters in the majority of cases. The marly parts of the rock mass decays into fine grained sediments. At the surface the fine-grained material is often eroded and only the blocky material is left. Therefore along the streambed and at the slopes as well as with depth the composition of the debris varies.

IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF HAZARDS

Since more than 10 years the hazard mapping process in Switzerland has been done in a standardized way consisting of 3 individual steps (BWW, BRP & BUWAL, 1997):

1. identification of hazards,
2. assessment of hazards and
3. transfer of scenarios into a hazard map.

The identification and assessment of hazards is in general in the own field of action of the municipalities and the natural hazard map is part of the urban development. Normally the municipalities place an order to a consultancy firm for doing the executive work. The working process is attended by the cantonal specialist departments.

For the identification of hazards in a first step existing event registers are used. In Switzerland those inventories exist at many places and they contain information about events occurred in the last decades, sometimes in the last centuries. Especially events concerning torrents are very often well documented. Additional information about potential loss events will be given by the geologic-geomorphological analysis of the project area.

The essential parameters of a hazard process are the intensity and the return period. In Switzerland, a hazard rating system is used, which defines different danger levels according to a combination of the hazard probability (defined with a return period or frequency of occurrence) and the hazard intensity. The hazard intensity is strongly linked to the magnitude of an event. In the Swiss recommendations (BWW, BRP & BUWAL, 1997), the intensity for debris flows and related processes is expressed as a function of impact pressure, flow velocity and/or flow depth. As flow depth is difficult to determine in some cases, an estimated depth of deposition may be taken as an approximation. The relevant return periods are defined as 30, 100 and 300 years. Additionally an extraordinary event will be taken into account in the assessment of hazards.

During the hazard assessment process a detailed geomorphological analysis will be done including information about potential flow paths, flow velocities, range of coverage and transported volumes of material. Empirical methods as well as numerical simulations are used for that work. Nevertheless the uncertainties are high in the assessment of processes dealing with torrents (Zimmermann, 2006).

GEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS

During the geomorphological analysis the circumstances in the catchment area of the Lammbach had been studied in detail. Especially slope stability, potential processes like debris flow, bedload transport and the concurrence of slope instabilities together with torrent processes have been examined.

As already mentioned before, today a large quantity of debris is deposited behind the check dams and along the slopes of the Lammbach gorge due to the geologic circumstances and weathering. All in all a total quantity of approximately 1.5 million m³ of erodible debris is deposited here. Especially in the middle part of the Lammbach gorge there is a chance that several 10'000 m³ of debris may move downward into the streambed by slope failure. This may result in an afflux, which may on his part be the origin of a large debris flow similar to those one of the Lammbach cataclysm of the year 1896.

A comparison of the gradient along the Lammbach gorge at different times shows also significant changes. Fig. 4 shows on the left that the gradient was significantly reduced as a result of the construction of the check dams in the years 1896 – 1913. This was one of the aims which had been connected with the construction of the check dams. But today due to sedimentation of debris along the Lammbach gorge the gradient is in many cases similar to that one before the construction of the check dams. In the case of the upstream area of check dam IVa the gradient has been even increased in comparison to the situation before dam construction (Fig. 4, right).

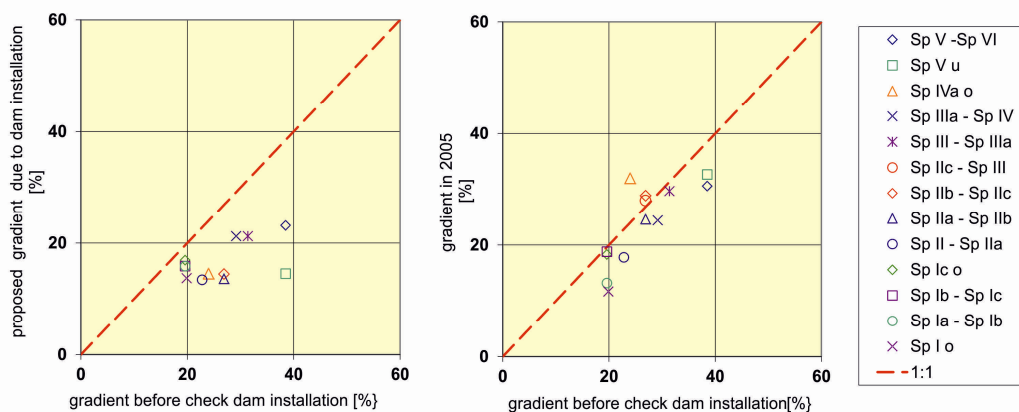


Fig. 4 Left: Comparison of the gradient before the installation of the check dams and the gradient expected due to dam installation (cp. Fig. 3), right: Comparison of the gradient before the installation of the check dams and the gradient measured by aerial survey in 2005 (legend: Sp = check dam, o = upstream, u = downstream)

The traces of former debris flows are only partial conserved on the alluvial fan of the Lammbach due to building development. But taking into account the remaining traces of debris flows, it can be suggested that the different events had been of large extend. Additionally it is recognizable, that the

major part of the masses of former debris flows are located at the upper part of the alluvial cone. At the lower part of the cone the thickness of former events is much less.

Today, the cone is incised up to 16 m deep, starting from the apex and making a strong bend towards the west. Having a look on old maps it is clear, that this incision is a result of the events in 1896. Before, the Lammbach was flowing more or less on the surface of the cone. Still in 1886 there was a debris flow in eastward direction towards the village of Hofstetten. However, nowadays a large debris flow might be able to fill up the deep cut and travel straight (south). Approximately 150'000 m³ of debris are necessary for such change. The volume of debris for this process is available, particularly in the middle part of the Lammbach, as described above. A failure of one or more check dams may make this quantity of debris disposable.

ASSESSMENT OF THE LAMMBACH CHECK DAMS

The Lammbach check dams, constructed during the period 1896 to 1913, had been made of natural stone masonry. Natural stone masonry is of course a durable construction material but even such a material underlies weathering and aging. The lifespan of such constructions made of natural stonework in general is specified with 60 to 80 years, maximum 100 years (e.g. Rudolf-Miklau & Agerer, 2007). But that does not mean the construction will lose its structural safety and the fitness for purpose automatically when a structure attained such an age. However the structural safety and the fitness for purpose of the check dams had to be verified.

Additional to weathering and aging of the masonry, due to old plans there are some specifics concerning the construction of the check dams:

- footing with wooden sleepers (check dams Ia, Ib, IIIa)
- wooden piles at the footing (check dam II)
- arch constructions within the masonry (check dams Ie, II, III, V).

Since the construction of the check dams, at some of them modifications had been done. So the check dams I, Ic, II, IV, V, VII and VIII had been increased in height. The check dams III and IVa got partly a concrete slab on downstream face with pre-stressed anchors (Fig. 5). Those modifications of the dams are attended with changes of the applied loads as well as changes in the structural system.



Fig. 5 Check dam IVa with rehabilitation measures, middle part fixed by a concrete plate and pre-stressed anchors in 1976, buttresses and pre-stressed anchors installed at the barrier wings in 2000

The Swiss National Platform for Natural Hazards (PLANAT) defines a 5 step procedure concerning the assessment and the effect of protective structures (PLANAT, 2008). The steps are named as follows: preliminary work, crude appraisal, arrangement assessment, outcome assessment and preliminary work for urban and regional planning. Analogous to that, the assessment of the Lammbach check dams and the preparation of the hazard map had been done also in a 5 step procedure with the following steps:

1. evaluation of the basics
2. process assessment
3. arrangement assessment
4. outcome assessment
5. realization of the hazard map

EVALUATION OF THE BASICS

In the first step the available documentation has been analyzed, a geodetic survey has been done and the barriers' as-is state has been mapped. The last one has been done by using a special rating system for natural stonework, which has been developed at the Lucerne University of Applied Sciences and Arts in the last years (Kister et al, 2008). The rating system for natural stone masonry has been developed based on our experience with rating systems in rock mechanics on one hand and our experience with natural stonework on the other. Combining both and additionally taking into account aspects of the surrounding area as topography, geology, groundwater and plant-cover, the assessment and rating of old natural stonework has been put on a less subjective base.

Some adaptations had to be made for the check dams because the original rating system was developed for retaining walls placed at traffic infrastructure. Nevertheless an assessment of the check dams made of natural stone masonry has to keep in mind the same 3 general aspects:

- as-is state of the construction itself and the construction elements,
- constructiveness and
- properties of the surrounding area.

The as-is state of the construction implies the as-is state of the construction itself, as for example break-outs in the masonry or damage due to settlement, but also the as-is state of the components stone and mortar and the status of the drainage. The constructiveness sums up data concerning the design and composition of the structure, such as ratio of masonry wall thickness to construction height, size of stones and thickness of joints (Fig. 6). Plant cover, potholes, indication of slope instabilities or indication of erosion for example are properties of the surrounding area. Fig. 7 shows as an example for the summary of the rating of a Lammbach check dam the results for check dam I. Maximum value for a rating value is 1.0, values less than 0.6 show damages, a value less than 0.5 show significant damages. In the case of the basic data low values show missing information, as for example no information present on the anchoring depth.

basic data				
structure		elements (natural stones + joints)		drainage
thickness ratio (wall thickness at the base / max. height)	RKB	natural stones:	RKG	weepholes
		variation in size		
inclination of bearing area	RKF	position of largest stones in the wall	RKE	drainage gutters
		relation of layer thickness to stone length		
anchoring depth of the wall	RKF	orientation of foliation cleavage	RKG	RKE
		execution of transverse bracing		
type of masonry	Rtyp	joints:	RKG	RKE
		cross joints		
		transversal joints crossing several layers		
		properties of joints in relation to type of masonry		

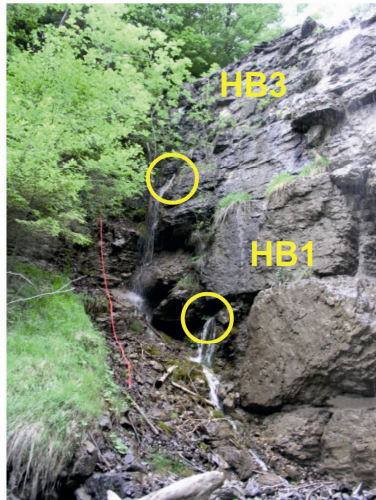
as-is state				
structure		elements (natural stones + joints)		drainage
partly or complete collapse of masonry	RZN	natural stones:	RZM	weepholes
		degree of weathering		
bulge / debonding of front layer	RZN	compressive strength	RZM	drainage gutters
		damage due to overstraining		
shift of inclination overhang	RZS	thrust of single stones	RZM	RZE
		erosion		
settlement	RZS	joints:		
		drystone walls: properties of stone surfaces		
as-is state of masonry bond	RZV	joints filled with mortar: as-is state of mortar		

Fig. 6 Left: Basic data for the assessment of the constructiveness of a retaining wall made of natural stonework, right: Assessment criteria of the as-is state of a retaining wall (Kister et al., 2008)

Constructions made of natural stonework are partly large-sized and sometimes there is a change in stone size or even in bond type within a construction. During the life cycle of a structure large-scale

changes may have happened, done with materials different to the original construction materials. In all these cases one has to divide the structure in so-called homogeneous segments. Homogeneous segments are characterized by the following features for example:

- same type of bond exists
- the structure of the masonry varies only marginal
- no significant changes in geometry



	Rating	BW	HB 1	HB 2	HB 3
structure :	q_{Mk}	0.47			
slenderness ratio	RKB	0.9			
anchoring depth	RKF	0.9			
constructiveness	RKG		0.58	0.61	0.64
as-is state structure :	q_{Mz}	0.5			
structure as a whole	RZN	1.0			
settlement	RZS	1.0			
bond	RZV	1.0			
discharge section	RZA	1.0			
drains / water	RZE	0.5			
as-is state elements :	q_{Bsz}	0.89			
rock blocs + mortar	RZM		0.89	0.89	0.89
surrounding area :	q_{TGz}	0.42			
plant cover	RZB	0.85			
subsoil	RZU	0.5			

Fig. 7 Example for the rating system: missing information about the transverse bracing and large variation in bloc size of check dam I induced a low value for rating RKG, check dam I shows significant water outlets at the western part (circles), this results in a low value for the rating RZE (drains / water), indication for an undercutting of the check dam led to a reduction of the rating RZU, BW: structure, HB: homogeneous segment

The evaluation of the basics includes also the determination of material parameters of the check dams as well as of the rock mass. To do this, it had to be taken into account, that the access to the check dams is only possible via hiking trail or by helicopter flight. Therefore easily manageable methods and non-destructive methods have been preferred for this work. So for the determination of the uniaxial compressive strength of the rock as well as of the mortar a Schmidt-hammer, type L, has been used in the field. A small-sized drilling equipment has been transported by helicopter to check dams IV and IVa and at each of both check dams a horizontal drilling was executed to get information about the interior of the dams. Additionally the drillings have been inspected via a borehole camera. Another part of evaluation of the basics was to check the masonry status at the upstream face of some of the check dams and to verify some structural elements. This was done by excavating trial pits as spot samples at check dams IV and IVa (Fig. 8a). A walking excavator, the only construction machine which was able to reach the check dams IV and IVa on its own, has been used to do this work. The essential results of that work can be summarized as follows:

The status of the masonry at the upstream dam face was found better than that one at the downstream face (Fig. 8, b and c). The decomposition of mortar in the masonry joints on the upstream face was predominantly less than 10 cm. At the same check dam the decomposition of mortar in joints at the downstream face often shows a greater depth, the maximum found at check dam IVa was 50 cm. The excavation of the trial pits eliminated also some lack of clarity concerning the thickness of the construction and the shape of the cross section.

During the drilling work water outlet at the masonry downstream side was detected approximately 1 m before the drilling bit reached the structure surface. Therefore it can be stated, that the depth of weathering of the masonry is approximately 1 m.

The mortar found in the drillings can be described as a tamped concrete with coarse grained aggregates and large porosity. This “mortar” is very much different from that found at the structure surfaces. Two specimen for uniaxial compressive strength tests were obtained with the drillings. The test result of the sample of check dam IVa was $\sigma_{d,R} = 6 \text{ MN/m}^2$, the test result of the sample of check dam IV was $\sigma_{d,R} = 15 \text{ MN/m}^2$. In both cases the uniaxial compressive strength was very much smaller than the values determined with the Schmidt-hammer on mortar at the check dam surfaces

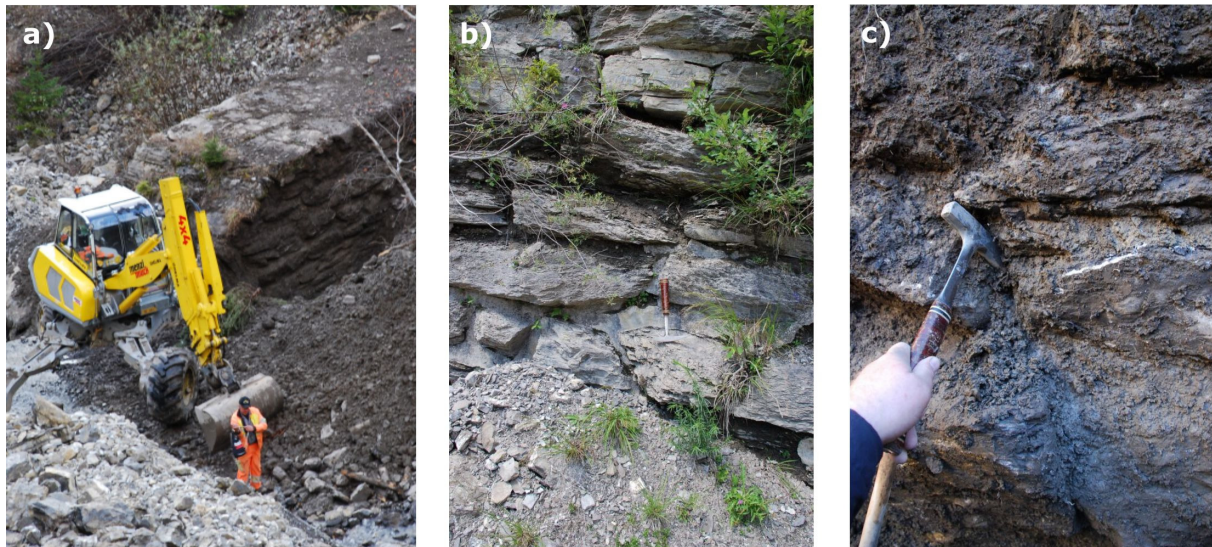


Fig. 8 Check dam IV: a) trial pit at the upstream side, b) joints and decomposition of mortar at the downstream face, c) joints and decomposition of mortar at the upstream face.

For the determination of the uniaxial compressive strength of the rock with the Schmidt-hammer the formulas of Deere & Miller (1966) have been used. To confirm the results produced with the Schmidt-hammer some compressive tests on drill cores have also been done. Comparing these test results, it can be mentioned, that there is a difference in the compressive strength of the rock blocs used for the check dams. So the compressive strength of the rock blocs used for barriers IV and IVa was found to be less than the compressive strength of the rock blocs used for the barriers Ia, Ib and Ic. Fig. 9 shows the results of Schmidt-hammer tests in comparison to results of uniaxial compression tests on rock material. The compressive strength $f_{d,M}$ of the natural stone masonry was evaluated to approximately 6 MN/m^2 by using the formula of Berndt (1996).

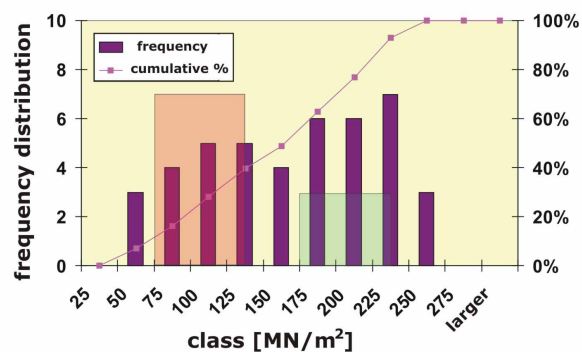


Fig. 9 Uniaxial compressive strength of the siliceous limestone, dark bars: frequency distribution of Schmidt-hammer results; left-hand side: band of test results of uniaxial compression tests, cores derived from check dams IV, IVa and rock blocs of the area between check dam IV and check dam IVa; right-hand side: band of test results of uniaxial compression tests, cores derived from rock blocs of the area check dam I to check dam Ia

PROCESS ASSESSMENT

In the second step the potential failure mechanisms and hazard scenarios had to be detected and the forces acting on the constructions had to be determined. For example at check dam I a water outlet has been detected at the interstice between the former spillway and the part which has been erected at a later date. The erected part has a length of about 23 m and the fixed support at the side may be incomplete. In case of large debris flows with latitude larger than the today spillway dimensions a debris flow impact may occur and this part of the construction may fail by toppling. A 2D-approach in this case is sufficient to describe the problem. Fig. 10 shows the cross section as well as the loads acting on the upper part of the check dam.

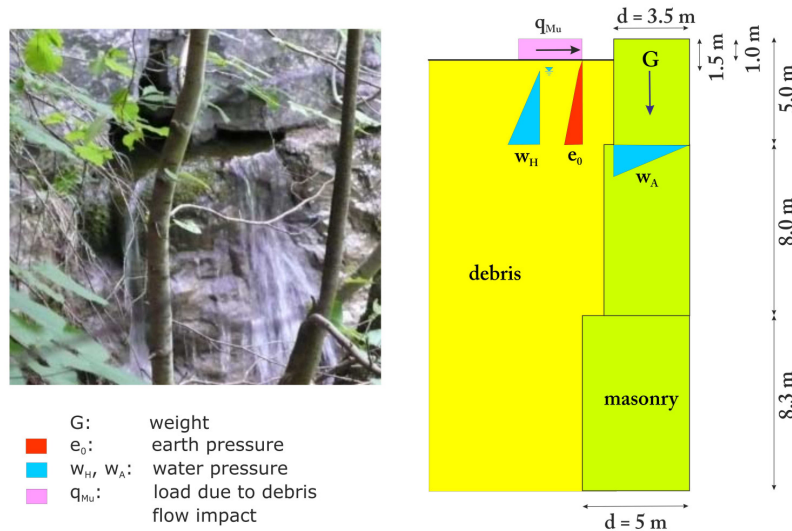


Fig. 10 water outlet and cross section of check dam I, position of the water outlet at 5 m below the capstone

In the literature different approaches can be found for the debris flow impact. In general one can distinguish between hydrostatic and hydrodynamic approaches. The hydrostatic approach of Lichtenhahn

$$q_{Mu} = k \times \rho_{Mu} \times g \times h_{Mu} \quad (1)$$

has been used as well as two hydrodynamic approaches (e.g. in Egli, 2006):

$$q_{Mu} = 0.5 \times c_d \times \rho_{Mu} \times v_{Mu}^2 \quad (2)$$

$$q_{Mu} = a \times \rho_{Mu} \times v_{Mu}^2 \quad (3)$$

Hereby q_{Mu} is the load due to debris flow impact, ρ_{Mu} , h_{Mu} and v_{Mu} are the density, the height and the velocity of the debris flow. The parameters k , c_d and a may vary according to the properties of the debris flow (coarse or fine grained material, low or high velocity of the debris flow, etc.).

In the case of the Lammbach check dams the area behind the spillway is completely filled up with debris and a debris flow impact force as described before will therefore only act at the dam's wings where the backfilling is not completed up to the crest. At the spillway an overtopping of the check dam by the debris flow will occur and the stress due to fluid shear acts on the check dam in this case. Two different models have been studied in the project to estimate the fluid shear stress of a debris flow. The first one is based on normal bedload transport (LfU, 2002):

$$\tau_{sh} = \rho_{Mu} \times g \times h_{Mu} \times \sin \Theta_{bed} \quad (4)$$

where Θ_{bed} is the mean channel gradient. A second model was developed by Iverson (2005):

$$\tau_{sh} = (\rho_{Mu} \times g \times h_{Mu} \times \cos^2 \Theta_{bed} - p_{bed}) \times \tan \varphi_{bed} \quad (5)$$

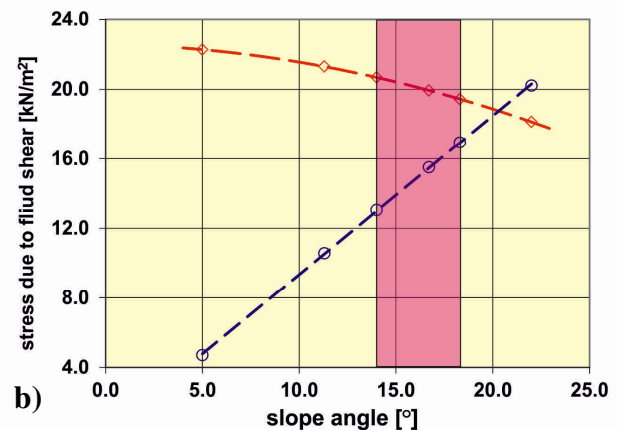


Fig. 11 a) overtopping of a check dam by a debris flow (WSL, 2000), b) correlation of stress due to fluid shear and slope angle, comparison of 2 models, marked area is decisive for the Lammbach check dams.

This model takes into account the friction angle φ_{bed} as well as the pore pressure p_{bed} in the boundary layer between debris flow and subsoil. The pore pressure p_{bed} was assumed to be 15 kN/m^2 and was taken from data measured by McArdell et al. (2007) at the Illgraben in Switzerland.

For a debris flow with a density $\rho_{\text{Mu}} = 1800 \text{ kg/m}^3$ and a height $h_{\text{Mu}} = 3 \text{ m}$ the correlation of stress due to fluid shear and channel gradient respective slope angle is shown in Fig. 11. The red marked area is the representative interval for the gradient in the Lammbach gorge.

ARRANGEMENT ASSESSMENT

The 3rd step deals with the estimation of the functional capability of the adopted measure. The structural safety as well as the fitness for purpose of the structures has to be checked. An example for loss of effectiveness due to aggradation is check dam V. Today this barrier is covered by debris except for a very small part at the eastern barrier wing (Fig. 12c). At the spillway the thickness of the debris layer today is several meters. Therefore check dam V has lost its fitness for purpose according to the primary design (cp. Fig. 2). But even in this status the check dam is of high importance for the complete torrent control system because in case of a large debris flow it limits the erosion of material to the level of the barrier's crown.

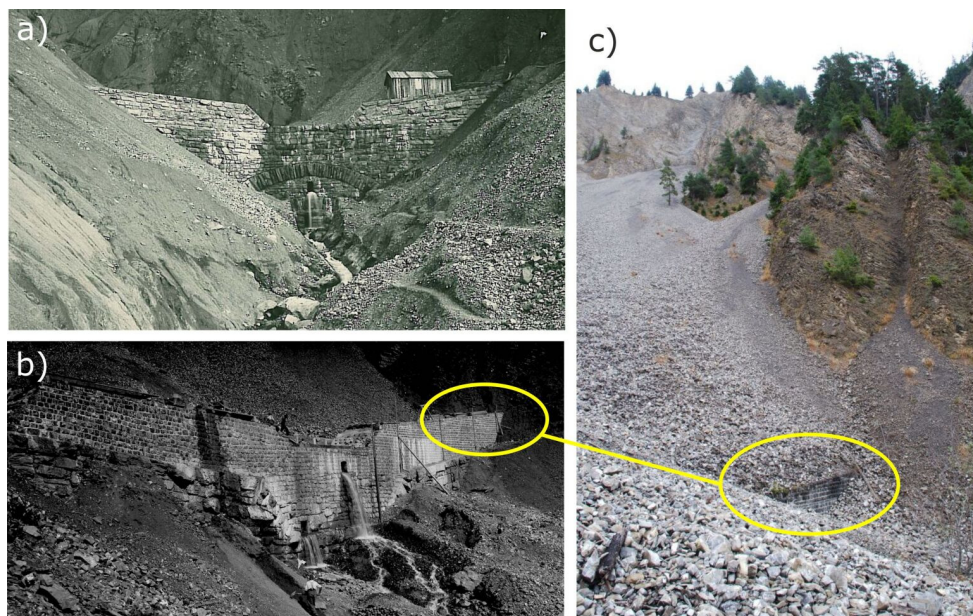


Fig. 12 Changes at check dam V: a) when finished in 1904, b) increased in height in 1936, c) the only visible part of check dam V today (OIK).

Check dams III and IVa are examples for an increasing load at the upstream side of the barriers due to aggradation. The results of the photogrammetric survey in the Lammbach gorge show for example the steady rise of material behind check dam IVa within a period of the last 65 years. Additional on both check dams changes had been done at the supporting structure in the context of rehabilitation measures. Because of the complexity in geometry, load cases and material behavior of those 2 large check dams III and IVa, 3D-Finite-Element calculations had been chosen for the analysis of the structural safety. Fig. 13a shows the 3D-FE-mesh of check dam IVa used for the calculations. It consists of 25'160 3D-elements, 49 discrete anchor elements and 1'393 interface elements. The calculations have been done using linear elastic and elastic-plastic material behavior for the check dam. Mohr-Coulomb failure criterion and a tension-cut-off model as well as the multi-laminate model have been used to simulate the masonry. For the subsoil and the securing mean (concrete slab, buttresses and anchors) elastic behavior has been chosen.

The calculations for check dam IVa show a deformation which was less than 10 cm in maximum. The anchor load show a value which is nearby, but lower than the tolerable value. Therefore even if the water level rises up to the level of the spillway and a debris flow occur additionally the calculations show no failure of check dam IVa.

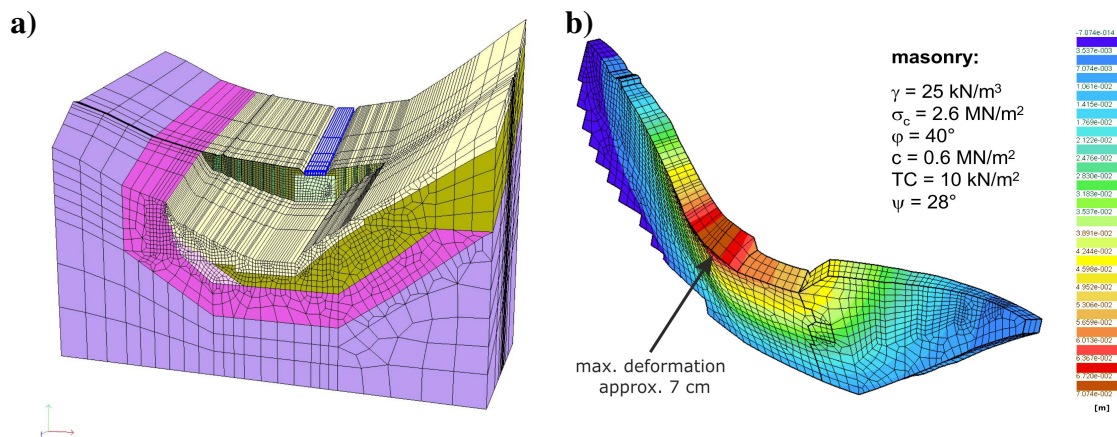


Fig. 13 a) 3D-FE-mesh of check dam IVa and the subsoil, b) deformed mesh of check dam IVa for a calculation with a tension cut-off model $\tau_{TC} = 10 \text{ kN/m}^2$, shown is the last load case: overtopping by debris flow.

OUTCOME ASSESSMENT

The outcome assessment, the 4th step of the procedure, handles the evaluation of uncertainties and the resulting risks. Uncertainties are given for example by incomplete project documentation of the constructions and by variation in material parameters.

REALIZATION OF THE HAZARD MAP

Based on the results of the previous 4 steps different scenarios had been analyzed. The most likely scenario acts on the assumption of the failure respectively partial failure of several dams, but check dam IVa will remain stable. The scenario starts with a large landslide in the middle of the Lammbach gorge. Approximately $50'000 \text{ m}^3$ material of this landslide will form a debris flow running down the valley and eroding further debris masses. This will result in

- an overtopping of check dam IVa by approximately $95'000 \text{ m}^3$ of debris, but the dam itself will remain stable,
- a debris flow of approximately $220'000 \text{ m}^3$, which will reach the top of the fan.

This will be a scenario with a return period of 300 years. For an extraordinary event it is assumed that all check dams will fail, i.e. check dam IVa too. In this case approximately $790'000 \text{ m}^3$ of debris will reach the top of the fan.

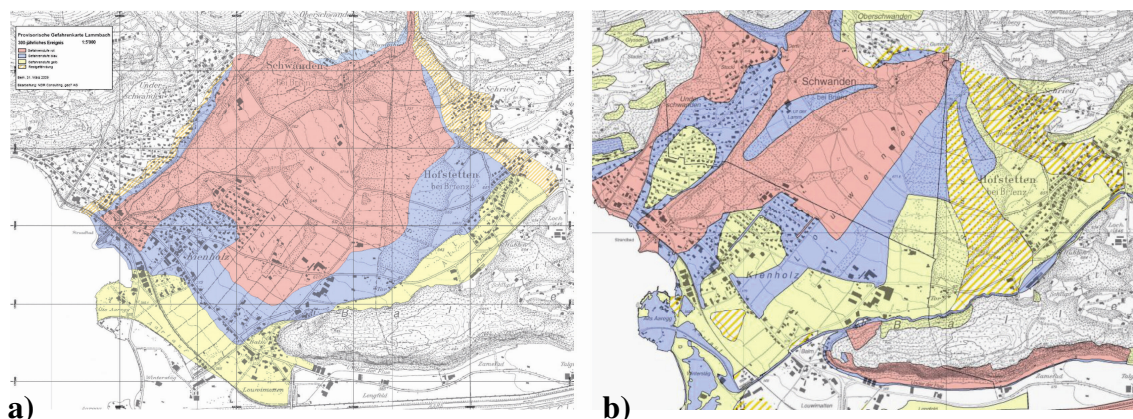


Fig. 14 Hazard maps obtained with different scenarios: a) failure of check dam IVa, debris flow volume at the fan apex will be approx. $790'000 \text{ m}^3$, b) check dam IVa remains stable, a debris flow volume of approx. $95'000 \text{ m}^3$ is overtopping check dam IVa, a volume of $220'000 \text{ m}^3$ debris will reach the fan apex.

In comparison to a scenario taking into account the failure of all dams, the scenario of a 300 year event shows a significant smaller so called “red area” in the hazard map, which is the area where the construction of new buildings is prohibited (Fig. 14). To choose this scenario as the most likely

scenario was only possible due to the engineering assessment of the as-is-state of the 100 years old Lammbach check dams.

CONCLUSIONS

The assessment of the 100-years old torrent control structures in the Lammbach gorge is a very complex and ambitious task which necessitate the close collaboration of experts of different disciplines. As shown before not all barriers in the Lammbach gorge show the fitness for purpose and the structural safety after a period of 100 years. But with the reconditioning done in the past the analysis of check dam IVa showed the structural safety of that barrier. And this results in a significant reduction of the mass of a potential debris flow, which may reach the inhabited area at Lake Brienz in case of a 300 year event.

Uncertainties are given especially by missing or ambivalent data concerning the barriers' geometry and composition. Not all of those uncertainties can be eliminated within reasonable operating expense by exploration and investigation. Additionally there is an incomplete knowledge concerning debris flows. Further research is needed to get a better understanding of the debris flow load cases and to reduce uncertainties in this domain.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the local authorities of the villages Schwanden, Hofstetten, Brienz and Brienzwiler as well as the Civil Engineering Office of the Canton Bern for the patronage and their support in the project.

REFERENCES

- Bauer W. (1971). Die Brienzer Wildbäche, Internationale Forschungsgesellschaft interpraevent.
- Berndt E. (1996). Zur Druck- und Schubfestigkeit von Mauerwerk – experimentell nachgewiesen an Strukturen aus Elbsandstein, Bautechnik, 73, Heft 4.
- BWW, BRP & BUWAL (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): www.bafu.admin.ch/publikationen.
- Deere D.U., Miller R.P. (1966). Engineering classification and index properties for intact rock, University of Illinois, Technical Report No. AFWL-TR-65-116.
- Egli T. (2006). Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (2nd edition), Bern.
- Iverson R.M. (2005). Debris flow mechanics, in: Debris-flow hazards and related phenomena, Ed.: Jakob, M, & Hungr, O.; Springer-Verlag.
- Kister B., Zimmerli B., Fellmann W. (2008). Über die Problematik einer systematischen Bewertung des Zustandes von älteren Stützbauwerken aus Natursteinmauerwerk, 6. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Technische Akademie Esslingen.
- LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002). Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg – Hydraulische Berechnung von Fliessgewässern.
- McArdell B.W., Bartelt P., Kowalski J. (2007). Field observation of basal forces and fluid pore pressure in a debris flow, Geophys. Res. Letters, Vol. 34.
- OIK: Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, CH-3601 Thun.
- PLANAT (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen, Projekt A 3, Schlussbericht 2. Phase, Testversion Dezember 2008, Umsetzung des Aktionsplanes PLANAT 2005-2008.
- Rudolf-Miklau F., Agerer H. (2007). Lebensbezogenes Management für Schutzmaßnahmen der Wildbach und Lawinenverbauung: Strategische und praktische Dimension. Wildbach und Lawinenverbau, Heft 155, 71. Jahrgang, Juni 2007, 30 – 42.
- WSL: http://www.wsl.ch/fe/lms/prozesse/murgang/videos/index_DE
- Zimmermann M. (2006). Prognose von Murganggefahren: Wie sicher ist sie? Bull. angew. Geol., Vol. 11/2: p. 65-73.

LA FIABILITE DES DISPOSITIFS DE PROTECTION ACTIVE CONTRE LES AVALANCHES

LA CARACTERISATION DU SUR-ALEA A PARTIR DE L'EXPERIENCE FRANÇAISE

Olivier Marco¹

RESUME

Cet article est une contribution aux débats actuellement en cours en France sur la constructibilité à l'aval des ouvrages de protection. Il porte sur la possibilité qu'un dispositif de protection active contre les avalanches (DPAA) (hors travaux de terrassement et reboisement) puisse aggraver l'aléa historiquement connu. Cette réflexion se base sur une enquête de terrain réalisée en 2010-2011 par les services RTM sur l'ensemble des départements français de Haute Montagne. Dans un seul cas, le dysfonctionnement d'un DPAA semble avoir permis l'occurrence d'une avalanche plus importante que celle historiquement connue sur ce site, avant qu'il soit équipé. L'aggravation de l'aléa suite à un dysfonctionnement d'un DPAA ne peut donc être écartée. Mais, même s'ils ne sont pas à l'origine d'avalanches exceptionnelles, les dysfonctionnements de DPAA, le plus souvent dus à une mauvaise conception ou à un entretien insuffisant, sont beaucoup plus préoccupants.

Mots-clés: avalanche, risque naturel, ouvrage de protection

ABSTRACT

This article is a contribution to the ongoing debate in France regarding the granting of building permits below natural hazard protection structures. It concerns the possibility of an Avalanche Active Protection Structure (AAPS) (excluding earthworks (terracing) and reforestation) actually increasing the hazard. It is drawn from a survey among all the RTM departments (officials departments in charge of the Restoration of French Mountain Territories). In only one very particular case, it would seem probable that the failure of the structure enabled a far larger avalanche to develop than would have occurred on the site if it had not been equipped in that way. An aggravation of the hazard as a result of an AAPS malfunction cannot be completely ruled out. But, even without an aggravation, malfunctions, which are most often linked to mistakes in the design and installation of the structures, as well as to a lack of upkeep, are more worrying.

Keywords: avalanche, natural hazard, avalanche protection structures

INTRODUCTION

En France, la constructibilité à l'aval d'un dispositif de protection contre les risques naturels est soumise à des prescriptions très strictes et nécessite, en dehors de la prise en compte des contraintes socio-économiques et environnementales une bonne connaissance de la fiabilité des ouvrages.

Celle-ci repose, pour l'ensemble des ouvrages de protection contre les risques naturels sur les trois principes suivants :

1. Le dispositif a un gestionnaire bien identifié qui en assure le bon entretien

¹ Dr. Olivier Marco/ Délégation nationale risques naturels et RTM de l'Office National des Forêts , direction technique RTM, France

2. Les caractéristiques techniques de l'ouvrage correspondent bien à " l'aléa de projet » pour lequel il a été conçu ; cet aléa de projet peut être différent de l'aléa de référence pris en compte éventuellement au niveau des enjeux à protéger (habitations, infrastructures, réseaux divers ...)
3. L'augmentation de l'aléa éventuellement générée par un dysfonctionnement possible du dispositif est évaluée.

Le respect du premier principe est déjà une forte contrainte. Un inventaire des dispositifs de protection active contre les avalanches ou DPAA (figure 1 ; la protection active intervient sur la genèse du phénomène; la protection passive limite ses effets) réalisé en France indique que plus de 10 % des maîtres d'ouvrages n'ont pu être identifiés et que seuls 54 % de ces dispositifs font l'objet d'un suivi régulier (Segel, 2011).

Le second principe est également une contrainte importante. Compte tenu de l'évolution des connaissances, le dispositif peut ne plus correspondre à l'aléa de projet initialement retenu et il devient nécessaire d'en définir "l'aléa nominal" (correspondant aux caractéristiques des ouvrages). De même l'aléa de référence pris en compte pour autoriser la constructibilité à l'aval évolue avec les réglementations du zonage des risques naturels conduisant souvent à un accroissement de l'écart avec l'aléa nominal et avec l'aléa de projet.

Le troisième principe est directement issu de la sécurité des ouvrages hydrauliques et il a été extrapolé aux autres types d'ouvrages de protection contre les risques naturels sans une véritable réflexion préalable. Ainsi, en 2009, l'autorisation d'un permis de construire à l'aval d'un dispositif de protection active contre les avalanches a été subordonnée à la prise en compte des effets aggravants. Or, s'il n'est déjà pas toujours aisé de comprendre et de quantifier les effets aggravants dus à la rupture d'un barrage hydraulique, c'est encore plus complexe pour un dispositif de protection active contre les avalanches. Le présent article tente d'apporter quelques éléments de réflexion autour de ce débat sur les effets négatifs possibles de tels dispositifs.



Fig. 1 Dispositif de protection active contre les avalanches

Fig. 1 Avalanche active protection structure

AUGMENTATION DE L'ALEA DUE A UN DISPOSITIF DE PROTECTION : LA NOTION DE "SUR-ALEA"

La notion d'aléa accru suite à la défaillance d'un ouvrage est très courante en cyndinique et plus particulièrement dans le domaine de l'hydraulique. La rupture d'un barrage peut effectivement être à l'origine d'un aléa exceptionnel qui n'aurait pu se produire en l'absence de cet ouvrage. De tels évènements ont déjà été observés dans le passé et ont parfois été à l'origine de grandes catastrophes. En 1959, la rupture d'un barrage hydraulique à Malpasset en France provoquait la mort de 423 personnes. Les phénomènes correspondants commencent aujourd'hui à être cernés sur le plan scientifique et peuvent faire l'objet d'une description tant qualitative que quantitative.

Cette notion est-elle transposable telle qu'elle aux DPAA ?

Elle a été introduite pour la première fois dans une version provisoire du guide méthodologique pour la réalisation des Plans de Prévention contre les Risques naturels (PPR) dédié aux avalanches. Elle recommandait « *d'apprécier l'absence d'effets aggravants dus à un effet de seuil concernant les filets et râteliers qui seraient, dans certaines conditions exceptionnelles, recouverts par la neige (Figure 2), ce qui peut déboucher sur des avalanches plus volumineuses que lorsque les purges sont naturelles* ». Mais il reste à définir ce que l'on entend par effets aggravants pour un ouvrage dont la vocation est de protéger. Pour une digue de déviation par exemple, renvoyer une avalanche exceptionnelle vers une habitation pour en protéger une dizaine d'autres peut-il être considéré comme un effet aggravant ? Certains auteurs évoquent les effets négatifs d'un dispositif de protection (Margreth et Romang, 2010). Mais cette notion englobe de nombreux aspects qui ne se limitent pas à l'aggravation de l'aléa. C'est pourquoi nous privilégions la notion de "sur-aléa" : augmentation provoquée par l'ouvrage de l'intensité du phénomène en un point donné et pour un aléa donné. Une telle définition du sur-aléa peut ainsi s'appliquer aussi bien aux ouvrages de protection dite active (empêcher l'occurrence du phénomène) que passive (limiter les effets indésirables du phénomène en le déviant, le freinant ou l'arrêtant par des ouvrages).

Dans le cas des DPAA, pouvoir préciser le sur-aléa c'est pouvoir répondre à la question suivante : la défaillance du dispositif peut-il provoquer une avalanche plus importante que celle qui, dans les mêmes conditions nivo-météorologiques aurait pu se produire en l'absence de ces ouvrages de protection.



Fig. 2 Filets paravalanches surchargés
Fig. 2 Overloaded avalanche protection nets

Cette question correspond à trois interrogations successives : (a) Le DPAA favorise-t-il l'occurrence d'une accumulation de neige naturellement improbable sur un tel site en absence d'équipements ? Et dans ce cas : (b) Une défaillance du dispositif peut-il favoriser l'occurrence d'une avalanche d'une intensité plus importante que celle de l'avalanche de projet pour lequel le dispositif a été mis en place ? (c) Quelle est la probabilité de l'occurrence surcharge + défaillance qui permettrait de pleinement qualifier l'aléa correspondant ?

Comme pour la plupart des questions relatives aux risques naturels, les réponses apportées sont issues de travaux scientifiques et/ou de l'observation de terrain. De telles interrogations peuvent sembler d'un intérêt marginal. Dans l'attente de réponses théoriques claires, il suffirait en effet de limiter la mise en place de DPAA. Toutefois, il ne faudrait pas que ce principe de précaution, justifié par un manque de connaissances, conduise à se tromper d'objectifs :

- En se méfiant d'un type de dispositif de protection qui a fortement contribué au développement économique des Alpes et, surtout, qui a fait ses preuves lors d'épisodes catastrophiques en particulier celui de 1999 (Cassayre, 2001) et comme l'ont confirmé les scientifiques et praticiens européens en charge des risques naturels en montagne lors d'un colloque à Galtür (Wildbach- und Lawinenverbau, 2009). En France, la mise en place de tels dispositifs a fortement chuté à partir des années 1990 (Segel, 2011). On ne peut dire si cette diminution est due à la fin du plan neige d'équipement de la montagne ou à la mise en place progressive des PPR dont l'un des objectifs est de limiter les enjeux dans les zones exposées.
- En se trompant de priorité. Comme pour les ouvrages hydrauliques, c'est surtout et avant tout l'incertitude sur la pérennité de ces dispositifs qui peut, à terme, poser de graves problèmes vis-à-vis des enjeux protégés actuellement.

PEUT-ON APPORTER UNE REPONSE SCIENTIFIQUE ?

A la date de cet article, une réponse n'existe pas encore. Le travail correspondant serait important.

En effet :

- pour répondre à la première interrogation, il faudrait caractériser chaque type de site (inclinaison, rupture de pente, nature du sol ...)
- Pour répondre à la seconde question, il faudrait étudier plus en détail le comportement du manteau neigeux et sa faculté à se remobiliser compte tenu de sa rhéologie qui fluctue fortement dans le temps et dans l'espace
- La réponse à la troisième question dépend des conditions nivo-météorologiques exceptionnelles mais également de la conception du dispositif et des propriétés mécaniques de ses éléments. Si une réponse peut être apportée sur la probabilité d'occurrence d'une surcharge exceptionnelle, il sera difficile de cerner celle de la défaillance du dispositif.

DE TELS EVENEMENTS ONT-ILS DEJA ETE OBSERVES ?

Lorsque les connaissances scientifiques ne peuvent apporter une réponse, l'accidentologie des dispositifs de protection peut apporter quelques éléments surtout si elle porte sur une période et un nombre d'ouvrages importants. Cette approche est maintenant systématique pour les études de danger des ouvrages hydrauliques et peut être précieuse pour cerner la probabilité d'occurrence d'un sur-aléa. Elle a été récemment utilisée pour les ouvrages de correction torrentielle sur plus de 10 000 ouvrages répartis sur plus de mille sites (Boncompain, 2011).

La protection active paravalanche existe également depuis très longtemps (Zuanon et Meffre, 2006). Les premiers ouvrages de génie civil apparaissent vers la moitié du XIX^{ème} siècle mais c'est depuis le début de l'aménagement touristique de la montagne dans les années 50 que ces dispositifs se sont multipliés. Plus de 1 000 km de filets, claies ou râteliers ont été installés sur l'ensemble des Alpes et des Pyrénées.

Nos collègues européens semblent avoir une plus grande expérience que la nôtre sur la fiabilité de ces dispositifs. Ainsi, pour l'établissement des cartes de dangers, les recommandations suisses prennent en compte la présence des DPAA en prenant en compte une hauteur de neige moins importante qu'en absence d'ouvrage et une fréquence moins élevée. Il est clair que cette pratique, montre que la notion de sur-aléa dû à la présence d'un DPAA n'est pas prise en compte. Nous verrons plus loin comment peut être fondée cette position.

En France, seuls 80 km de tels ouvrages répartis sur 303 dispositifs ont été mis en place. A partir de ce parc d'ouvrages, certes limité au regard de celui d'autres pays européens, il a été décidé toutefois d'analyser les dysfonctionnements observés depuis les années 1950. Il a pu être établi que plus de

quarante dispositifs avaient connu un dysfonctionnement et qu'il existait des incertitudes sur une cinquantaine d'autres dispositifs (Segel, 2011).

Les principaux dysfonctionnements observés (hors destruction par chutes de blocs) sont les suivants :

1. une avalanche prenant naissance hors du dispositif parcourt le site équipé, avec ou sans conséquences pour les ouvrages
2. une rupture du manteau neigeux entre 2 lignes d'ouvrages provoque un écoulement. L'avalanche peut ou non endommager les ouvrages situés à l'aval
3. La rupture de certaines pièces des ouvrages est provoquée par les fortes contraintes exercées par le manteau neigeux, favorisant le départ d'une avalanche
4. La couche de neige située au-dessus du dispositif submergé par une chute de neige exceptionnelle se met en mouvement avec ou sans dégâts sur les lignes inférieures
5. La neige très sèche se met en mouvement et s'écoule à travers le dispositif le plus souvent sans conséquence sur les ouvrages.

Dans pratiquement tous les cas, le dysfonctionnement n'a pas donné lieu à des avalanches plus importantes que toutes les avalanches historiques connues. Toutefois, dans un seul cas, à la Grande Torchère (Haute Savoie) , un sur-aléa est probablement survenu. Avant d'analyser plus en détail ce cas particulier, ces observations de terrain amènent les commentaires suivants :

a) Pour les points 1, 2 et 3, la plupart des cas relèvent de dispositifs qui pourraient être qualifiés de non fiables :

- Conception / dimensionnement non adaptés à l'avalanche de projet (lignes trop espacées par exemple ou matériel défectueux ; figure 3)
- Avalanche de projet prise en compte trop ponctuelle dans le site considéré (tous les panneaux déclencheurs, à proximité immédiate ou non du site considéré, n'ont pas été traités. Or il est fréquent d'observer qu'on déplace la zone de départ d'une avalanche en stabilisant sa zone de départ dite historique
- Mise en oeuvre non satisfaisante souvent à l'origine de défaillance du dispositif (rayon de courbure minimal des câbles non respecté, orientation des ancrages ...)

Le plus souvent, des compléments ont peu à peu été apportés aux dispositifs qui ont dysfonctionné, pour arriver à des dispositifs jugés aujourd'hui comme fiables. Le cas le plus exemplaire est celui du DPAA domanial de Barèges dont la mise en place s'est étalée sur plus d'un siècle (Zuanon et Meffre, 2006)

Toutefois, la pérennité de quelques DPAA pose encore question liée à une maintenance insuffisante, parfois trop difficile à assurer suite à des conceptions et une mise en oeuvre qui seraient considérées aujourd'hui comme non satisfaisantes compte tenu des connaissances actuelles.



Fig. 3 Pièce d'ancrage défectueuse
Fig. 3 Faulty piece of an anchoring

b) Pour les points 4 et 5, la question ne devrait pas se poser au niveau de la fiabilité du dispositif mais sur la cohérence entre avalanche de projet retenue pour le dimensionnement du dispositif et avalanche de référence prise en compte pour la protection des enjeux situés à l'aval.

LE DPAA DE LA GRANDE TORCHERE

Caractéristiques du dispositif

Mis en place en 1980 pour protéger le domaine skiable de la Combe de la Torchère (Station de la Clusaz), ce DPAA a pour avalanche de projet les petites coulées de redoux fréquentes en cours de saison. Historiquement, certaines ont atteint des skieurs sur la piste de ski. Ces avalanches de neige très humide, difficiles à déclencher artificiellement sont très fréquentes dans cette zone de départ située à proximité de la crête et constituée d'une dalle très pentue. (entre 80 et 100% d'inclinaison : figure 4). Les autres panneaux déclencheurs, la plupart de très grande taille, menaçant la combe de la Torchère (CLPA n°18) sont purgés par déclenchement préventif.

Ce DPAA, constitué de 63 ml de filets disposés en 3 lignes est régulièrement entretenu.



Fig. 4 Filets paravalanches sur dalles inclinées

Fig. 4 Avalanche protection nets on inclined flagstones

Rupture du dispositif :

Au printemps 2001, la ligne amont de filets a cédé en son milieu suite à une rupture d'un câble de liaison à l'ancrage amont due à une surcharge du manteau neigeux. [figure 5] Cet affaissement du filet central a favorisé la mobilisation de l'ensemble du manteau neigeux qui a ensuite emporté les 2 autres lignes situées à l'aval. L'avalanche s'est produite après la fermeture du domaine skiable et les dégâts ont été constatés au cours de l'été 2001.



Fig. 5 Rupture de la ligne amont du dispositif

Fig. 5 Break of the first line

Avalanche résultant de la rupture du dispositif :

Le dispositif faisant l'objet d'un entretien régulier, la rupture d'un câble de liaison sur la ligne amont du dispositif amène à penser que la hauteur de neige qui s'était accumulée au cours de l'hiver et retenue par le dispositif était exceptionnelle. Par ailleurs, les caractéristiques du site (dalles lisses très inclinées) ne sont pas favorables au maintien d'une accumulation importante de neige sans dispositif de retenue.

Commentaires :

Ce DPAA est un cas d'école. Le sur-aléa n'a donné lieu à aucun sur-risque. En effet, ce dispositif a été mis en place afin d'éviter que des petites avalanches de redoux, difficiles à déclencher, atteignent des pistes de ski en retenant la neige pendant la période d'ouverture du domaine skiable et en fin de saison, au moment où le dispositif est le plus sollicité. La fermeture des pistes supprime les enjeux menacés et donc le risque.

Il ressort simplement que cet exemple confirme ce que chacun pouvait pressentir, qu'un DPAA peut être à l'origine d'un sur-aléa dans des conditions très particulières telles que des dalles lisses très inclinées, en favorisant une accumulation anormale de neige en empêchant les purges régulières tout au long de l'hiver.

Par contre l'étude réalisée ne permet pas d'approcher la probabilité d'occurrence d'un tel événement dans des conditions topographiques similaires. Seuls 12% des dispositifs recensés concernent des sites rocheux avec des pentes souvent inférieures. Et cette probabilité qui est corrélée à celle du dysfonctionnement d'un DPAA dépend largement des produits utilisés et surtout de la qualité de leur mise en place sur le site.

CONCLUSION

En l'absence de tout résultat de travaux scientifiques, il devenait nécessaire d'apporter des éléments de réflexion aux experts chargés de répondre, au cas par cas, si un DPAA pouvait être une source d'aggravation du risque pour les enjeux qu'il protège.

En se limitant à l'expérience acquise en France, il apparaît :

- Qu'aucune catastrophe (morts ou destructions d'habitations) n'a jamais été provoquée en France par un sur-aléa dû au dysfonctionnement d'un DPAA. Ce qui n'est pas le cas par exemple des ouvrages de protection passive contre les avalanches comme à Tacconnaz par exemple, en 1988 pour lequel les pouvoirs publics ont été condamnés.
- Que l'occurrence d'un sur-aléa dû au dysfonctionnement d'un DPAA, intellectuellement envisageable mais souvent nié sur le terrain par manque de preuves, est effectivement possible puisque observé et qu'il est donc nécessaire de l'évoquer pour certaines zones de départ.
- Que le risque lié à un sur-aléa d'un DPAA construit dans les règles de l'art reste infiniment moins probable que celui lié à une avalanche, certes non exceptionnelle, donc ne pouvant être qualifiée de sur-aléa, mais dont le départ n'a pu être empêché par un DPAA mal conçu, mal installé et surtout mal entretenu. Ce dernier point est d'autant plus important que les filets paravalanches, nécessitant un entretien suivi, ont été privilégiés ces dernières décennies compte tenu de leur faible impact visuel. Et cette probabilité pourrait être encore fortement diminuée si cette possibilité de sur-aléa était envisagée dès les premières réflexions sur la pertinence d'une protection par un DPAA dans certains cas très particuliers en fonction de la nature des zones de départ et des enjeux à protéger.

Compte tenu de l'existence en Suisse de directives fédérales sur la conception des dispositifs de protection contre les avalanches (projet Planat) et d'une organisation permettant le suivi des dispositifs, il n'est donc pas surprenant que les DPAA puissent être pris en compte dans le zonage des cartes de dangers. A contrario, en France, dans l'attente des résultats des réflexions actuellement en cours, les consignes nationales recommandent que ces dispositifs ne soient pas pris en compte lors de l'élaboration des PPR.

REFERENCES

- Boncompain I. (2011). Accidentologie des ouvrages hydrauliques RTM et retour d'expériences Rapport établi par l'ONF/RTM à la demande du Ministère en charge de l'Ecologie (convention SU 0007323 d'avril 2010).
- Margreth S., Romang H. (2010). Effectiveness of mitigation measures against natural hazards Cold Regions Science and Technology 64: 199-207.
- Segel V. (2011) Synthèse de l'inventaire des dispositifs paravalanche en France. Rapport établi par l'ONF/RTM à la demande du Ministère en charge de l'Ecologie (convention SU 0007323 d'avril 2010).
- Zuanon J.P., Meffre J.F. (2006). Barèges : quatre siècles de lutte contre les avalanches. Neige et Avalanche juin 2006 n°114.

UMGANG MIT LAWINENVERBAUUNGEN AUS STEINMAUERN UND MAUER TERRASSEN

PRAXISANLEITUNG FÜR OPTIMALE ERHALTUNGSSTRATEGIEN

Stefan Margreth¹ und Reto Baumann²

ZUSAMMENFASSUNG

Alte Lawinenverbauungen bestehen oft aus Steinmauern und Mauerterrassen. Auf Grund ihres Alters ist ihr Zustand heute vielerorts schlecht. Weil ihre Wirkung gegen das Anbrechen von Lawinen meist nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht, stellt sich die Frage, ob sie noch in Stand gesetzt werden sollen, oder ob ein Rückbau und Ersatz mit modernen Stützwerken besser ist. Um die Praxis bei der Evaluation der im konkreten Einzelfall zu wählenden Erhaltungsstrategie und durchzuführenden Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen zu unterstützen, wurde ein Leitfadens ausgearbeitet, der hier vorgestellt wird. Das Verfahren ermöglicht die Bewertung von möglichen Erhaltungsstrategien basierend auf einer Wirkungsanalyse, der Untersuchung möglicher Massnahmenvarianten und der Beurteilung der Risikoreduktion, der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit.

Keywords: Lawinenverbau, Steinmauer, Mauerterrasse, Instandsetzung

ABSTRACT

Old avalanche control structures often consist of stone walls and masonry terraces. Due to their long service life, the walls and terraces are in many locations in poor condition. Because their effect in preventing avalanche release no longer meets the current technical requirements, the question arises as to whether such structures should be repaired or whether it would be better to dismantle them and replace them with modern snow supporting structures. In order to support the practice with the selection of the best maintenance strategy and measures in a release area with existing stone walls and earth terraces, a manual was prepared, which is introduced here. The manual allows the evaluation of possible maintenance strategies based on an analysis of the effectiveness, the investigation of possible structural measures and an evaluation of the risk reduction, the economy and the sustainability.

Keywords: avalanche control, stone wall, masonry terrace, maintenance

EINLEITUNG

In der Schweiz gibt es in Lawinenanrissgebieten gegen 1000 Kilometer Steinmauern und Mauerterrassen (Frutiger 1972). Sie wurden mehrheitlich im Zeitraum zwischen 1890 und 1940 gebaut. Diese Schutzwerke waren damals «state of the art» (Hess 1936). Lawinenverbauungen bestehend aus Steinmauern und Mauerterrassen wurden in vielen Gebieten der Schweiz erstellt. Ab 1940 wurden sie durch gegliederte Stützwerke in der Form von Stahlschneebrücken oder Schneenetzen abgelöst (Rudolf-Miklau und Sauer Moser (Ed.) 2011). Gegliederte Stützwerke wurden oft auch in Verbauungen mit Mauern integriert, um deren Wirkung zu erhöhen. Wegen der langen Nutzungsdauer ist der Zustand der Mauern heute vielerorts schlecht. Es besteht ein grosser Erhaltungsbedarf. Zurzeit gibt es jedoch keine einheitliche Strategie, ob resp. wie solche

¹ Stefan Margreth, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, CH-7260 Davos, Schweiz (e-mail: margreth@slf.ch)

² Reto Baumann, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abt. Gefahrenprävention, CH-3003 Bern, Schweiz

Verbauungen unterhalten werden sollen. Die Sanierung von Mauern ist sehr kostspielig. Ihre Wirkung insbesondere für den Siedlungsschutz entspricht meist nicht mehr den heutigen Anforderungen der «Technischen Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet» (Margreth 2007). Zusätzlich können einstürzende Mauern wieder selber eine Gefahrenquelle darstellen. Der Unterhalt von Steinmauern ist meist nicht nachhaltig. Um die Praxis in diesem Thema zu unterstützen, wurde die Anleitung «Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrasse» (Margreth und Blum 2011) herausgegeben.

STÜTZVERBAUUNGEN MIT STEINMAUERN UND MAUER TERRASSEN

Steinmauern und Mauerterrassen sind sogenannte massive Bauwerke, das heisst Bauwerke ohne durchbrochene Flächen. Meist wurde das an Ort und Stelle vorhandene Material wie Steine und Erde für den Bau verwendet. Die maximalen Mauerhöhen betragen bis 9 m. Bei Steinmauern handelt es sich um sogenannte Schwergewichtsmauern. Die Einwirkungen infolge von Schneedruck, Lawinenaufprall, Wasserdruck oder Erddruck und das Eigengewicht der Mauer stehen im Gleichgewicht mit der Reaktionskraft am Fundament resp. dem Tragwiderstand des Mauerwerkes. Die Stabilität ist insbesondere von der Dicke der Mauer und der Fundamentbreite abhängig (SIA 1996). Es werden die folgenden Werktypen unterschieden (Fig. 1):

- Freistehende Steinmauer: die doppelhäuptige Mauer ist im Gelände freistehend. Die Vorderseite weist typischerweise einen Anzug von 1:5 auf, die Rückseite wird senkrecht ausgebildet. Die Kronenstärke beträgt ca. 0.6–0.8 m.
- Hinterfüllte Steinmauer: die Mauer weist bergseitig eine schräge Anschüttung auf, um das Mauerwerk vor Verwitterung, Steinschlag und Lawinenaufprall zu schützen.
- Mauerterrasse: die Mauer weist bergseitig eine horizontale Anschüttung auf. Seit ca. 1910 wurden mehrheitlich Terrassen gebaut, da sie auch billiger waren.

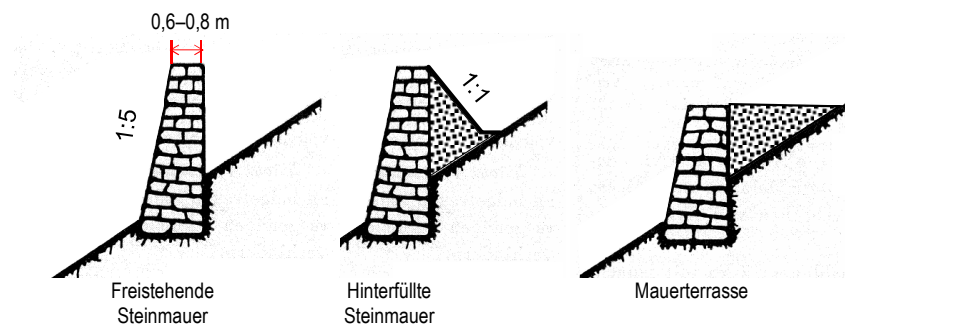


Fig. 1 Definition der verschiedenen Mauertypen

Fig. 1 Definition of different wall types

Steinmauern und Mauerterrassen zeigen als Lawinenschutz erfahrungsgemäss eine ungenügende Wirkung, weil insbesondere die Werkhöhe für extreme Lawinensituationen zu klein ist. Massive Werke sind zusätzlich infolge von Tribschneeansammlungen bedeutend schneller hinterfüllt als gegliederte Stützwerke, was die Bildung von Oberlawinen begünstigt. Das Rückhaltevermögen ist im Vergleich zu gegliederten Stützwerken kleiner (Roch und Sommerhalder 1960). Wegen ihrer ungenügenden Wirkung wurden Verbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen nachträglich oft mit Stützwerken zwischen respektive auf den Mauern oder Schneehägen ergänzt (Fig. 2). Mauern wurden mehrheitlich als aufgelöste Verbauung erstellt. Eine solche Anordnung entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen, die an eine Stützverbauung gestellt werden. Die Werkabstände in der Falllinie wurden in Funktion der Terrassenbreite resp. der Hangneigung bestimmt, die Schneehöhe wurde nicht berücksichtigt. Die Werkabstände von Mauern in der Falllinie sind im Vergleich zur «Technischen Richtlinie» (Margreth 2007) oft zu gross.

Schon früh wurde erkannt, dass das Fundament sowie das fachgerechte Ableiten des Hangwassers einen grossen Einfluss auf die Stabilität einer Mauer haben. Bei günstigen Standorten und Umweltbedingungen können sich Mauern auch nach einer Nutzungsdauer von 100 Jahren in einem guten Zustand befinden. Häufig befinden sich die Bauwerke jedoch am Ende ihrer Nutzungsdauer:

Steine sind gebrochen, sowie Auflockerungen und Deformationen treten auf. Ohne Unterhalt können Steinmauern oder Mauerterrassen zerfallen und Steinschlag auslösen. In der Vergangenheit wurden in vielen Verbauungen Mauern nach unterschiedlichen Methoden saniert (Stiftung Umwelteinsatz Schweiz 1996), vereinzelt auch rückgebaut. Meistens wurden nur einzelne, sanierungsbedürftige Mauern wieder in Stand gestellt. Erhaltungsstrategien für gesamte Verbauungen wurden nur selten erstellt. Der Unterhalts- und Instandsetzungsbedarf wird in den nächsten Jahren ansteigen, da viele Mauern ihre Nutzungsdauer erreichen.

METHODIK FÜR DIE EVALUATION VON ERHALTUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHEN BAULICHEN MASSNAHMEN AN MAUERN

Die «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) enthält ein Beurteilungsschema (Fig. 3) mit dem mögliche Erhaltungsstrategien und Unterhaltsmassnahmen bei Anrissverbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen bestimmt werden können. Das strukturierte Vorgehen, das mehrheitlich auf bisherigen Erfahrungen aufbaut, ermöglicht eine schrittweise Analyse und eine umfassende Massnahmenevaluation. Wichtige Grössen in der Beurteilung sind die Standortbedingungen, die Verbauungsart, die erwartete Wirksamkeit, sowie mögliche negative Wirkungen, die von den Mauern ausgehen können. Zum Schluss wird unter Berücksichtigung der erwarteten Wirksamkeit resp. Risikoreduktion, Kostenbetrachtungen, sowie natur- und landschaftsschützerischen Aspekten die zweckmässigste Erhaltungsstrategie resp. Massnahme festgelegt. Im Folgenden werden die verschiedenen Schritte aufgezeigt.

SCHRITT 1: VORARBEITEN

Zuerst verschafft man sich einen Überblick über die Verbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen und die Lawinensituation. Die erforderlichen Grundlagen über die Verbauung umfassen Faktoren wie Werktyp, Werkhöhe, Baujahr, Position der Werke und Bewährung der Verbauung. Bei der Lawinen- und Schneesituation sind u.a. die Topographie, das Klima und die Geologie zu betrachten. Der Verbauungstyp (Fig. 2) ist für die spätere Herleitung von möglichen bautechnischen Massnahmen von Bedeutung. Verbauungen mit Steinmauern und Mauerterrassen wurden später oftmals mit Stützwerken oder Schneehägen ergänzt, teilweise sind sie in der Zwischenzeit im Wald eingewachsen. Ist eine Zuordnung zu einem Verbauungstyp nicht möglich (z.B. Lawinenablenkmauer), ist eine Beurteilung mit dem Schema nicht möglich.

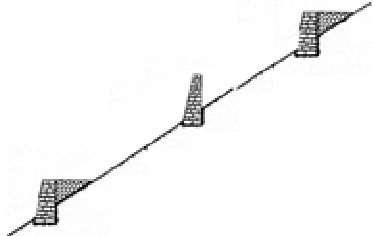
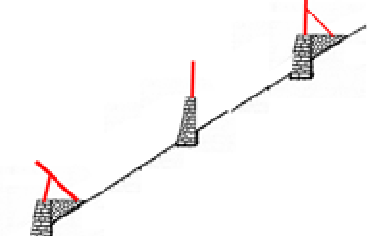
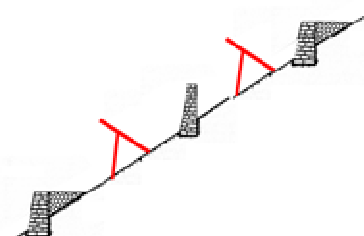
Typ 1: Steinmauern und Mauerterrassen <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung nur durch Mauern evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet. • Anordnung und Werkhöhe meist nicht richtlinienkonform, Wirkung gegen Lawinenanbrüche oft ungenügend. • Gewisse Schutzwirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten. 	Typ 2: Steinmauern und Mauerterrassen kombiniert mit Stützwerken <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung durch Stützwerke und Mauern evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet. • Werkhöhe oft genügend. • Stützwerke und Mauern bilden ein zusammengesetztes System: Schäden an Mauern gefährden Wirkung Verbauung. 	Typ 3: Steinmauern und Mauerterrassen ergänzt mit Stützwerken <ul style="list-style-type: none"> • Schutzwirkung insbesondere durch Stützwerke evtl. zusätzlich durch Wald gewährleistet • Stützwerke meistens richtlinienkonform errichtet
		

Fig. 2 Verbautypen und Merkmale. Die Verbautypen können auch mit Wald kombiniert sein.

Fig. 2 Structure type and characteristics. The different types can be combined with forest.

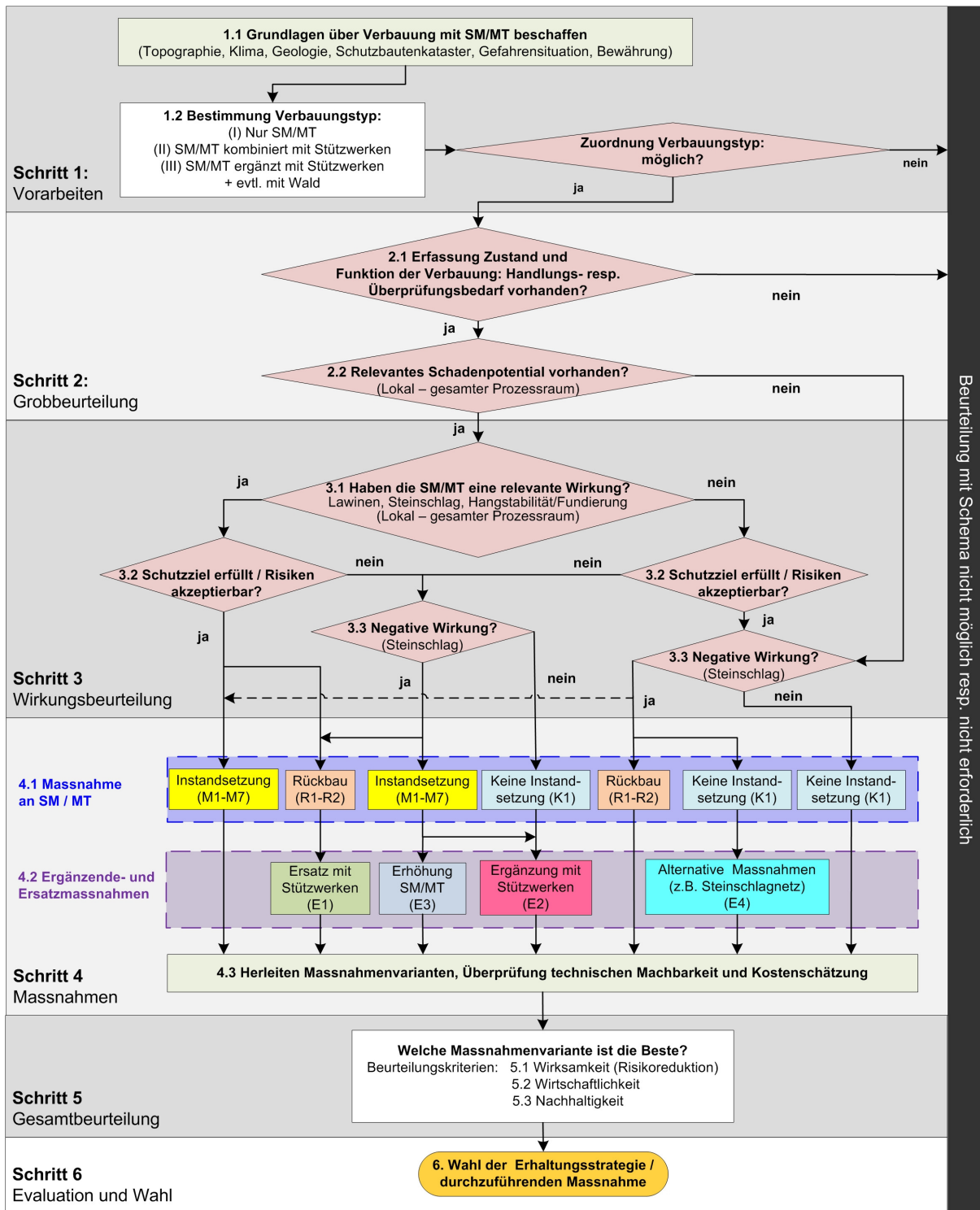


Fig. 3 Beurteilungsschema für die Evaluation von Erhaltungsstrategien und durchzuführenden Massnahmen an Verbauungen mit Steinmauern (SM) und Mauerterrassen (MT)

Fig. 3 Flowchart for the evaluation of maintenance strategies and measures to be accomplished for release areas with stone walls (SM) and earth terraces (MT)

SCHRITT 2: GROBBEURTEILUNG

Generell besteht ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf, wenn der Zustand der Mauern nicht mehr einwandfrei ist oder wenn die Funktion der Verbauung nicht mehr genügt, um das gegenwärtige

Schutzziel zu erreichen. Eine intakte Mauer erkennt man insbesondere an einer korrekten Geometrie, einer intakten Mauerkrone und einer unversehrten Oberfläche (keine fehlenden Steine). Schäden an Mauern treten insbesondere durch Verwitterung des Steinmaterials von Mauer und Fundament, bei Entwässerungsproblemen, durch Auflockerung des Steingefüges, bei Steinschlag, sowie bei Deformationen infolge Erddruck oder Geländebewegungen auf. Ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf kann weiter bestehen, wenn die Mauer selber eine Gefahrenquelle darstellt (z.B. Steinschlag) oder wenn sich die Mauern in einem zu bearbeitenden Projektperimeter befinden. Verbauungen mit Mauern sind meistens relativ alt. Das Schadenpotential hat sich seit deren Erstellung meistens verändert. Deshalb ist das aktuelle Schadenpotential zu erheben respektive zu überprüfen. Die Überprüfung hat lokal, das heisst im eigentlichen Verbauggebiet, und im gesamten Beurteilungsperimeter, das heisst auch in der Sturzbahn und im Auslaufgebiet, zu erfolgen. Unter relevantem Schadenpotential versteht man Sachwerte (z. B. Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege oder Stützwerke) und Personen, die durch Naturgefahrenprozesse gefährdet sein können. In den meisten Situationen dürfte relevantes Schadenpotential vorhanden sein und im Ablaufschema wird im nächsten Schritt die vollständige Wirkungsanalyse durchgeführt.

SCHRITT 3: WIRKUNGSBEURTEILUNG

Die Wirkungsbeurteilung ist ein zentraler Teil im Beurteilungsschema (Fig. 2). Die Wirkung wird quantifiziert, indem Intensitätskarten für verschiedene Szenarien mit und ohne Mauern erarbeitet werden. Anschliessend wird beurteilt, ob die vorhandene Wirkung genügend ist, um die Schutzziele zu erfüllen. Allenfalls ist noch zu beurteilen, ob von den Mauern eine negative Wirkung ausgehen kann.

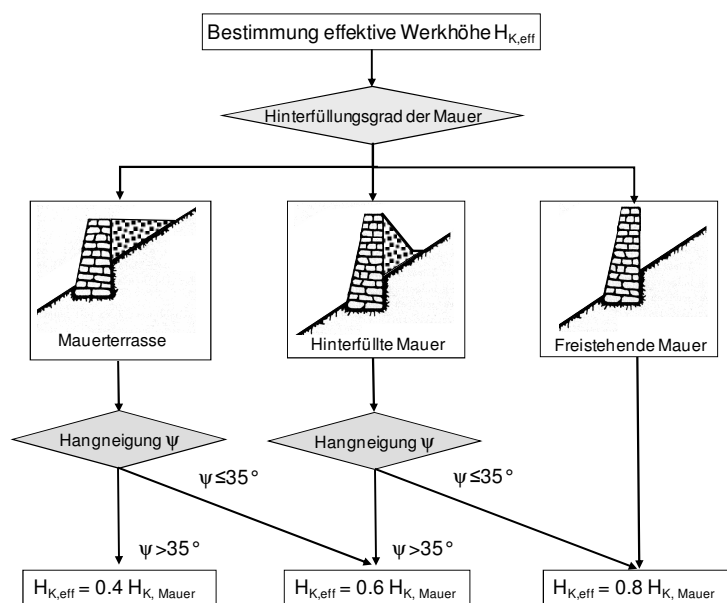


Fig. 4 Bestimmung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ von Mauern
Fig. 4 Determination of the effective structure height $H_{K,eff}$ of walls

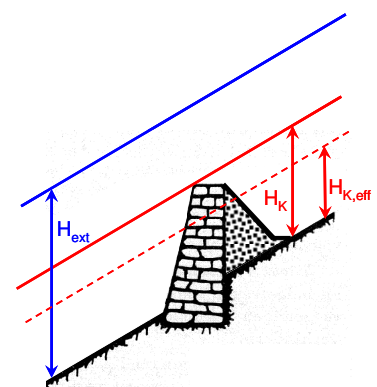


Fig. 5 Definition der Werkhöhe H_K , der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ und der extremen Schneehöhe H_{ext}
Fig. 5 Definition of the structure height H_K , the effective structure height $H_{K,eff}$ and the extreme snowheight H_{ext}

3.1 Überprüfung der Wirkung gegen Lawinen, Steinschlag und Hanginstabilitäten

Bei Mauern ist wegen der oft ungenügenden Werkhöhe meist der Fall des Anbruchs einer Oberlawine massgebend. Im Vergleich zu gegliederten Stützwerken muss bei massiven Mauern eine grössere Anrissmächtigkeit einer Oberlawine erwartet werden. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird die Anrissmächtigkeit einer Oberlawine in Funktion der effektiven Werkhöhe und den effektiven Werkabständen abgeschätzt (Fig. 5 und Tab. 1). Das Verfahren stellt eine Spezifizierung zur Wirkungsbeurteilung nach PROTECT (Romang (Ed.) 2009) dar. Infolge ihrer geschlossenen Bauweise sind Mauern früher eingeschneit als gegliederte Stützwerke. Deshalb wird die Werkhöhe H_K für die Abschätzung der Anrissmächtigkeit in Funktion des Hinterfüllungsgrades der Mauer und der Hangneigung korrigiert (Fig. 4). Die effektive Werkhöhe kann mit einem Vergleich der am

Werkstandort zu erwartenden extremen Schneehöhe H_{ext} beurteilt werden (Fig. 5). Beträgt der Unterschied mehr als 2 m zeigt die Mauer keine relevante Wirkung. Dies ist meist bei Szenarien mit einer Wiederkehrdauer ≥ 100 Jahren der Fall.

In einem nächsten Schritt werden die zwischen den Mauern bestehenden effektiven Werkabstände L'_{eff} mit den Werkabständen gemäss der «Technischen Richtlinie» (Margreth 2007) L' verglichen (Tab. 1). Die Abstände hängen von der effektiven Werkhöhe, dem Gleitfaktor, der Beschaffenheit der Bodenoberfläche und der Hangneigung ab. Bei zu grossen Werkabständen nimmt die Anbruchwahrscheinlichkeit für Lawinen zu.

Tab. 1 Beurteilung der effektiven Werkhöhen $H_{K,eff}$ und der effektiven Werkabstände L'_{eff}

Tab. 1 Evaluation of the effective structure heights $H_{K,eff}$ and the effective slope parallel distances L'_{eff}

Beurteilung Werkhöhe		Kriterium
Absolut ungenügend (--) (Mauer zeigt keine relevante Wirkung).		$(H_{ext} - H_{K,eff}) > 2 \text{ m}$
Ungenügend (-)		$0 < (H_{ext} - H_{K,eff}) \leq 2 \text{ m}$
Genügend (+)		$H_{ext} \leq H_{K,eff}$
Beurteilung Werkabstände		Hangneigung
		$< 40^\circ$ $> 40^\circ$
Ungenügend (-)	$L'_{eff} > 1,25 L'$	$L'_{eff} > 1,15 L'$
Knapp genügend (+/-)	$1,1 L' < L'_{eff} \leq 1,25 L'$	$1,05 L' < L'_{eff} \leq 1,15 L'$
Genügend (+)	$L'_{eff} \leq 1,1 L'$	$L'_{eff} \leq 1,05 L'$

Die Anrissmächtigkeit der Oberlawine $d_{0,R}$ wird schliesslich unter Berücksichtigung der Beurteilung der Werkhöhe und des Werkabstandes in Funktion der Anrissmächtigkeit d_0 (Ausgangswert der Anrissmächtigkeit ohne Verbauung) bestimmt (Tab. 2). Bei unterschiedlichen Werkhöhen und Werkabständen wird empfohlen, die Anrissmächtigkeit der Oberlawine mit Durchschnittswerten für repräsentative Sektoren oder für die gesamte Verbauung festzulegen. Die Bestimmung der Anrissmächtigkeit einer Oberlawine ist für Wiederkehrdauern von weniger als 50 Jahre gemäss diesem Verfahren als eher konservativ einzustufen.

Tab. 2 Bestimmung der Anrissmächtigkeit $d_{0,R}$ einer Oberlawine bei Mauern

Tab. 2 Determination of the fracture depth $d_{0,R}$ of an avalanche which releases above a stone wall

Beurteilung Werkhöhe (Tab. 1)	Beurteilung Werkabstand (Tab. 1)			Anrissmächtigkeit Oberlawine $d_{0,R}$ Natprliche Anrissmächtigkeit d_0	Relevante Wirkung
Genügend (+)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)		$d_{0,R} = 0$	Ja
Genügend (+)	Ungenügend (-)			$d_{0,R} = 0,5 d_0$	Bedingt
Ungenügend (-)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)		$d_{0,R} = H_{ext} - H_{K,eff}$ und $0,5 d_0 \leq d_{0,R} < 0,75 d_0$	Bedingt
Ungenügend (-)	Ungenügend (-)			$d_{0,R} = 0,75 d_0$	Nein
Absolut ungenügend (--)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)	Ungenügend (-)	$d_{0,R} = d_0$	Nein

Neben der Schutzwirkung gegen Lawinen können Mauern auch Steine abbremsen und auffangen. Im Vergleich zu gegliederten Stützwerken sind Mauern in der Regel gegenüber Sturzprozessen etwas weniger schadenempfindlich. Freistehende Mauern sind jedoch gegenüber Steinschlag schadenempfindlich und werden bei Aufprallenergien von mehr als 30 bis 50 kJ beschädigt. Die Schutzwirkung gegen Steinschlag kann durch geologische Beurteilungen evtl. verbunden mit Steinschlagsimulationen gemäss PROTECT (Romang 2009) abgeschätzt werden. Dabei werden Energien und Sprunghöhen ohne und mit Mauern bestimmt. Die Erfahrung zeigt, dass bei Mauern je nach Bauart meist nur bei kleinen Steinschlagereignissen eine Schutzwirkung erwartet werden kann (rollende Steine mit Energien von weniger als 100 kJ). Zu beachten ist, dass die Mauer selber ein Ausbruchgebiet für Steinschlag darstellen kann. Wenn den Mauern nicht mittels Steinschlagsimulationen oder Beobachtungen (Ereigniskataster) ein signifikanter Einfluss bezüglich Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden kann, ist keine relevante Wirkung anzunehmen.

Die Beurteilung, ob Mauern eine relevante hangstabilisierende Wirkung zugesprochen werden kann, muss meist gutachtlich durch einen Vergleich der Hangstabilität an Stellen mit und ohne Mauern erfolgen. Den Mauern kann eine relevante hangstabilisierende Wirkung zugesprochen werden, wenn die Anordnung und Konstruktion den Regeln des Hangverbaus (Böll 1997) entspricht und wenn ohne Mauern nur eine verminderte oder ungenügende Hangstabilität besteht. Bestehen Zweifel an der hangstabilisierenden Wirkung, so ist keine relevante Wirkung anzunehmen. Eine relevante Wirkung als Fundation kann in gemischten Verbauungen vom Typ 2 (Fig. 2) bestehen, wenn die gegliederten Stützwerke auf Mauern fundiert sind.

3.2 Überprüfung von Schutzziel und Risikogrenzwerten

In diesem Teilschritt wird überprüft, ob das Schutzziel erfüllt und die Risiken im Prozessraum akzeptierbar sind oder ob der Schutz verbessert werden muss. Die Risiken können gemäss dem Leitfaden «Risikokzept für Naturgefahren» (Bründl (Ed.) 2009) oder «EconoMe» (BAFU 2010) berechnet werden. Die Risiken werden für den aktuellen Zustand der gesamten Verbauung bestimmt. Kann eine relevante Wirkung der Mauern nachgewiesen werden (vgl. Schritt 3.1), so tragen die Werke zur Erfüllung des Schutzziels resp. zur Senkung der Risiken bei. Werden die Schutzziele resp. die zulässigen Risiken nicht erfüllt, muss die Sicherheit erhöht werden, in dem z. B. ergänzende Massnahmen vorgesehen werden (z. B. Ersatz der Mauern durch gegliederte Stützwerke).



Fig. 6 Steinschlag zerstörte eine Steinmauer und beschädigte weiter unten Stahlschnee-brücken (Photo C. Rönnau)

Fig. 6 Rockfall destroyed a stonewall and damaged steel bridges (Photo C. Rönnau)

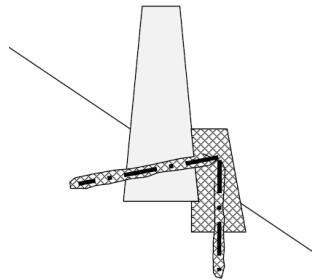


Fig. 7 Mit Betonvorbau sanierte Mauer (Photo S. Margreth)

Fig. 7 Stone wall repaired with a front wall made of concrete (Photo S. Margreth)



3.3 Negative Wirkung von Mauern

Nicht unterhaltene Mauern können instabil werden, was zum Ausbruch einzelner Steine oder zum Einsturz der gesamten Mauer führen kann. Diese Beurteilung ist wichtig, falls keine Massnahmen an der Mauer geplant werden. Durch Steinschlag können einerseits Personen und Objekte im Verbauperimeter, andererseits auch in der Sturzbahn und im Auslaufgebiet gefährdet werden. Wenn die von den Mauern ausgehende Steinschlaggefahr nicht akzeptierbar ist, muss die Mauer unterhalten oder abgebrochen werden oder das Schadenpotential ist z.B. mit einem Damm zu schützen. Gegliederte Stützwerke können durch Steinschlag beschädigt oder zerstört werden. Stahlschneebrücken werden bei Aufprallenergien von mehr als 20 bis 50 kJ beschädigt (Fig. 6) und flexible Schneenetze bei mehr als etwa 100 bis 150 kJ. Es wird empfohlen an Standorten, wo ein relevantes Schadenpotential besteht, die von zerfallenden Mauern ausgehende Steinschlaggefährdung durch ein geologisches Gutachten genauer abzuklären.

SCHRITT 4: MASSNAHMEN

4.1 Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrassen

Die Herleitung von möglichen Massnahmen an Steinmauern und Mauerterrasse hängt von den Resultaten der Schritte 1 bis 3 ab. In der Tab. 3 sind die wichtigsten Instandsetzungsmassnahmen aufgezeigt, um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Mauern wieder herzustellen. Die angegebenen Methoden und Kennwerte beruhen auf praktischen Erfahrungen. Eine 3 bis 4 m hohe

Steinmauer umfasst typischerweise zwischen 3.5 und 4.5 m³ Steine pro Laufmeter Mauer. In der Schweiz werden auffällige Mauern am häufigsten mit Betonvorbauten, einem Umbau in Drahtsteinkörbe und durch verankerte Netzabdeckungen saniert (Fig. 7, 8 und 9).

Tab. 3 Massnahmen, um beschädigte Steinmauern und Mauerterrassen in Stand zu setzen

Tab. 3 Measures to repair damaged stone walls and stone terraces

Massnahme	Beschreibung	Voraussetzungen, Probleme	Kosten, Nutzungsdauer
Ab- und Wiederaufbau	Abtrag der alten Mauer, anschliessend wieder ohne Mörtel aufgebaut. Verwitterte Steine werden ersetzt	Aufwändig und Erfahrung erforderlich	CHF 500-800.- pro m ³ Mauer, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Vermörtelung	Mauer wird durch die Injektion von Mörtel stabilisiert. Deformierte Mauern müssen zuerst abgebaut werden.	Entwässerung muss gewährleistet sein. Mauer verliert Verformungsfähigkeit.	CHF 500-600.- pro m ³ Mauer, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Betonvorbau	Bei defektem Fundament wird ein Betonvorbau angesetzt, der rückverankert werden kann. Oft angewendet.	Mauer darf nicht zu stark deformiert sein. Drainage muss gewährleistet sein.	CHF 600-1500.- pro m ³ Beton, Nutzungsdauer ca. 60 Jahre.
Umbau in Drahtsteinkörbe	Mauer wird abgebrochen und in am Boden fundierte Drahtsteinkörbe umgepackt. Oft angewendet.	Stabiler Baugrund. Nicht geeignet, wenn Stützwerk auf der Mauer steht.	CHF 600-1000.- pro m ³ Drahtsteinkorb, Nutzungsdauer ca. 60 Jahre.
Netzabdeckung mit Verankerung	Steine werden mit einem verankerten Drahtgeflecht stabilisiert. Kein Abbau erforderlich.	Mauer bleibt wasserdurchlässig und flexibel. Mauerfront muss homogen sein.	CHF 500-600.- pro m ² abgedeckte Mauerfront, Nutzungsdauer ca. 80 Jahre.
Rückverankerungen	Mit 4 bis 7 m langen Verankerungen werden ausgebaute Mauer stabilisiert. Distanz zwischen den Ankern: 3 bis 4 m.	Mauer muss stabil und im Bereich der Anker hinterfüllt sein. Einleitung Ankerkräfte kann schwierig sein.	CHF 1100.- pro m ² Mauer, Nutzungsdauer maximal 60 Jahre.
Verkleidung mit Spritzbeton	Mauer wird mit Spritzbeton verkleidet. Für guten Verbund sind Bewehrungsnetze erforderlich. Wird selten eingesetzt.	Drainage problematisch. Reduzierte Deformierbarkeit, nur in stabilem Gelände.	CHF 2000.- pro m ² Mauer, Nutzungsdauer ca. 40 Jahre.

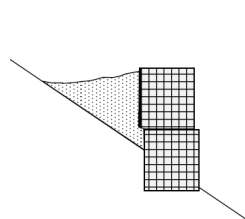


Fig. 8 Umbau von Steinmauern in Drahtsteinkörbe (Photo BLS)

Fig. 8 Repacking of stone walls in gabions (Photo BLS)

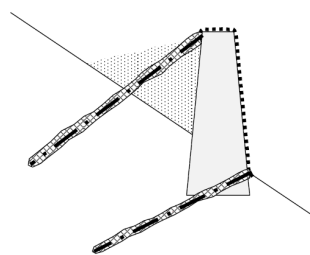


Fig. 9 Steinmauer mit rückverankertem TECCO-Drahtgeflecht (Photo M. Gächter)

Fig. 9 Stone wall stabilized with anchored TECCO steel wire mesh (Photo M. Gächter)

Der Abbruch und Rückbau von Mauern ist dort angezeigt, wo sie sich in einem schlechten Zustand befinden oder wo die Mauern für Ersatzmassnahmen mit gegliederten Stützwerken hinderlich sind. Ein Abbruch und Rückbau kann gut in Etappen erfolgen, indem kontinuierlich die einsturzgefährdeten Mauern abgebrochen werden. Falls möglich werden die Steine in alten Ausbruchstellen, Geländeterrassen oder Geröllfeldern lokal deponiert. Dazu sollte das Gelände nicht steiler als ca. 38° sein, damit Schreitbagger noch eingesetzt werden können. Die deponierten Steine dürfen durch Schnee- und Geländebewegungen nicht mobilisierbar sein. Die Kosten für den Abbruch von Mauern betragen je nach Transportdistanz zum Deponiestandort zwischen CHF 200 und 300.- pro m³ Mauer. Wenn das Gelände zu steil ist für eine lokale Ablagerung der Steine können sie mit dem Hubschrauber wegtransportiert werden. Dies ist insbesondere für kleine Steinkubaturen interessant. Die Kosten hängen stark von der Transportdistanz ab und betragen zwischen CHF 500 und 1000.- pro m³ Mauer. Die kostengünstigste Massnahme ist, wenn die Mauern dem natürlichen Zerfall überlassen werden können. Dies ist jedoch nur möglich, wenn kein Schadenpotential besteht und die Steinschlaggefährdung als Restrisiko akzeptiert werden kann. Erfahrungen haben gezeigt, dass die

Mauern in der Regel langsam und stückweise zerfallen. Durch periodische Kontrollen der zerfallenden Mauern können gefährliche Situationen meist rechtzeitig erkannt werden.

4.2 Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen

Wenn die bestehende Verbauung aus Mauern keinen genügenden Schutz bietet, sind Ergänzungs- und Ersatzmassnahmen erforderlich. Am häufigsten werden die Mauern mit gegliederten Stützwerken ergänzt (Fig. 10). Die Stützwerke werden richtliniengemäss zwischen den Mauern eingebaut. Werden die Mauern nicht unterhalten, muss die Steinschlaggefährdung beurteilt werden. Die Kosten für permanente Stützwerke betragen zwischen CHF 1500 und 2500.- pro Laufmeter Stützwerk. Eine etwas kostengünstigere und insbesondere in der Vergangenheit oft angewendete Methode ist die Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen (Fig. 11). Die Kosten betragen zwischen CHF 1000 und 2200.- pro Laufmeter Schneezäun. Voraussetzung ist, dass der Zustand der Mauer einwandfrei ist. Oft muss ein Betonriegel eingebaut werden, damit die Mauer die zusätzlichen Kräfte aufnehmen kann.

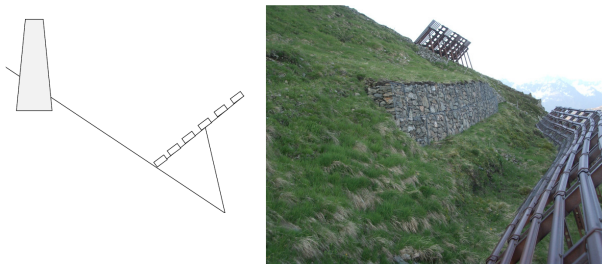


Fig. 10 Mauerterrasse ergänzt mit
Stahlschneebrücken (Photo S. Margreth)
Fig. 10 Stone terrace completed with steel bridges
(Photo S. Margreth)

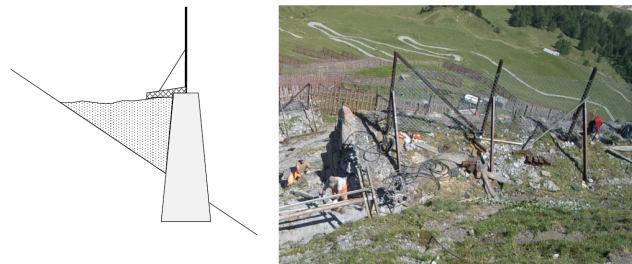


Fig. 11 Steinmauer, die mit einem Schneehag
kombiniert wird (Photo S. Margreth)
Fig. 11 Stone wall combined with a snow fence (Photo
S. Margreth)

4.3: Massnahmenvarianten und Kostenschätzung

Auf der Grundlage der aufgezeigten Massnahmen werden für die zu untersuchende Verbauung mögliche Massnahmenvarianten hergeleitet. Die Art und der Umfang der Massnahmen sind entsprechend dem jeweiligen Verbauungs- und Mauertyp anzupassen. Oft sind Massnahmenkombinationen die optimale Lösung. Die technische Machbarkeit ist anhand der für die verschiedenen Massnahmen aufgeführten Voraussetzungen zu prüfen. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird vorgeschlagen, die Kosten der verschiedenen Varianten mit Verfahren der Lebenszykluskostenanalyse zu bewerten wie zum Beispiel der statischen Kostenvergleichsrechnung. Bei dieser Methode werden die durchschnittlichen jährlichen Kosten auf der Grundlage der jährlichen Unterhaltskosten, der jährlichen Abschreibungskosten und den jährlichen Kapitalkosten berechnet. Die jährlichen Kosten variieren für verschiedene Massnahmenvarianten, da die Investitionskosten und insbesondere die Nutzungsdauer, die Unterhaltskosten und eventuelle Abbruchkosten verschieden sind. Da bei Varianten, wo Mauern zuerst rückgebaut werden, einmalige Abbruchkosten ohne Folgekosten entstehen, müssen diese Kosten zusätzlich berücksichtigt werden. Wir schlagen vor, die einmaligen Abbruchkosten als Investitionskosten mit einer pauschalen Nutzungsdauer von 200 Jahren zu berücksichtigen. In Anlehnung an «EconoMe» (BAFU 2010) können die jährlichen Kosten unter Berücksichtigung von evtl. Abbruchkosten und unter Vernachlässigung von Betriebs- und Reparaturkosten wie folgt berechnet werden:

$$K_j = K_u + \frac{(I_o - L_n)}{n} + \frac{(I_o + L_n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad [\text{CHF/Jahr}] \quad (1)$$

K_j : Jährliche Kosten der Massnahmenvariante [CHF/Jahr]

K_u : jährliche Unterhaltskosten (gemäss Schritt 4) [CHF/Jahr]

I_o : Investitionskosten (Kosten für Instandsetzungs-, Ergänzungs-, Ersatzmassnahmen und einmalige Abbruch- resp. Rückbaukosten gemäss Schritt 4) [CHF]

L_n : Restwert nach n Jahren, in der Regel $L(n) = 0$ [CHF] (Evtl. Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer einer Massnahme können als negativer Restwert eingeführt werden).

n: Nutzungsdauer der Massnahme (gemäss Schritt 4) [Jahre]
p: Zinssatz = 2 %

SCHRITT 5: GESAMTBEURTEILUNG

Die Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und die Nachhaltigkeit der verschiedenen Massnahmen werden gemäss der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) pauschal mit Punkten bewertet. Pro Kriterium werden maximal 3 Punkte und minimal 1 Punkt verteilt. Die beste Massnahme ist jene mit den meisten Punkten. Für die ausgearbeiteten Massnahmenvarianten wird ihre Wirksamkeit hinsichtlich Lawinen, Steinschlag und Hangstabilität/Fundierung beurteilt.

5.1: Die **Wirksamkeit** wird im Vergleich zum Ausgangszustand der Verbauung beurteilt, d.h. der Zustand, bevor die Massnahmen ergriffen werden. Die Wirksamkeit der verschiedenen Varianten wird zusammenfassend pauschal mit drei Stufen bewertet:

- reduzierte Wirkung der Verbauung = 1 Punkt (z. B. rückgebaute Mauern)
- unveränderte/ausgeglichene Wirkung der Verbauung = 2 Punkte (z. B. Instandsetzung ohne Ergänzungen)
- erhöhte Wirkung = 3 Punkte (z. B. Ergänzung oder Ersatz mit Stützwerken)

5.2: Die **Wirtschaftlichkeit** der verschiedenen Massnahmen wird in drei Stufen bewertet. Die Massnahme mit den tiefsten Kosten wird mit 3 Punkten und die teuerste Massnahme mit 1 Punkt bewertet. Die Kosten von weiteren Massnahmen werden durch lineare Interpolation bewertet. Kosten-Wirksamkeitsberechnungen sind bei Unterhaltsmassnahmen im Allgemeinen nicht zielführend, weil sich die Wirksamkeit der Massnahme praktisch nicht verändert und der Nutzen nur schwierig monetär bewertet werden kann.

5.3: Die **Nachhaltigkeit** der verschiedenen Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung von Technischen Aspekten (C1), Ökologie (C2), Natur- und Landschaftsschutz (C3), sowie weiteren Aspekten (C4) werden gutachtlich in drei Stufen wie folgt bewertet, wobei die technischen Aspekte doppelt gewichtet werden:

- positiver Einfluss/Verbesserung = 3 Punkte
- unveränderter/ausgeglichener Einfluss = 2 Punkte
- negativer Einfluss/Verschlechterung = 1 Punkt

Die Gesamtbewertung der Nachhaltigkeit C wird mit den oben genannten Aspekten C1 bis C4 wie folgt berechnet:

$$C = 0.4 \cdot C_1 + 0.2 \cdot C_2 + 0.2 \cdot C_3 + 0.2 \cdot C_4 \quad [\text{Anzahl Punkte}] \quad (2)$$

Bei den technischen Aspekten C1 stehen die Beurteilung der Nutzungsdauer, der Systemsicherheit insbesondere hinsichtlich von Bauwerkskontrollen und der Aufwand für einen späteren Rückbau im Vordergrund. In den Öffnungen einer Steinmauer finden Lebewesen und Pflanzen einen willkommenen Lebensraum (SIA 1996). Ökologische Untersuchungen über die Bedeutung von Trockensteinmauern auf den Höhenstufen von Lawinenanbruchgebieten fehlen weitgehend. Wichtige Faktoren für die Bewertung der Ökologie C2 sind insbesondere Standort und Bauweise einer Mauer. Tendenziell haben Steinmauern in Lawinenanrissgebieten eine geringere ökologische Bedeutung als im Kulturland, da dort bereits zahlreiche andere Steinstrukturen wie Stein- oder Schutthalden bestehen. In Tab. 4 wird eine pauschale Bewertung der verschiedenen Massnahmen hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung vorgeschlagen.

Steinmauern und Mauerterrassen prägen seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts in etlichen Lawinenanrissgebieten das Landschaftsbild und verkörpern kulturhistorisches Erbe unserer Vorfahren. Dieser Aspekt muss in der gesamthaften Bewertung der Erhaltungsstrategie einer Verbauung berücksichtigt werden. Eine quantitative Bewertung hinsichtlich Kultur- und Landschaftsschutz C3 ist schwierig. Nach der «Richtlinie Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten» (ASTRA 1998) ist ein Bauwerk schützenswert, wenn es an sich erhaltungswürdig ist und wenn es

durch sein Bestehen auch in Zukunft einem Zweck dient, sofern die erforderlichen Unterhaltsarbeiten machbar und im Verhältnis zu Zielsetzung angemessen sind. Wesentlich ist, dass die Kosten für die Erhaltungsmassnahmen nicht unverhältnismässig sind. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird empfohlen eine pauschale Bewertung der möglichen Massnahmen gemäss Tab. 4 in drei Stufen vorzunehmen.

Tab. 4 Bewertung der Instandsetzungsmassnahmen an Mauern hinsichtlich Ökologie, Kultur- und Landschaftsschutz

Tab. 4 Evaluation of the rehabilitation measures at walls regarding ecology, cultural and landscape protection

Massnahmen an Mauer	Ökologie (C2)		Kultur- und Landschaftsschutz (C3)	
Ab- und Wiederaufbau ohne Vermörtelung	3	Mauer bleibt erhalten	3	Mauer bleibt im Originalzustand erhalten, Verwendung des ursprünglichen Handwerks
Vermörtelung mit Ab- und Wiederaufbau	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	2/1	Geometrie unverändert, jedoch Baumaterial und Erscheinungsbild verändert, nicht mehr original
Betonvorbau	2	Mauer bleibt mehrheitlich erhalten, Öffnungen gehen z. T. verloren.	1	Baumaterial mehrheitlich noch original, Geometrie und Erscheinungsbild verändert
Umpacken in Drahtsteinkörbe	2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
Netzabdeckung mit Verankerung	1/2	Ökologische Werte der Mauer bleiben mehrheitlich erhalten, Wildproblematik	2	Geometrie und Baumaterial mehrheitlich noch original
Verkleidung mit Spritzbeton	1	Öffnungen in der Mauer gehen verloren	1	Baumaterial und Erscheinungsbild stark verändert
Rückbau und Deponierung der Steine im Projektgebiet	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
Rückbau und Wegtransport der Steine	1	Steinstrukturen bleiben im Verbauggebiet nicht erhalten	3/2	Mauern gehen verloren; Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.
Natürlicher Zerfall der Mauern	3	Steinstrukturen bleiben erhalten	2	Mittelfristig bleiben Mauern erhalten, langfristig Landschaft in ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

Je nach Standort einer Verbauung sind weitere Aspekte C4 bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit wie die regionale Bedeutung eines Verbauprojektes oder die Akzeptanz einer Massnahme zu berücksichtigen.

SCHRITT 6: EVALUATION DER ERHALTUNGSSTRATEGIE

Die Evaluation der Erhaltungsstrategie resp. der Massnahmenvarianten für eine Verbauung mit Steinmauern und Mauerterrassen erfolgt unter Berücksichtigung der im Schritt 5 aufgestellten Kriterien. In der «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) wird empfohlen die Wirksamkeit (Risikoreduktion) und die Wirtschaftlichkeit mit je einem Faktor 3 und die Nachhaltigkeit mit einem Faktor 1 zu gewichten. Die gewichteten Punkte der verschiedenen Schritte werden summiert. Anschliessend können die einzelnen Varianten bewertet und rangiert werden. Das Resultat dieser Bewertung muss kritisch beurteilt werden. Oft macht es wenig Sinn, in einer gesamten Verbauung dieselbe Massnahme anzuwenden. Massnahmenkombinationen und ein Vorgehen in Etappen stellen oft optimale Lösungen dar. Je nach Situation ist es empfehlenswert, das Verfahren anzupassen und mit eigenen situationsspezifischen Kriterien zu ergänzen.

FOLGERUNGEN

Steinmauern und Mauerterrassen sind historische Verbaumethoden, die heute nicht mehr angewendet werden. Mauern haben meist ihre Nutzungsdauer erreicht und es stehen vielerorts Instandsetzungsprojekte an. Instandsetzungsmassnahmen an Mauern sind meist teurer als der Bau von neuen gegliederten Stützwerken. Zusätzlich zeigen Mauern eine ungenügende Wirkung und können Steinschlag verursachen. Mit einem radikalen Schnitt (Rückbau und Ersatz durch richtlinienkonforme Stützwerke) kann die Situation in einer Verbauung langfristig verbessert werden. Ein solcher Schritt erfordert Mut, denn meist wurde viel Geld und Engagement in den Unterhalt bestehender Mauern gesteckt. Zukünftig dürften Mauern in Lawinenanrissgebieten vermehrt rückgebaut und durch Stützwerke ersetzt werden. Die vorgestellte «Praxisanleitung» (Margreth und Blum 2011) ermöglicht entsprechende Entscheide mit einem strukturierten, vollständigen und nachvollziehbaren Vorgehen zu begründen.

DANK

Die Erarbeitung dieser «Praxisanleitung» wurde durch das BAFU unterstützt. Ein spezieller Dank geht an M. Blum, der seine Masterarbeit zu diesem Thema verfasst hat. Weiter danken wir der Expertenkommission Lawinen und Steinschlag (EKLS), sowie zahlreichen Praktikern für Ihren Beitrag.

LITERATUR

- ASTRA (1998). Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten. Richtlinie Bereich Kunstbauten. EDMZ Bern.
- BAFU (2010). EconoMe 2.0 - Online Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, Bern 2010.
- Böll A. (1997). Wildbach und Hangverbau. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 343. WSL Birmensdorf.
- Bründl M. (Ed.) 2009: Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- Fankhauser F. (1920). Der Lawinenverbau mittels Terrassen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 71 (7): 216- 230.
- Frutiger H. (1972). Zur Geschichte des schweizerischen Lawinenverbau. Bündnerwald Beiheft Nr. 9: 57-66.
- Hess E. (1936). Erfahrungen über Lawinenverbauungen. Veröffentlichungen über Lawinenverbauungen Nr. 4. Eidg. Departement des Innern. Bern.
- Margreth S., Blum M. 2011: Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen. Anleitung für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1109: 79 S. *PDF-Download* www.umwelt-schweiz.ch/uw-1109-d
- Margreth S. (2007). Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Roch A., Sommerhalder E. (1960). Comportement de divers types d'ouvrages de stabilisation de la neige. SLF Winterbericht 24 (1959/60): 128-133.
- Romang H. (Ed.) (2009). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- Rudolf-Miklau F., Sauer Moser S. (Ed.), (2011). Handbuch Technischer Lawinenschutz. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
- SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (1996): Leben zwischen den Steinen – Sanierung historischer Mauern. SIA-Dokumentation D 0134, Zürich.
- Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz (1996). Trockenmauern - Anleitung für den Bau und die Reparatur. Haupt Verlag Bern. 9. Auflage 2009.

DYNAMIC RESPONSE OF STEEL SPECIMEN UNDER DEBRIS FLOW SURGE MODEL

Nobutaka Ishikawa¹, Ryuta Inoue², Masuhiro Beppu³, Yuji Hasegawa⁴, Takahisa Mizuyama⁵

ABSTRACT

This paper presents experimental and analytical approaches on the dynamic load and the dynamic response of a dam structure model under debris flow models. First, the dynamic load test is performed in order to find the impulsive fluid load showing the surge shape among three different types of debris flow models by using the hydrodynamic channel. It was found that the impulsive shape was well formed at the debris flow model with the ratio of 70% gravel and 30% sand. Second, the dynamic response test is executed for dam models under impulsive load. It was recognized that the dynamic response of steel plate showed a ductile behaviour against impulsive load, even a thin steel plate. Finally, the particle method is applied to dynamic response of a steel plate under water flow. It was noted that the particle method (MPS method) could simulate well the dynamic load and dynamic response of a steel plate under water flow.

Keywords: debris flow, dynamic response, Sabo dam model, particle method, surge shape

INTRODUCTION

Recently many debris flow disasters have occurred due to torrential rainfall as a result of the abnormal weather. Some disasters may be due to the impulsive fluid load of surge debris flow. Many studies (Bugnion (2011), Daido (1988), Hirao (1970), Horii (2002), Hu (2011), Mizuyama (1979,1985), Miyamoto (1983), Miyoshi (1990)) have devoted to the impulsive load of debris flow based on the dynamic fluid theory. Authors (2008, 2009, 2010) have also examined the dynamic load of debris flow model in order to reproduce the surge formation. However, few studies have been done on the dynamic response of the structure under an impulsive debris flow. Therefore, the objective of this study is to investigate the dynamic response of a dam structure under an impulsive debris flow. To this end, this paper presents experimental and analytical approaches on the dynamic response of Sabo dam model under debris flow models.

First, the dynamic load test is performed by providing for three different types of debris flow models in the hydrodynamic channel. The objective of load test is to examine the possibility of surge formation showing impulsive load. Herein, the dynamic load-time relations of these debris flow models are obtained by the load cell synchronizing with the high speed video camera. Second, the dynamic response test is executed by using Sabo dam models (steel and mortal plates) under debris flow surge model. Herein, the strain and deformation-time relations of dam models are obtained by using the strain gages and the laser type deformation sensor, respectively.

Finally, the dynamic response analysis of a steel plate is performed by combining the particle method (MPS (Moving Particle Semi-implicit) method) with the deformation analysis of a beam member (a cantilever beam) under a debris flow model (water flow). The computational results are compared with the test results of the load, deformation and strain-time relations.

¹ Research Advisor, Research Association for Steel Sabo Structures, 2-7-5 Hirakawa-cho, Chiyoda-ku, Tokyo,102-0093, Japan (e-mail:cgishikawa@m4.dion.ne.jp)

² Civil Engineer, Kyosei-Kiko,1-23-1 Shinjyuku-ku, Tokyo160-0022,Japan

³ Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686, Japan

⁴ Senior Researcher, Civil Engineering Research Laboratory, 904-1 Tohhigashi, Ibaraki,300-2633,Japan

⁵ Professor, Department of Erosion and Control Engineering, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502, Japan

DYNAMIC LOAD TEST

Outline of test

The dynamic load test is performed for three different types of debris flow models in order to reproduce the surge formation by using the hydrodynamic channel.

The hydrodynamic channel test is performed with the slope of 18 degrees and the channel width of 10cm as shown in Fig.1(a). The measurement system of dynamic fluid load is illustrated as shown in Fig.1(b). By pouring water of 2 l/sec into the debris flow model which is piling up to the washout height beforehand, the debris flow model flows at the instance of taking off the stopping panel as shown in Fig.2. The rib roughness is set up in the flow floor at the flow distance of 5.0m in order to reproduce the occurrence field of debris flow.

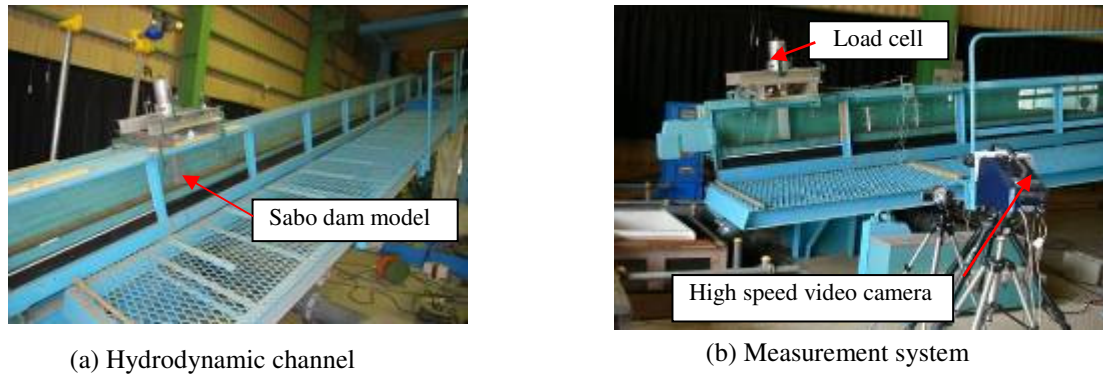


Fig. 1 Experimental apparatus set-up

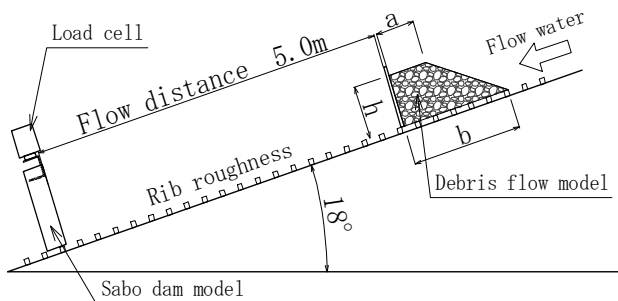


Fig.2 Dynamic load test

Debris flow model

The debris flow models were provided by using the water only and two different gravel size distributions adopting the natural materials. That is,

Type A: water,

Type B: the ratio of 70% gravel (16-19mm) and 30% sand (less than 2mm),

Type C: the ratio of 30% gravel (16-19mm) and 70% sand (less than 2mm).

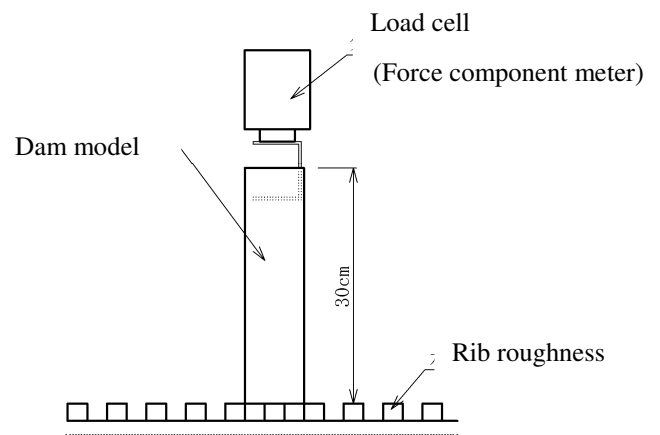


Fig. 3 Measurement of dynamic load

Laser displacement sensor

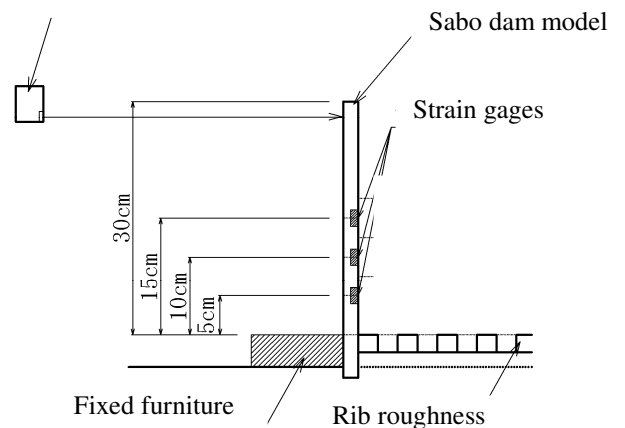


Fig.4 Measurement of dynamic response

Sabo dam model

The Sabo dam model is made by the steel specimen with the width of 100mm, the length of 300mm and the thickness of 20mm in case of the dynamic load test.

Measurement system

The dynamic fluid load is measured by the load cell (force component meter with sampling frequency of 1kHz)

as shown in Fig.3, synchronizing with the high speed video camera to take the front motion as shown in Fig.1(b).

The strains and deformation of plates are measured by using strain gages and laser displacement sensor, respectively, as shown in Fig.4.

Dynamic load test case

The dynamic load test was performed twice for each Type to examine if the surge shape could be formed among three different types of debris flow model or not.

Dynamic load test results

The load-time relations of Types A, B and C are shown in Fig.5.

Type A (water flow) has no clear peak load in the load-time relation and the precise surge formation was not seen in the front motion as shown in Fig.6(a).

Type B (gravel 7: sand 3) illustrates the very steep rise time in the load-time relation and the complete surge shape is formed in the front flow motion as shown in Fig.6(b).

Type C (gravel 3: sand 7) has very slow rise time in the load-time relation and the surge formation was not so clearly found in the front motion as shown in Fig.6(c).

The dynamic load test results are shown in Tab.1.

(1) Surge formation

In order to examine the dynamic load characteristics of Types A,B,C, the load ratio is defined as $P^* = P_{max}/P$ (P_{max} : peak load, P : constant load) and the surge formation is judged from the viewpoint of the load ratio as follows (Ishikawa,2010):

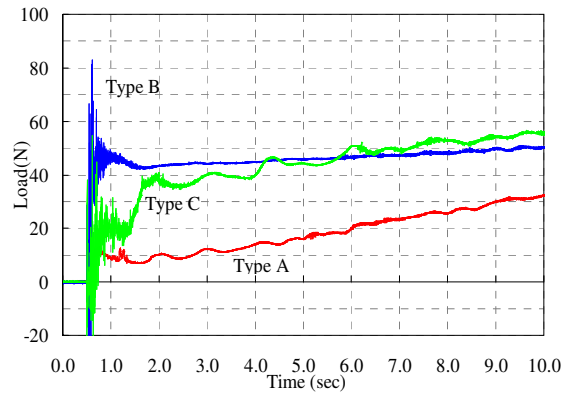
$$P^* > 1.5; \text{ complete surge formation} \quad (1a)$$

$$1.0 \leq P^* \leq 1.5; \text{ quasi surge formation} \quad (1b)$$

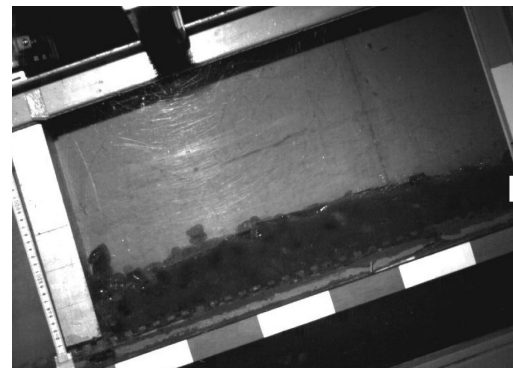
$$P^* \leq 1.0; \text{ no surge formation} \quad (1c)$$

It was noted from Tab.1 that the ratio of Type A was $P^*=1.0-1.2$, and, therefore, Type A was a quasi surge formation far from the complete surge formation.

It was found that the ratio of Type B was $P^*=P_{max}/P > 1.7$ and, as such, Type B was the complete surge formation which had the same tendency as the previous study (Ishikawa 2010). This reason will be explained later.



(a) Type A (water flow)



(b) Type B (gravel 7: sand 3)



(c) Type C (gravel 3 : sand 7)

Fig. 6 Front motions of debris flow models (correspond to the peak load in Fig.5)

As the ratio of Type C was $P^*=1.3-1.7$, it was judged as a quasi surge formation. Consequently, it was recognized that the debris flow model of Type B including 70% gravel and 30% sand could form the complete surge phenomenon exhibiting the impulsive fluid load which shows the very steep rise time in the load-time relation in Fig.5 and the large load ratio $P^*=P_{max}/P$ in Tab.1. It is also noted that the Froude number was $F_r=2.1-2.4$ in Type B which was the smallest among the debris flow models. This means that the surge of debris flow may be easily formed when the water depth is large and the flow velocity is relatively slow.

(2) Comparison of design load with constant load after peak load

The design load ($F=\rho Av^2$, ρ : debris flow density, A : sectional area, v : flow velocity) is computed by using test data (flow velocity and water depth) and is compared with the constant load P after the peak load as shown in Tab.1. Herein, $\rho=1.0-1.55g/cm^3$, $A=300cm^2$, $v=1.61-2.70m/sec$ were used . As the results of computation of $F^*=F/P$, the values F^* of Types A and Type B were almost 1.0 ($F^*=0.92-1.03$ and $F^*=0.91-0.97$ except 0.59). However, in case of Type C ($F^*=0.24-0.26$), the design load F does not coincide with the constant load P , because the water depth and flow velocity were not stabilized by the effect of gravel size distribution with 30% gravel and 70% sand.

Tab.1 Dynamic load test results

No	Debris flow model	density $\rho(g/cm^3)$	Peak load $P_{max}(N)$	Constant load $P(N)$	Flow velocity $v(m/sec)$	Water depth $h(cm)$	Design load $F(N)$	$F^* = \frac{F}{P}$	$P^* = \frac{P_{max}}{P}$	Froude number $F_r = v/\sqrt{hg}$
1	Type A	1.00	12.0	10.0	2.33	1.7	9.2	0.92	1.20	5.7
2	Type A	1.00	11.2	9.4	2.36	1.7	9.5	1.01	1.19	5.8
3	Type A	1.00	12.5	12.0	2.70	1.7	12.4	1.03	1.04	6.6
4	Type B	1.55	82.0	42.0	1.92	6.7	38.3	0.91	1.95	2.4
5	Type B	1.55	65.0	37.0	1.92	6.3	36.0	0.97	1.76	2.4
6	Type B	1.55	62.0	32.0	1.52	5.3	19.0	0.59	1.93	2.1
7	Type C	1.18	50.0	38.0	1.67	3.0	9.9	0.26	1.32	3.0
8	Type C	1.18	42.0	25.0	1.79	1.5	5.6	0.22	1.68	4.6
9	Type C	1.18	30.3	21.0	1.61	2.0	6.1	0.24	1.44	3.6

Cause of Surge Formation

The reason why Type B was formed at surge flow motion may be considered as follows; One of the reasons may be caused by the gravel size sorting phenomenon in which the large gravels flow towards the front and the sand flows back behind the gravels as shown in Fig. 7.

The sorting phenomenon associated with the inverse grading phenomenon is explained as follows.

- (1) The large gravels are transported to the front flow and dropped to the floor.
- Bagnold (1968) proposed that this is based on the concept of dispersion pressure due to the impact between two gravel particles. This means that the dispersion pressure is proportional to the gravel diameter to the 2nd power and, as such, large gravels are moved to the direction of the minimum shearing velocity, i.e., the direction of the upper free surface.
- Middleton (1970) opposed Bagnold’s remark that small gravels are dropped down to the floor and the large gravels go up to the upper surface by the dynamic sieving effect.

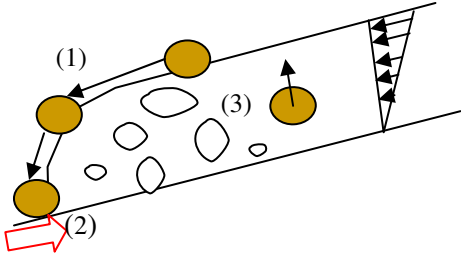


Fig.7 Sorting phenomenon of gravel and sand

On the otherhand, Takahashi (1980, 2004) explained that the large gravels are transported to the front flow as if the soil attached to the bulldozer were jumped to the front direction rather than the moving

velocity of the bulldozer itself, because the upper flow velocity is faster than the lower one in the flow depth direction. This means that the gravel distribution was rearranged into the large gravel and sand.

(2) The friction between gravel and floor makes the flow velocity slow at the bottom and gives resistance to the flow motion. Therefore, the dropped large gravels are left behind on the floor because of the slow fluid velocity in the depth direction.

(3) However, the large gravels are again pushed up to the upper surface due to the dynamic sieving effect mentioned above. That is, small gravels and sand are transported to the back and large gravels are conveyed to the upper surface. This phenomenon is the sorting or rearrangement of sand and gravel. Consequently, Type B was suited for the surge formation, because of satisfying the conditions (1)-(3) within the range in this test.

DYNAMIC RESPONSE TEST

Outline of test

The dynamic response test under debris models was performed for Sabo dam model which was made by steel plates with a length of 300mm, a width of 100mm and thickness of $d=0.5\text{mm}$ and 2.0mm , respectively. The dynamic response of mortar plates was also examined by using the plates with a length of 300mm, a width of 100mm and thickness of $d=5\text{mm}$ and 10mm , respectively, in order to compare with a steel plate. The steel and mortar plates were fixed in the bottom as the cantilever plate in which the deformation and strains were measured as shown in Fig. 4.

Test results

- (1) The strain-time relation of a steel plate under Type B was obtained as shown in Fig.8. It was found that the maximum strain showed at the $h=5\text{cm}$ from the bottom of steel plate. in Fig.4, because the steel plate behaves as a flexural action of cantilever plate.
- (2) The comparison between the maximum strain-time relations of Types A, B and C is illustrated in Fig.9, where the maximum strain is measured at 5cm from the bottom. It was found that the debris flow surge model of Type B gives remarkable influence on the maximum strain, but Types A and C did not so much effect on the maximum strain.

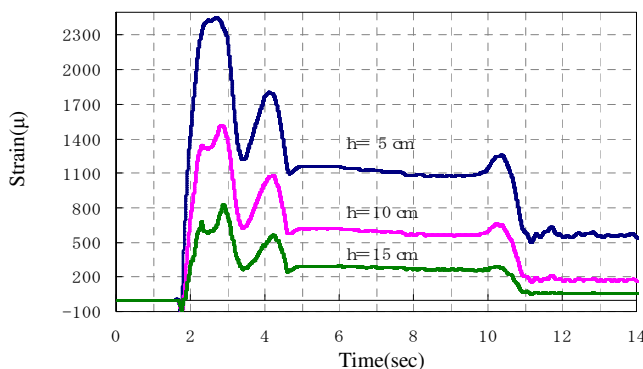


Fig.8 Strain-time relation of steel plate
($d=0.5\text{mm}$)

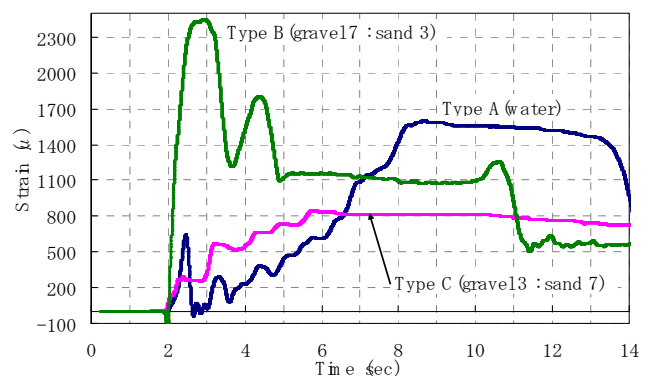


Fig. 9 Maximum strain-time relation of Types
A,B,C (steel plate : $d=0.5\text{mm}$)

(3) The effect of thickness of steel plates ($d=0.5\text{mm}$ and $d=2.0\text{mm}$) under Type B is examined as shown in Fig.10. It was confirmed that the dynamic response may be significantly reduced about 1/8, if the thickness of the plate is increased about 4 times.

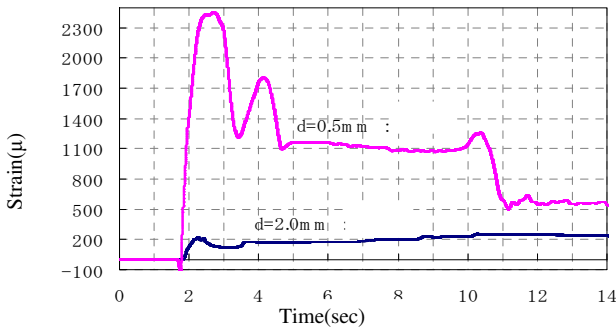


Fig.10 Effect of steel plate thickness (Type B)

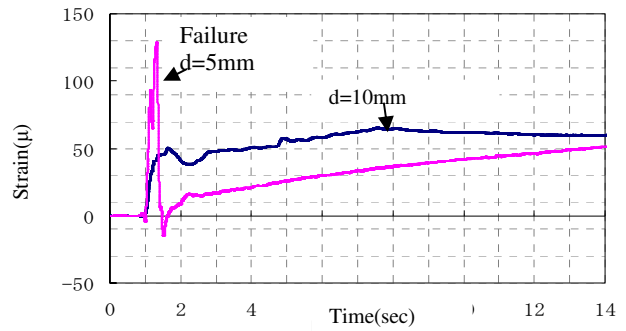
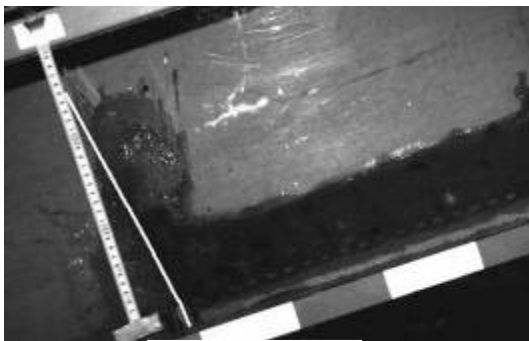


Fig.11 Effect of mortar plate thickness (Type B)

(4) The deformation profile of the steel plate with thickness $d=0.5\text{mm}$ under Type B is illustrated in Fig.12. It was found that the steel plate behaved as ductile materials which was not collapsed by the flexural action of a cantilever, even a thin steel plate

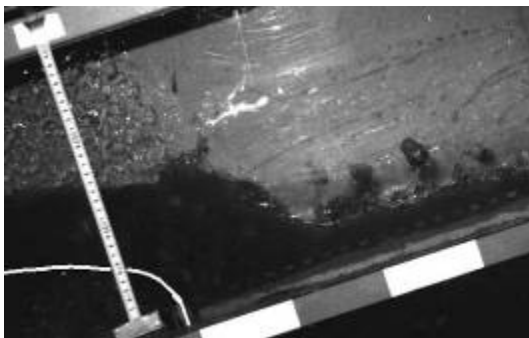
(5) The effect of thickness of mortar plates ($d=5\text{mm}$ and 10mm) under Type B is investigated as shown in Fig.11 in order to compare with a steel specimen. It was found that the mortar plate collapsed at the bottom in the case of thickness $d=5\text{mm}$ as shown in Fig.13, although $d=5\text{mm}$ of the mortar plate is 10 times larger than $d=0.5\text{mm}$ of the steel plate. This phenomenon may be due to the brittle materials of mortar. However, the mortar plate with the thickness $d=10\text{mm}$ did not fail in the inelastic state.



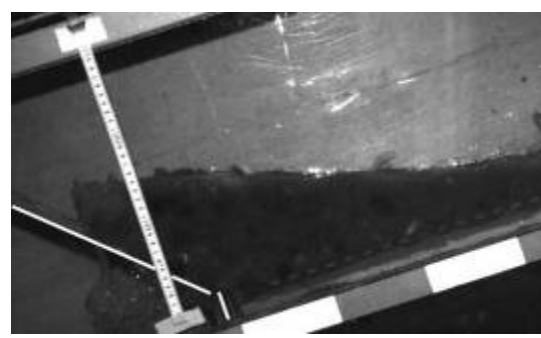
(a) $t=2.10\text{sec}$



(a) $t=1.51\text{sec}$



(b) $t=2.55\text{sec}$



(b) $t=1.62\text{sec}$

Fig.12 Deformation profile of steel plate ($d=0.5\text{mm}$) (Type B)

Fig.13 Deformation profile of mortar plate ($d=5\text{mm}$) (Type B)

Outline of Computational Method

The dynamic response analysis is performed by using the MPS (Moving Particle Semi-implicit) Method (Koshizuka, 2005) with a deformation analysis of a steel plate under water flow (Type A). Herein, the MPS method was combined with the deformation analysis of a cantilever plate which is assumed as a beam element as shown in Fig.14. First, the dynamic water pressure of plate is calculated by using the MPS method. Then, the deformation analysis based on the beam theory is performed for a plate subjected to the dynamic water pressure. As the results, the plate is bent by the water pressure. Third, the bent plate is again subjected to the water pressure and continues the calculation of deformation analysis until the flow ends.

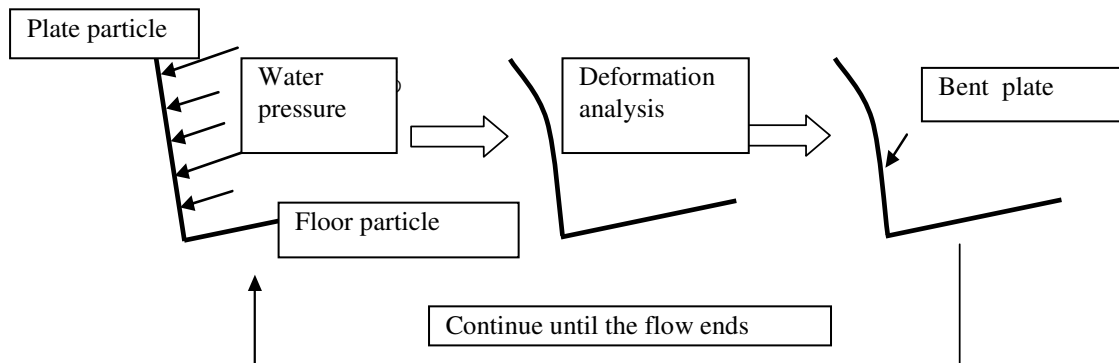


Fig. 14 Outline of deformation analysis of plate (beam element)

The initial condition of water flow is set as the washout height of 15cm and the channel slope of 18 degree as shown in Fig.15. In order to consider the viscosity of water, the dynamic viscous coefficient $\nu_{\ell} = 5.0 \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{ms}$ is used between two water particles and $\nu_{\ell s} = 1.0 \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{ms}$ is used for water and floor interaction.

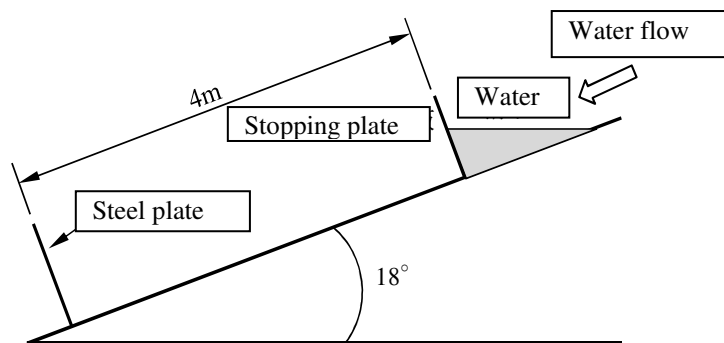


Fig.15 Dynamic response analysis of steel plate under water flow

Simulation Results

- (1) The computational flow motion is obtained as shown in Fig.16 which is compared with the test flow motion as shown in Fig.6(a). It is found that the flow motion by analysis is almost similar to the test result, although the front particles are dispersed by the impact to the steel plate.
- (2) The pressure-height relation of steel plate under Type A is shown in Fig.17. It is found that the maximum pressure occurs at the bottom of plate, because the water hit the bottom of plate at the first time. Therefore, it was confirmed that this particle method simulated well the fluid-plate interaction.

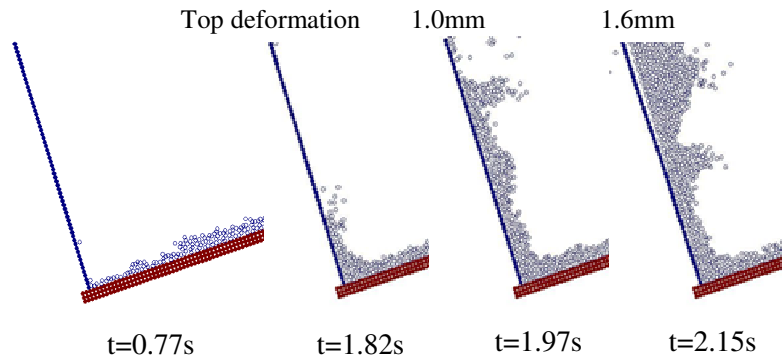


Fig. 16 Deformation profile of steel plate (d=0.5mm)

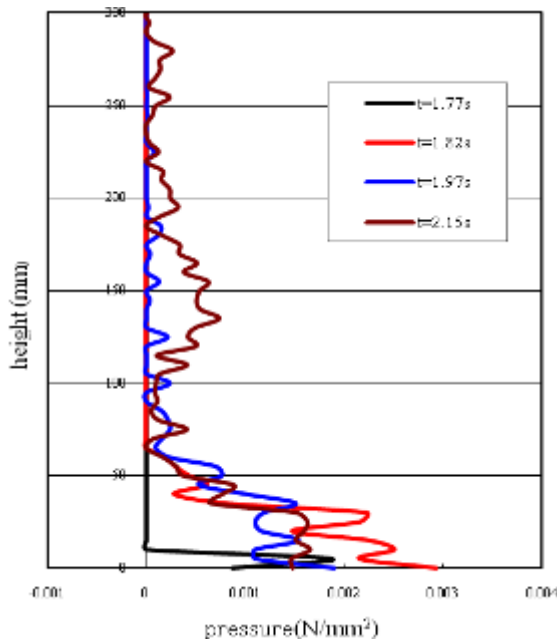


Fig.17 Pressure-height relation of steel plate (Type A)

(3) The load-time relation by analysis is illustrated in Fig.18 comparing with the test result. It is noted that the maximum load by analysis is about 13N and is almost in good agreement with the test result.

(4) The deformation- time relation by analysis is shown

in Fig.19 comparing with the test result. It is interesting that the deformation by test at the time of 0.5sec became to the infinity, because the laser type deformation sensor was splashed by the water flow and could not measure the deformation. However, the maximum deformation by analysis was about 1.2mm at the time of 0.6sec, although it was not so good agreement with the test data after the time of 1sec, because the successive flow water was not considered in the deformation analysis.

(5) The strain–time relation is represented in Fig.20 at the point of h= 5cm from the bottom of plate.

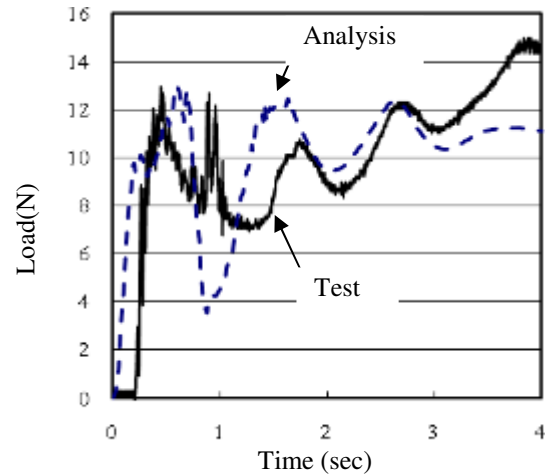


Fig.18 Load-time relation (Type A)

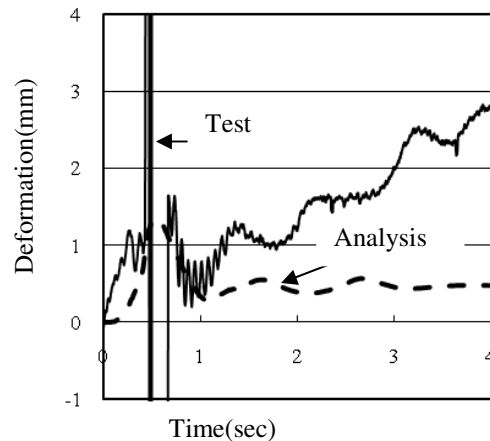


Fig.19 Deformation-time relation (Type A)

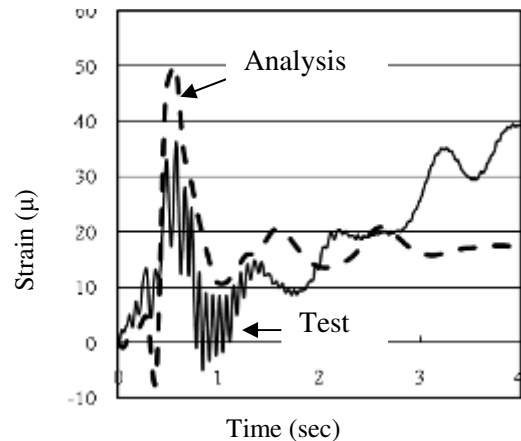


Fig.20 Strain-time relation of h=5cm (Type A)

It is recognized that the maximum strain shows 50μ by analysis which is greater than 38μ of test. However, the general strain-time curve by analysis is almost in good agreement with the test result.

Therefore, the proposed dynamic response analysis can simulate well the dynamic load, deformation and strain-time relations of a steel plate by using the MPS method combining with the deformation analysis based on the beam theory.

CONCLUSIONS

The following conclusions are drawn from this study.

- (1) It was found that surge shape was well formed in Type B (70% gravel of and 30% sand) in which the load-time relation shows a very steep rise time and the impulsive peak load.
- (2) It was recognized that the design load almost coincides with the constant load after the peak load in Types A and B.
- (3) The maximum strain showed at the bottom of plate, because this fact may be caused by the flexural action of a steel plate.
- (4) The maximum strain of a steel plate under Type B showed the large dynamic response of steel plate, as this phenomenon was caused by the impulsive load due to the surge formation of debris flow.
- (5) It was confirmed that the dynamic response of the steel plate was significantly reduced by increasing the thickness of the plate.
- (6) It was also found that the mortar plate with thickness of 5mm failed at the bottom of plate under Type B. This may be due to the brittle materials, even if the thickness of mortar plate is 10 times larger than the one of steel plate.
- (7) As the results of the dynamic load and dynamic deformation analyses of the steel plate under flow water, the particle method (MPS method) can simulate well the dynamic response of a steel plate. Therefore, this method will be useful tool for the investigation of dynamic response of a Sabo dam structure under debris flow.

REFERENCES

- Bagnold R.A. (1968). Deposition in the process of hydraulic transport. *Sedimentology*,10, pp.45-56.
- Bugnion L., McArdell B., Bartelt P., Wendeler C. (2011). Measurements of hill slope debris flow impact pressure on obstacles. *Landslides* , (10 September), pp. 1-9.
- Daido J. (1988). Impact load of debris flow acting on Sabo dam. *Proc.of Sabo Society Meeting*, pp.275-276. (in Japanese).
- Hirao K., Tenda K., Tabata S., Matsunaga M. and Ichinose E. (1977). Fundamental test on the impulsive pressure of surge (Part 1). *Journal of Shin-Sabo*, Vol.76, pp.11-16. (in Japanese).
- Horii N., Toyosawa Y., Tamate S. and Hashizume H. (2002). Experimental study on flow characteristics of debris flow. *Special Research Report of Industrial Safety Institute*, No.25, pp.17-23.(in Japanese).
- Hu K., Wei F. and Li Y. (2011). Real-time measurement and preliminary analysis of debris-flow impact force at Jiangjia Ravine, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.36, Issue 9, pp. 1268–1278, John Wiley & Sons, Ltd.
- Ishikawa N., Inoue R., Hayashi K., Hasegawa Y. and Mizuyama T. (2008). Experimental approach on measurement of impulsive fluid force using debris flow model, *Conference Proceedings of INTERPRAEVENT*, Vol.1, pp.343-354.
- Ishikawa N., Inoue R., Beppu M., Hasegawa Y. and Mizuyama T. (2009). Impulsive loading test of debris flow model. *Proc.of the 8th International Conference on Shock & Impact Loads on Structures*, pp. 53-62, Adelaide,Australia.
- Ishikawa N., Inoue,R., Beppu,M., Hasegawa,Y., and Mizuyama,T. (2010). Dynamic characteristics of debris flow model using different gravel size distribution. *Symposium Proceedings of INTERPRAEVENT 2010*, pp.207-216.
- Koshizuka S. (2005). *Particle Method, Computational Mechanics*. Series 5, Maruzen Press. (in Japanese).

- Middleton G.V. (1970). Experimental studies related to problems of flysch sedimentation. Lajoie J.ed., Flysch Sedimentology in North America, Geology Association of Canadian Specification, Paper 7, pp.253-272.
- Mizuyama T. (1979). Evaluation of debris flow impact on Sabo dam and its problems. Journal of Shin-Sabo, 112, pp.40-43.(in Japanese).
- Mizuyama T., Shimohigashi H., Nakanishi H. and Matsumura K. (1985). Experimental study on debris flow loads for steel slit type Sabo dam. Journal of Shin-Sabo, Vol.37, No.5, pp.30-34. (in Japanese).
- Miyamoto K. and Daido J. (1983). A study on impact load acting on Sabo dam (Part 1). Memoirs of Science and Engineering Institution of Ritsumeikan University, Vol.41, pp.61-79. (in Japanese).
- Miyoshi I. and Suzuki M. (1990). Experimental study on impact load of debris flow. Journal of Shin-Sabo, Vol.43, No.2, pp.11-19. (in Japanese).
- Takahashi T. (1980). Debris flow on prismatic open channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 106, NoHY3, pp.381-396.
- Takahashi T. (2004). Mechanism and measure of debris flow. Kinmirai-sha, pp.175-184, (in Japanese).

TORRENTIAL FLOODS IN SERBIA – MAN MADE AND NATURAL HAZARDS

Ratko Ristić¹, Stanimir Kostadinov², Boris Radić³, Goran Trivan⁴ and Zoran Nikić⁵

ABSTRACT

Torrential floods are the most frequent phenomenon in the arsenal of “natural hazards” in Serbia, being the first when it comes to losses, causing huge damage and the loss of human lives. Torrential events are characteristic both in urban and rural landscapes. Appearance of torrential floods is mostly out of man control. Man made hazard could be increased by irresponsible activities concerning land use or decreased with preventive activities: spatial planning in endangered watersheds; afforestation of bare lands, amelioration of degraded forests, meadows and pastures; appropriate agricultural techniques; application of agroforestry; erosion control measures and torrent training works. Soil bioengineering works in the headwaters lead to improvement of interception effects and infiltration-retention capacity of soil. Performing of erosion and torrent control works in the watershed could be the way for decreasing of natural hazard partly and seriously control of man made hazard.

Keywords: torrential floods, sediment yield, maximal discharge, land use, erosion and torrent control.

INTRODUCTION

Natural or anthropogenic calamities may cause huge material damages and, unfortunately, the loss of human lives (Toya and Skidmore, 2007). The occurrence of natural and anthropogenic extreme phenomena all around the world makes us pay more attention to their environmental and economic impacts (Schmidt et al., 2006; Lerner, 2007). Floods in all their various forms are the most frequent catastrophic events of nature that occur throughout the world (Berz et al., 2001; Barredo, 2007). Among natural hazards with serious risks for people and their activities, the torrential floods constitute the most common hazard in Serbia (Ristić and Nikić, 2007), being the first when it comes to losses, causing huge damage and loss of human lives. Frequency of event, intensity and diffusion, in the whole territory, make them a permanent threat with consequences in environmental, economic and social spheres. Representative examples are torrential floods in the watersheds of main tributaries of: Kolubara, June 1996; Velika Morava, July 1999; Kolubara and Drina, June 2001; Južna Morava, November 2007; Zapadna Morava, Drina and Lim, November 2009; Timok, February 2010; Pčinja, May 2010; Drina, December, 2010; Kolubara, May, 2011.

Climate, specific characteristics of relief, distinctions of soil and vegetation cover, social-economic conditions have resulted in the occurrence of torrential flood waves as one of consequential forms of existing erosion processes. Erosion processes of different categories of destruction are present on 76355 km² (86.4% territory of Serbia); 70.61% of surfaces are on slopes steeper than 5%. Average annual production of erosive material amounts to 37.25·10⁶ m³, in other words, 487.85 m³·km⁻², which is 4.88 times more than normal (geological) erosion. Strong and excessive erosion processes cover 35% of the territory of Serbia (IWRMJČ, 2001). 9260 torrents have been recorded in Serbia (Gavrilović, 1975). Over exploitation or mismanagement of forest and agricultural land and urbanization provoke severe erosion and torrential floods. Soil erosion induces land use changes such

¹ Dr. Ratko Ristić, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade, Republic of Serbia (e-mail: ratko.ristic@gmail.com)

² Dr. Stanimir Kostadinov, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Republic of Serbia

³ Boris Radić dipl.ing., University of Belgrade, Faculty of Forestry, Republic of Serbia

⁴ Goran Trivan dipl.ing., Secretariat for Environmental Protection of Belgrade City, Republic of Serbia

⁵ Dr. Zoran Nikić, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Republic of Serbia

as abandonment of arable land due to declining productivity (Bakker et al., 2005). Soil erosion becomes more frequent and severe along with local economic development (Ristić et al., 2010; Ananda and Herath, 2003). As the watershed becomes more developed, it changes its hydrological regime, increasing the torrential flood volume (Ristić et al., 2001). Torrential floods that once occurred rarely during pre-development period have now become more frequent and destructive due to the transformation of the watershed from rural to urban land uses. Decreasing the surfaces under forest vegetation, urbanization and inadequate agricultural measures are some negative aspects of human work which cause torrential floods, so that former discharges with recurrence interval of 100 years, become events with recurrence interval of 20 years (Ristić et al., 2006). But most of the watersheds in the hilly-mountainous region of Serbia faced the opposite process: people moved from villages to towns looking for jobs or better social conditions. Many of them are young people who descent from traditional agricultural families but did not want to follow into the family tradition. That was the reason why the agricultural areas were deserted and neglected, and once suppressed forest areas rapidly and spontaneously renewed. That resulted in the reduced pressure on arable land and forest surfaces, mitigation of erosion processes and decreased sediment yield.

The erosion and torrent control works (ETCWs) in Europe started around the middle of the XIX century. In Serbia they started at the end of the XIX century (Kostadinov et al., 1999) and as an organized activity in 1907 in the region of Grdelička Gorge (South-Eastern part of Serbia), which is 23 km long with 143 torrents. In the past, especially in the first half of the XX century, this region was extremely endangered by very destructive erosion processes and severe torrential floods (Jelić, 1978). One of the most dangerous torrents was Kalimanska river with several torrential floods (1929, 1946, 1948 and 1951) that brought huge damages to the town Vladičin Han and international railway Belgrade-Skopje-Athens. The torrential flood in summer 1929 destroyed a few hundred houses in the town of Vladičin Han and interrupted the railway traffic for more than 10 days. The first technical documentation for erosion and torrent control in the watershed of the Kalimanska river was prepared in 1923 and the projects started in 1927. The most intensive undertakings were carried out in the period between the end of the World War II and the mid 1970s.

MATERIAL AND METHODS

The torrential flood risk assessment at watershed level is based on historical overview of floods which have occurred in the past. Typical example is experimental watershed of the Kalimanska river (profile at the town of Vladičin Han-confluence into the South Morava river), located in southern Serbia (Fig. 1).

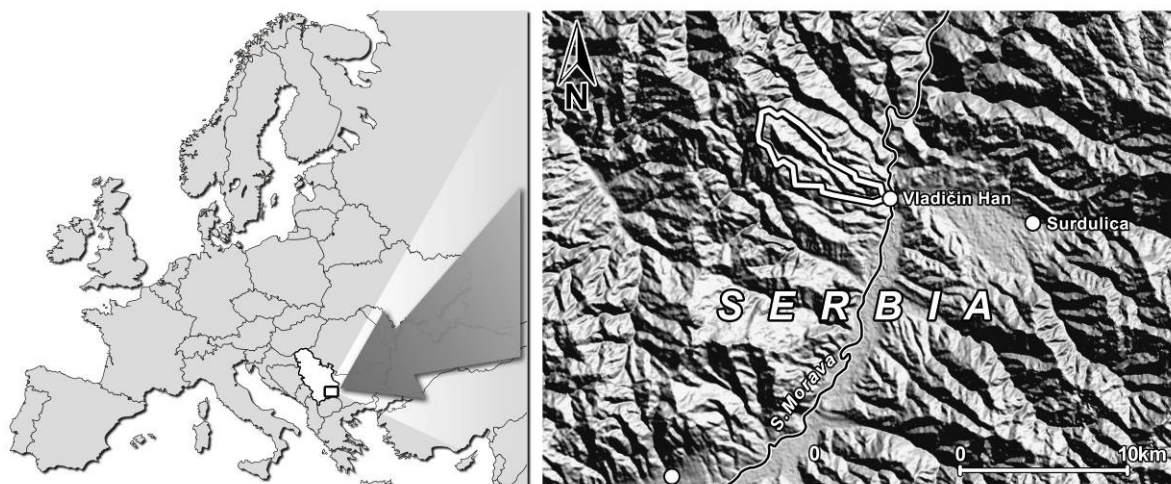


Fig. 1 Location of the experimental watershed of the Kalimanska river

Dominant factors for torrential floods forming have been analyzed: natural characteristics (hydrographic characteristics; soil and geology conditions), human impact (land use; disposition of surfaces; relation between surfaces with low and high water infiltration-retention capacity). Land use

changes were analyzed on the basis of the existing technical documentation and data collected from 1923 to 2010, field investigations, usage of aerial and satellite photo images, topographic, geological and soil maps. Land use classification was made on the basis of CORINE methodology (EEA, 1994). Area sediment yields and intensity of erosion processes were estimated on the basis of the “Erosion Potential Method” (EPM). This method was created, developed and calibrated in Serbia (Gavrilović, 1972) and it is still in use in all the countries which originated from former Yugoslavia. Historical maximal discharge ($Q_{\max hKal-1929}=149.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $q_{\max sphKal-1929}=9.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) was reconstructed by method of “hydraulic flood traces” (Jelić, 1978).

The computation of maximal discharge (for control profile P, Fig. 2), under hydrological conditions after restoration (ETCWs) of the watershed, was performed using a combined method: synthetic unit hydrograph (maximum ordinate of unit runoff, q_{\max}) and Soil Conservation Service (SCS, 1979) methodology (deriving effective rainfall, P_e , from total precipitation, P_b). This combined method is the most frequently used procedure in Serbia for the computations of maximal discharges at unstudied watersheds. The computation was performed for AMC III (Antecedent Moisture Conditions III-high content of water in the soil and significantly reduced infiltration capacity). Synthetic triangular unit hydrographs were transformed to synthetic (computed) curvilinear hydrographs of total discharge, using the SCS basic dimensionless hydrograph (Chang, 2002). The changes of hydrological conditions were estimated by the comparison of the historical and computed values of maximal discharge in the conditions before (1927) and after the restoration of the Kalimanska river watershed (2010). The computation of maximal discharge was based on the regional analysis of lag time (Ristić, 2003), internal daily distribution of precipitation (Janković, 1994) and classification of soil hydrologic groups for CN-runoff curve number determination (Djorović, 1984).

The aim of this investigation is to show how the performed ETCWs, as well as adequate land use changes, which are based on the analysis of historical cases, can help to improve the hydrological conditions on endangered watersheds, and provide effective erosion control and torrential flood protection.

RESULTS OF INVESTIGATION

The main hydrographic characteristics of the experimental watershed are presented in Tab. 1:

Tab. 1 Main hydrographic characteristics of the experimental watersheds

Parameter	Mark	Unit	Kalimanska
Magnitude	A	km ²	16.04
Perimeter	P	km	21.90
Peak point	Pp	m.a.s.l.	1261
Confluence point	Cp	m.a.s.l.	325
Mean altitude	Am	m.a.s.l.	810
Length of the main stream	L	km	10.16
Absolute slope of river bed	Sa	%	9.21
Mean slope of river bed	Sm	%	7.60
Mean slope of terrain	Smt	%	40.86
Density of hydrographic network	D	km ² km ⁻²	2.10

The Kalimanska river is the left tributary of the South Morava river, flowing through the center of Vladičin Han. The watershed is built by Paleozoic metamorphosed schists of the Vlasina complex (leptynolites, micaschists, amphibolites, leucogneiss and finegrained gneiss) and neogene sediments (red and gray tuffaceous sandstone, conglomerates and sandy marles) (IG, 1970). The soil in the watershed consists of several varieties of Distric Cambisol (Kostadinov et al., 1995).

Anthropogenic pressure on the soil in the watershed was very strong during the 1920s of the last century, because the population of the villages in the watershed amounted to more than 3300 people or 205 persons per 1 km². In 2010 there were 804 inhabitants or 50 per 1 km² (SORS, 1923-2010). Forests were used for timber, fuel and fodder production. Meadows and pastures had a degraded grass cover and a compacted surface soil layer because of the abundant cattle and sheep populations.

Farming was carried out down the slope, in straight rows, often with wooden ploughshare drawn by ox. Numerous activities initiated intensive sheet and gully erosion, decreased water storage capacity of soil and in this way created ideal conditions for fast surface runoff forming, development of erosion processes and loss of soil. Besides intensive sheet erosion, systems of furrows and gullies developed on the bare land that was previously forest or arable land. Also, deep erosion developed in the drainage pattern of the watershed as well as landslides on very steep slopes (Kostadinov, 1985).

In the 1927–2006 period a wide scope of technical, biological and biotechnical activities were performed (Fig. 2). The technical activities involved the regulation of the Kalimanska river, 39 stone masonry check-dams, and 185 check dams of dry laid masonry. The Kalimanska river was regulated in the zone of Vladičin Han, on a 700 m long section, upstream from the confluence into the South Morava river, in the 1927-1953 period. The regulation was carried out as trapeze channel lined with stone masonry. Stone masonry check dams (1.5-5 m high), in the Kalimanska river and its main tributaries, were intended for bed-load control, decrease of stream bed slope and stream bed and bank stabilization. The storage areas of check dams were filled with sediment which was subsequently overgrown with autochthonous shrubs and trees (Kostadinov et al., 1995). Check dams of dry laid masonry (0.5-1.0 m high) were built mostly in gullies and temporary streams.

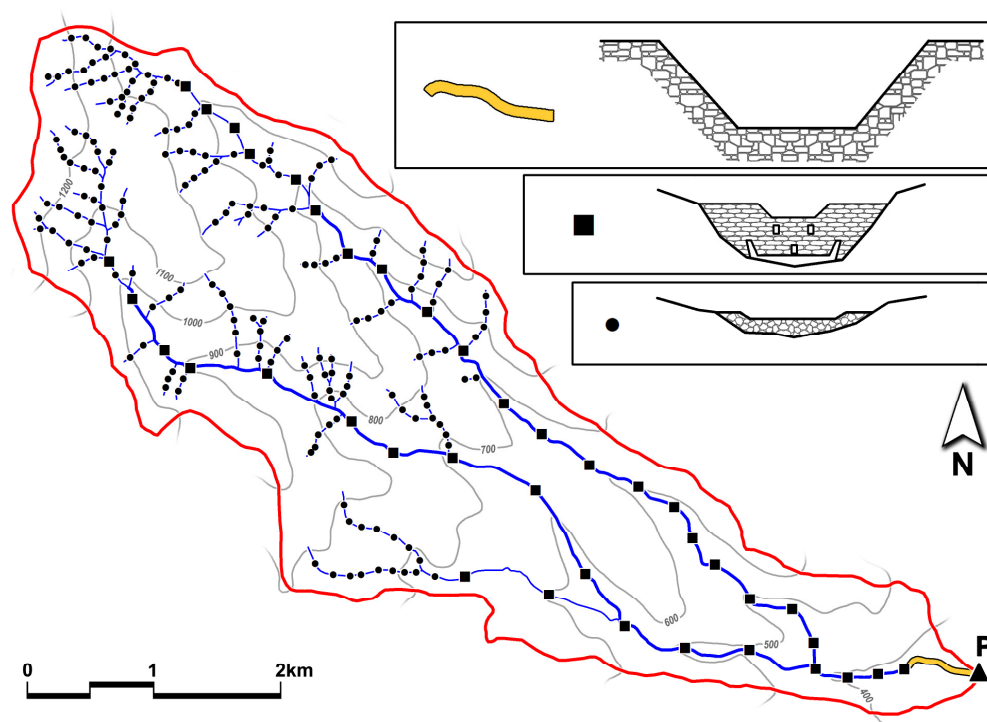


Fig. 2 Disposition of technical structures on the watershed of the Kalimanska river (regulation; stone masonry check-dams; dry laid masonry check-dams)

In the 1953-1995 period dominant biological and soil-bioengineering activities were: afforestation of bare land with *Pinus nigra* (61 ha; steep, deforested and eroded slopes; 8000-12000 seedlings per ha, two to three years old), afforestation of bare slopes (abandoned plough land) with *Robinia pseudoacacia* (104.4 ha; 6000 seedlings per ha, planted along the contours on the previously prepared bench terraces), afforestation of degraded oak forest with *Robinia pseudoacacia* (101.1 ha), grassing of bare land and degraded meadows (132.3 ha) and pasture reclamation (4 ha). During the 1960s biotechnical works were dominant, when orchards on steep slopes on former plough land were established (60.8 ha, on terraces, with grassing between terraces, mostly apple and plum trees, and a few hectares with currant). At the beginning of the 1950s the cutting of fodder in forests was prohibited. During the 1960s and 1970s some additional measures were applied: bans on clear cuttings, cuttings in protective forests, straight row farming down the slope, uncontrolled urbanization

and overgrazing. Land owners had (with financial support from authorities) the duty to apply contour farming and terracing of arable land as effective measures of erosion control.

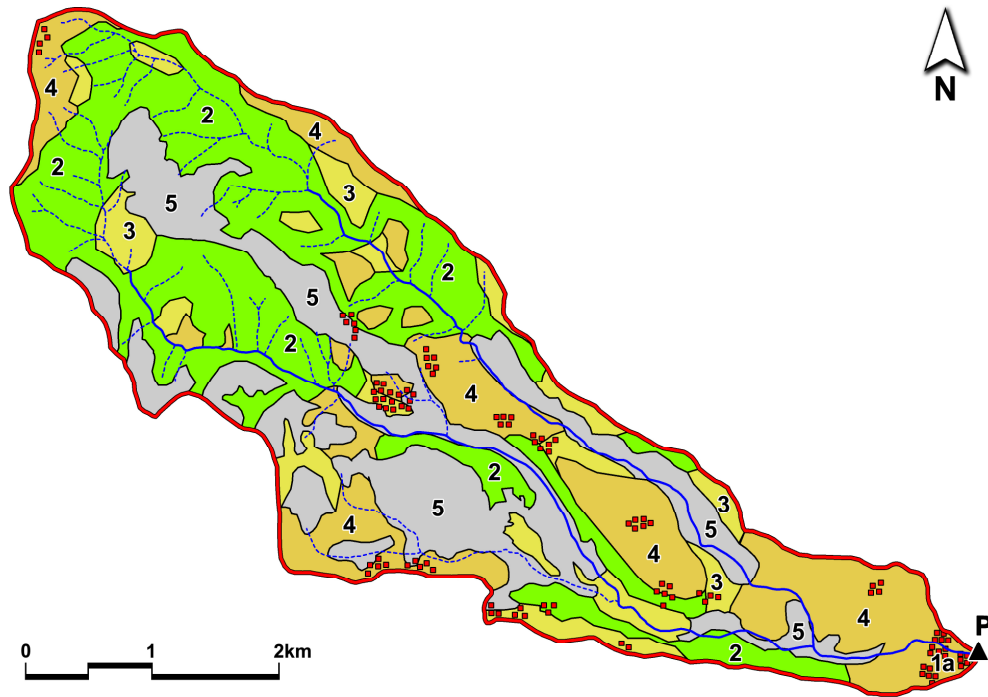


Fig. 3 Land use in the watershed of the Kalimanska river (1927): 1a – Discontinuous urban fabric (0.31 km²); 2 – Broad-leaved forest (5.72 km²); 3 – Pastures (1.76 km²); 4 – Complex cultivation patterns (3.97 km², of which 3.93 km² are arable land and 0.04 km² are orchards); 5 – Bare rocks (4.28 km²)

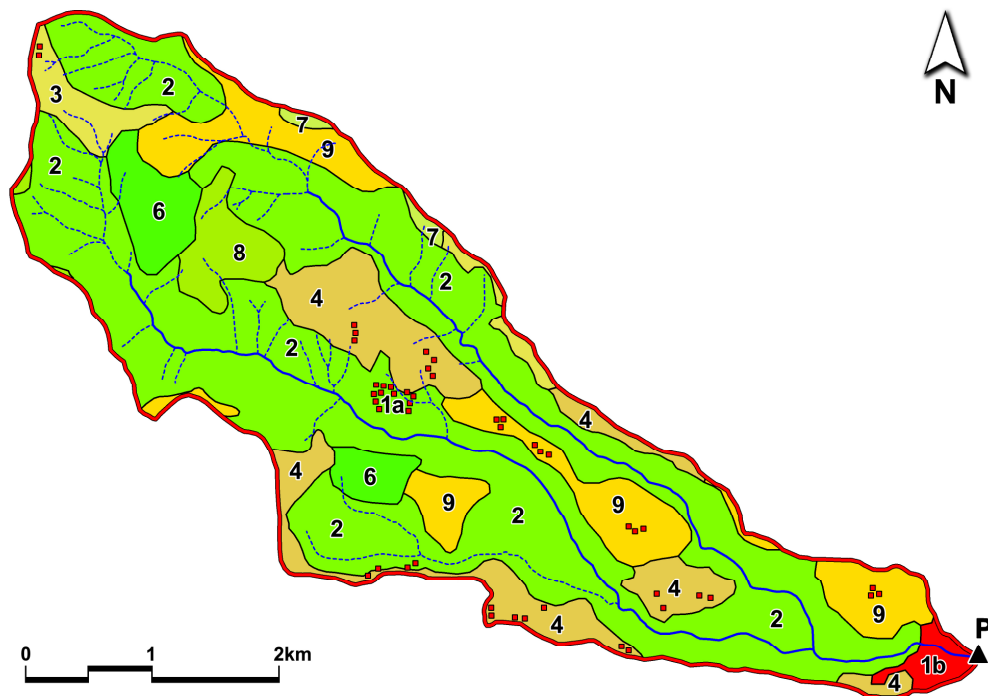


Fig. 4 Land use in the watershed of the Kalimanska river (2010): 1a – Discontinuous urban fabric (0.27 km²); 1b – Continuous urban fabric (0.87 km²); 2 – Broad-leaved forest (8.96 km²); 3 – Pastures (0.51 km²); 4 – Complex cultivation patterns (2.05 km², of which 1.9892 km² are arable land and 0.0608 km² are orchards); 6 – Mixed forest (0.73 km²); 7 – Natural grasslands (0.09 km²); 8 – Transitional woodland-shrub (0.49 km²); 9 – Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation (2.07 km², of which 1.5 km² are arable land and 0.57 km² are shrub land)

The number of livestock on grazing surfaces was limited (1-3 pieces per hectare, depending on terrain steepness), in order to avoid negative effects: compaction of soil surface layer and reduction of water infiltration capacity. Total cost of the performed ETCWs (1927-2006) amounts to 4370850 euros.

Comparison of land use maps from 1927 and 2010 shows great differences in the structure of surfaces (Fig. 3 and 4).

Erosion and sediment transport

Some characteristic outputs of computations of sediment yields and transport are presented in Tab. 2, as well as representative values of the coefficient of erosion Z , in conditions before ETCWs performing (1927) and actual conditions (2010): W_a -annual yields of erosive material; W_{asp} -specific annual yields of erosive material; W_{at} -annual transport of sediment through hydrographic network; W_{atsp} -specific annual transport of sediment through hydrographic network; W_{abls} -annual amount of bed-load sediment; W_{ass} -annual amount of suspended sediment.

Tab. 2 Characteristic outputs of computations of sediment yields and transport in the conditions before ETCW and actual conditions

Parameter	Before ETCW-1927	Actual conditions-2010
W_a [m^3]	60551.0	8552.0
W_{asp} [$m^3 \cdot km^{-2} \cdot year^{-1}$]	3775.0	533.17
W_{at} [m^3]	40011.0	5624.6
W_{atsp} [$m^3 \cdot km^{-2} \cdot year^{-1}$]	2494.45	350.7
W_{abls} [$m^3 \cdot year^{-1}$]	13031.6	527.61
W_{ass} [$m^3 \cdot year^{-1}$]	26979.4	5096.99
Z	1.25	0.36

Changes of hydrological conditions

Historical maximal discharge ($Q_{maxhKal-1929}$) was reconstructed using the method of “hydraulic flood traces”.

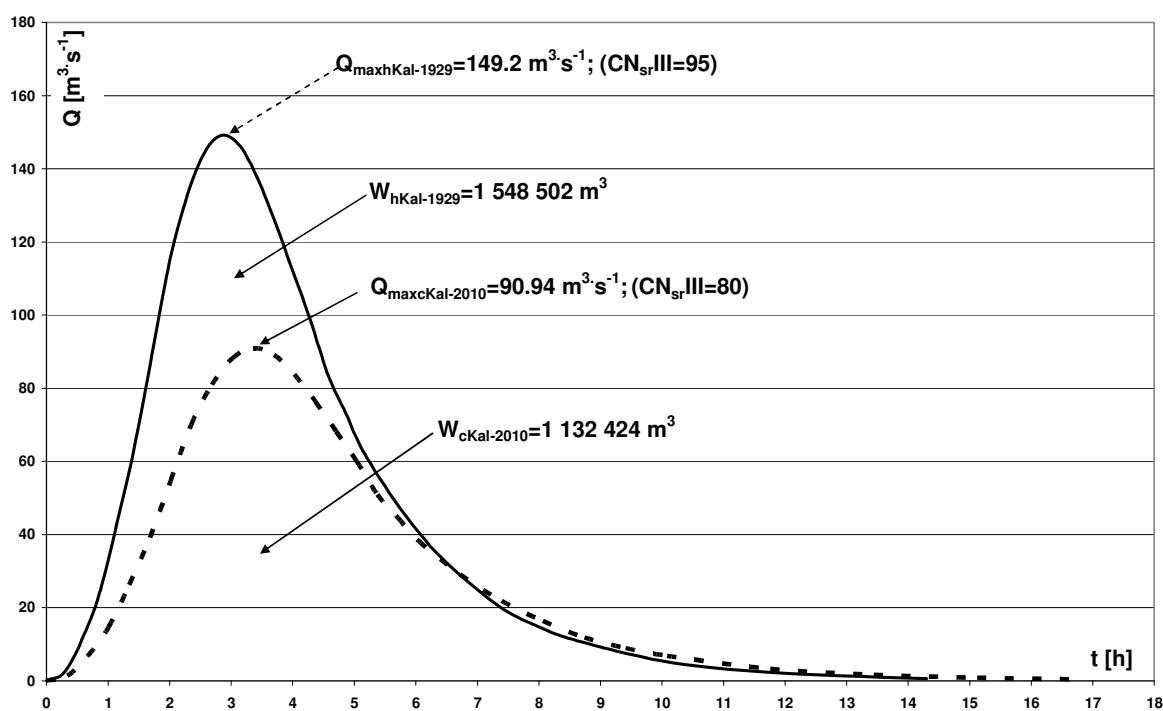


Fig. 5 Historical (1929) and calculated (2010) hydrographs of maximal discharges on the Kalimanska river

Maximal discharge ($Q_{maxcKal-2010}$) in actual conditions was computed using designed precipitation on the basis of DM (Malošević, 1995) and DJ (Janković, 1994) models, due to the lack of data regarding

the precipitation which caused the torrential flood in August 1929. Hydrographs of historical and computed discharges are presented in Fig. 5.

The value of computed maximal discharge ($Q_{\max\text{Kal-2010}}=90.94 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) is significantly reduced in comparison to the historic (recorded) value of maximal discharge ($Q_{\max\text{Kal-1929}}=149.2 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), as a direct consequence of the performed ETCWs and land use changes. At the same time, other significant parameters such as physical characteristics of the watershed (magnitude, mean slope of terrain, mean slope of river bed) and total precipitation remained the same. Some characteristic outputs of these hydrologic computations, in the conditions before and after the ETCWs, are presented in Tab. 5 (CN-runoff curve number; P_{br}-total precipitation; P_e-effective rain; T_p-rising time of hydrograph; T_r-recession time of hydrograph; T_b-time base of hydrograph). All these facts indicate more favorable hydrological conditions in the post-restoration environment (2010).

Tab. 3 Characteristic outputs of hydrologic computations in the conditions before (1927) and after ETCWs (2010)

Parameter	1927	2010
$q_{\max} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}]$	1.545	1.288
CN _{sr} III	95	80
P _{br} [mm]	214.2	214.2
P _e [mm]	96.54	70.60
T _p [h]	2.86	3.36
T _r [h]	3.39	3.98
T _b [h]	6.25	7.34

DISCUSSION

Natural hazards cannot be prevented, but better understanding of the processes and scientific methodologies for prediction can help to mitigate the impacts (Alcantara, 2002). In most cases, torrential floods are caused by natural incidents (such as the climatic and morpho-hydrographic particularities of the watersheds), but the human factor contributed significantly to the effects of the disasters (the mismanagement of forest and agricultural surfaces, uncontrolled urbanization and the absence of the erosion control and flood protection structures).

The watershed of the Kalimanska river has a geological composition with low permeability rocks. The geological composition of the watershed influenced the formation of soil types with average water storage capacity, but anthropogenic impacts provoked the development of erosion processes and a decrease in the soil infiltration capacity. Soil erosion on the watershed was initiated by the removal of forest (clear cuttings, trunk transport down the slope) and inadequate agricultural activities (straight row farming down the slope, overgrazing). Nowadays, members of most of the households are old people, because young people relocated to the neighboring towns. Depopulation contributed to a significant decrease of pressure on agricultural and forest surfaces in the watershed. Huge surfaces of former arable land and pastures were spontaneously overgrown with shrubs and trees.

The initial state of erosion processes (1927) was marked with a $Z=1.25$ coefficient of erosion (excessive erosion). ETCWs were carried out in order to decrease yields of erosive material, increase water storage capacity of soil and reduce flood runoff. The actual state of erosion processes is marked with a $Z=0.36$ coefficient of erosion (weak erosion). The effects of hydrological changes were estimated by the comparison of historical maximal discharge (1929), and computed maximal discharge, under the conditions after the complete restoration of the Kalimanska river watershed (2010). The realization of restoration works helped decrease annual yields of erosive material from $W_a=60551.0 \text{ m}^3$ to $W_a=8552.0 \text{ m}^3$. Also, specific annual transport of sediment through hydrographic network is reduced from $W_{\text{atsp}}=2494.45 \text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ to $W_{\text{atsp}}=350.7 \text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$. The computed value of maximal discharge ($Q_{\max\text{Kal-2010}}=94.90 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) is significantly decreased in comparison to historical maximal discharge ($Q_{\max\text{Kal-1929}}=149.20 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), indicating the improvement of hydrological conditions, as a direct consequence of ETCWs. Also, the volume of computed hydrograph of direct

runoff ($W_{cKal-2010}=1132424 \text{ m}^3$) is significantly reduced in comparison to the volume of the historical flood wave ($W_{hKal-1929}=1548502 \text{ m}^3$).

CONCLUSIONS

Torrential floods are the most frequent catastrophic events that occurs in Serbia, with serious risks for people and their activities. Serbian tradition in ETCWs is longer than 100 years, with remarkable results in the domain of biotechnical and technical works. Frequency of occurrence and destructivity of torrential floods in the last 15 years indicates that it is necessary to achieve a higher degree of coordination of different activities related to the problems of erosion control and torrential floods. Integrated management in torrential watersheds encompasses technical works in a hydrographic network and soil bioengineering works on the slopes, within a precisely defined administrative and spatial framework in order to achieve maximum security for people and their property and to satisfy other demands such as environmental protection, sustainable soil usage, drinking water supply, rural development, biodiversity sustaining, etc.

Natural hazard of extreme hydrological events is still present in the watershed of the Kalimanska river but the man-made hazard is significantly reduced. Once extremely eroded watershed with frequent appearance of destructive torrential floods is now restored after large-scale ETCWs, performed in the 1927-2006 period. In the last 40 years there were no significant flood waves of the Kalimanska river. Thanks to the ETCWs the possibility of sudden concentration of fast surface runoff (after extreme rain events, snow melt or their coincidence), is reduced. Land use changes in the watershed helped balancing the runoff regime by increasing the low flow and decreasing the maximal discharges. The intensity of erosion processes has been reduced from excessive erosion ($Z=1.25$) before the beginning of ETCWs to weak erosion ($Z=0.36$), with the tendency of transition to the category of very weak erosion ($Z<0.19$). Former bare rocks were transformed into forest surfaces or transitional woodland-shrub land. Sediment yield has decreased 7 times, because of a remarkable decrease of erosion on watershed hill slopes due to the performed ETCWs.

Acknowledgements

This study was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia within project 43007 ("Studying climate change and its influence on the environment: impacts, adaptation and mitigation-subproject: Frequency of torrential floods and degradation of soil and water as a consequence of global changes").

REFERENCES

- Alcantara A.I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries, *Geomorphology*, 47: 107-124.
- Ananda J., Herath G. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal, *Journal of Environmental Management*, 68: 343-353.
- Bakker M., Govers G., Kosmas C., Vanacker V., Oost K., Rounsevell M. (2005). Soil erosion as a driver of land-use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105: 467-481.
- Barredo J.I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005, *Natural Hazards (Springer)*, 42: 125-148.
- Berz G., Kron W., Loster T., Rauch E., Schimtschek J., Schmieder J., Siebert A., Smolka A., Wirtz A. (2001). World Map of Natural Hazards – A Global View of the Distribution and Intensity of Significant Exposures, *Natural Hazards (Kluwer Academic Publishers)*, 23: 443-465.
- Chang M. (2003). *Forest Hydrology*, CRC Press, Washington D.C.
- Djorović M. (1984). Determination of soil Hydrologic class, *Journal for Water Resources Management*, 87: 57-60.
- EEA (European Environmental Agency) (1994). *Coordination of information on the Environment*.
- Gavrilović S. (1972). Engineering of Torrents and Erosion, *Journal of Construction (Special Issue)*, Belgrade, Yugoslavia.

- Gavrilović S. (1975). Torrents in Serbia, Republic Water Fund and Faculty of Forestry, Belgrade, Yugoslavia.
- IG (Institute of Geology) (1970). Geological booklet of Basic Geologic Map 1:100 000-Sections Leskovac and Vlasotince, Belgrade, Yugoslavia.
- IWRMJČ (Institute for Water Resources Management „Jaroslav Černi“) (2001). Water Resources Management Basic Plan of Serbia, Ministry of Agriculture, Forestry and Water Resources Management, Belgrade, Serbia.
- Janković D. (1994). Characteristics of intensive rainfall for territory of Serbia, Civil Engineering Almanac, Belgrade, Yugoslavia.
- Jelić B. (1978). Erosion and Torrent Control Works carried out at the watershed of Morava river in the period 1947-1977, *Erosion* 9: 25-42.
- Kostadinov S. (1985). Research of Sediment Transport Regime in the Torrents of West and South/East Serbia, Doctoral Thesis, University of Belgrade Faculty of Forestry: pp 314.
- Kostadinov S., Marković S., Dragović N. (1995). Erosion Control Works and their effects on the state of erosion processes and sediment transport in the Kalimanska river watershed, Third International Symposium on Headwater Control, Proceedings New Delhi, India: 477-486.
- Kostadinov S., Zlatić M., Ranković N. (1999). Soil and Water Conservation Policies in Yugoslavia, Soil and Water Conservation Policies and Programs: Successes and Failures (Monograph), CRC Press, London, New York, Washington, D.C.: 423-441.
- Lerner L.A. (2007). Assessing global exposure to natural hazards: Progress and future trends, *Environmental Hazards* 7: 10-19.
- Malošević D. (1995). DM-Runoff model for unstudied watersheds, Belgrade, Serbia.
- Ristić R. (2003). Runoff lag time on torrential watersheds in Serbia, *Journal of Faculty of Forestry* 87: 51-65.
- Ristić R., Gavrilović Z., Stefanović M., Malušević I., Milovanović I. (2006). Effects of urbanization on appearance of floods, BALWOIS, Ohrid, Macedonia, 23-26 May 2006: 7pg.
- Ristić R., Kostadinov S., Malošević D., Spalević V. (2001). Erosion aspect in estimation of hydrologic soil group and determination of runoff curve number CN, *Soil and Plant* 50(3): 165-174.
- Ristić R., Nikić Z. (2007). Sustainability of the System for Water Supply in Serbia from the aspect of Erosion Hazard, *Jornal for Water Resources Management* 225-227: 47-57.
- Ristić R., Radivojević S., Radić B., Vasiljević N., Bjedov I. (2010). Restoration of Eroded Surfaces in Ski Resorts of Serbia, CATENA VERLAG, Reiskirchen, Germany, *Advances in GeoEcology* 41: 165-174.
- Schmidt T.P., Greiving S., Kallio H., Fleischhauer M., Jarva J. (2006). Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions, *Quaternary International* (Elsevier) 150: 103-112.
- Soil Conservation Service (1979). National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, US Department Agriculture, Washington, D.C.
- SORS (Statistical Office of the Republic of Serbia) (1923-2010). Statistical Year Book, Belgrade, Serbia.
- Toya H., Skidmore M. (2007). Economic development and the impacts of natural disasters, *Economics Letters* 94: 20-25.

A CONTRIBUTION TO A BETTER UNDERSTANDING OF THE METEOROLOGICAL TRIGGERING CONDITIONS OF PAST DEBRIS FLOWS

Michelle Schneuwly-Bollschweiler¹ and Markus Stoffel²

ABSTRACT

An unusually dense and highly resolved database on periglacial debris flows is linked here with meteorological records dating back to AD 1864 to reconstruct ~150 yr of rainfalls triggering debris flows at high-elevation sites (source area elevations ranging from 2000 to 4545 m asl) in the Swiss Alps. Results show that the debris-flow season currently lasts from May to October as compared to late 19th century when activity was restricted to June – September. Debris flows early in the season are generally triggered with lower rainfall totals (<20 mm in 1 day) than those occurring late in the season as snow melt adds considerable amounts of water to the system and therefore facilitates debris-flow release. Debris flows in May, June, July and August are primarily triggered by short-duration high-intensity rainfalls (local thunderstorms) whereas the occurrence of debris flows late in the season is more often related to longer-lasting advective rainfalls.

Keywords: debris flow, precipitation, triggering, permafrost

INTRODUCTION

Through their unpredictable and sudden occurrence, debris flows represent a major hazard in many mountainous regions all over the world. The understanding of the triggering factors of such events is crucial for hazard assessment, forecasting of events and for early warning systems. In the recent past, many studies have been published on rainfall conditions, minimum thresholds, duration-intensity relationships or on antecedent moisture conditions leading to debris-flow triggering (e.g. Brandet al., 1984; De Vita et al., 1998; Guzzetti et al., 2008). However, these studies were normally based on archival records or directly observed events and therefore often had a rather limited temporal coverage. This contribution is, in contrast, based on an unusually long (~150 yr) and dense database composed of archival data and tree-ring reconstructions and on meteorological records dating back to AD 1864. The focus of this paper is on rainfall-initiated debris flows in torrential catchments with source areas in periglacial environments. We explore the (i) timing and duration of past debris flow events, (ii) amount of rainfall needed to trigger debris flows and (iii) the percentage of events over fixed rainfall thresholds leading to the release of a debris flow.

STUDY SITE

The case-study area chosen for the analysis of past debris-flow frequencies is the Zermatt valley, a dry inner-alpine valley of the Valais Alps (Switzerland, central coordinates 46°10'N./ 47°7'E.; Fig. 1), where eight torrents have been investigated (i.e. Ritigraben, Grosse Grabe, Bielzug, Fallzug, Geisstriftbach, Birchbach, Dorfbach, Wildibach). Geology is dominated by gneissic lithologies belonging to the crystalline Mischabel unit (Labhart, 2004; Pfiffner, 2009).

¹ Dr. Michelle Schneuwly-Bollschweiler, Laboratory of Dendrogeomorphology (dendrolab.ch), Institute of Geological Sciences, University of Bern, Baltzerstrasse 1+3, CH-3012 Bern, Switzerland and Climatic Change and Climate Impacts Group (C³i), Institute of Environmental Sciences, University of Geneva, 7 route de Drize, CH-1227 Carouge-Geneva, Switzerland (e-mail: michelle.schneuwly@dendrolab.ch)

² Dr. Markus Stoffel . Laboratory of Dendrogeomorphology (dendrolab.ch), Institute of Geological Sciences, University of Bern, Baltzerstrasse 1+3, CH-3012 Bern, Switzerland and Climatic Change and Climate Impacts Group (C³i), Institute of Environmental Sciences, University of Geneva, 7 route de Drize, CH-1227 Carouge-Geneva, Switzerland

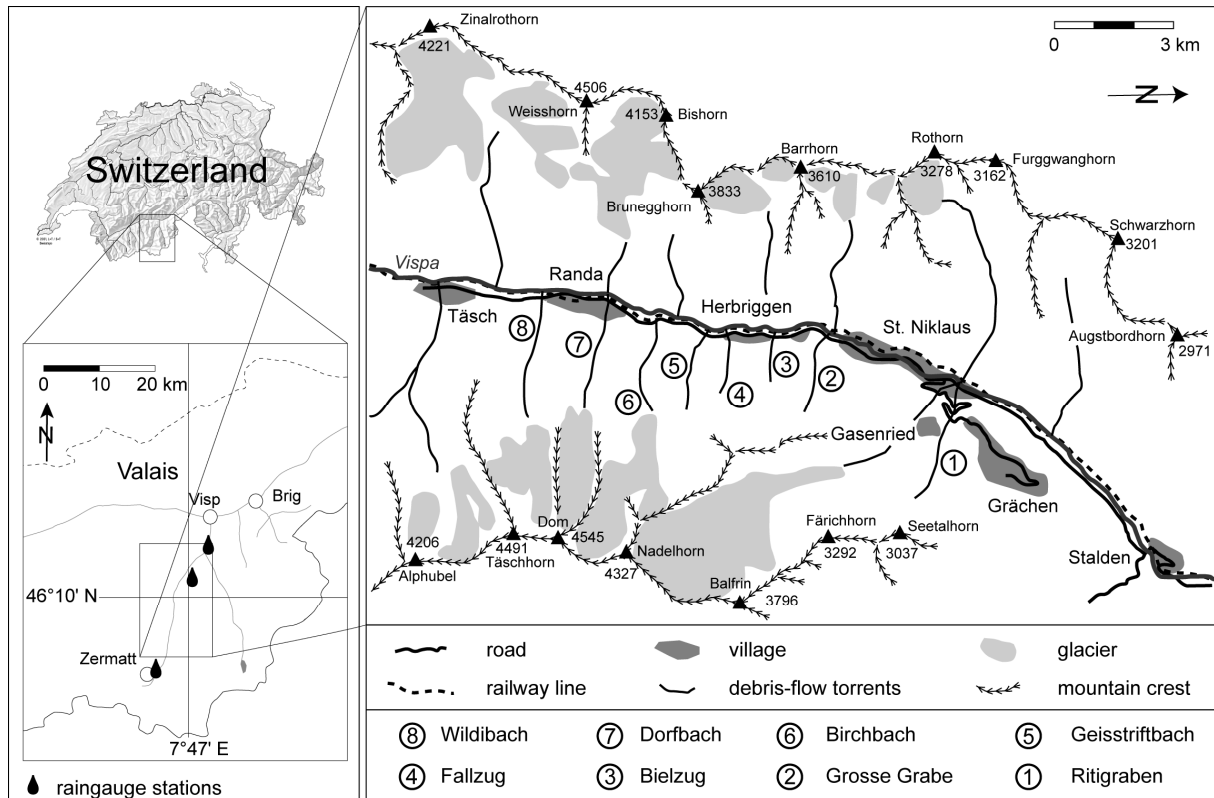


Fig. 1 Location of the eight torrents in the Zermatt valley where the debris-flow occurrence and triggering conditions have been investigated.

Table 1 illustrates that all torrents reveal similar geomorphic settings and that periglacial processes and permafrost are present in all source areas of debris flows (BAFU, 2006; PERMOS, 2009). In three cases, the uppermost reaches of the catchment are glacierized. The catchments reach elevations of up to ~4500 m asl and the initiation zones of debris flows are located between 2000 and 3000 m asl.

Climatic conditions in the study area are characterized by low temperature, snow precipitation and high annual and day-time thermal ranges. These harsh climatic conditions favor morphogenetic processes related to cycles of freezing and thawing and therefore regolith production. Moraine deposits form another source of sediment supply. Triggering of debris flows is normally related to a sudden input of large quantities of water, mainly through intense or persistent rainfall. As material availability is unlimited, the input of water controls the triggering of debris flows. Debris-flow material usually bypasses the steep channels with mean slope angles of 22–33° (mean 27.6°) and is deposited on the debris-flow cones in the valley floor. The Ritigraben presents a different geomorphic setting, as its cone is situated on a structural terrace located 500 m above the valley floor (Stoffel, 2008).

Tab. 1 Geomorphic properties of the investigated catchments.

	Riti-graben	Grosse Graben	Bielzug	Fallzug	Geisstrift-bach	Birchbach	Dorfbach	Wildibach
Glacier					(x)	x	x	x
glaciated area (km ²)	0	0	0	0	0.08	3.4	2.1	2.4
periglacial processes	x	x	x	x	x	x	x	x
min elevation catchment area (m asl)	2600	1900	2100	1900	2100	2000	2000	2100
max elevation catchment area	3136	3178	3192	3350	4035	4545	4479	4545
exposition	west	west	west	west	west	west	west	west
rock	gneiss	gneiss	gneiss	gneiss	gneiss	gneiss	gneiss	gneiss
catchment area (km ²)	0.8	1.5	1.5	2.1	4.3	7.1	5.6	7.7
size cone (ha)	47	48	3.7	26	13	27	63	46
elevation cone (m asl)	1460-1800	1200-1560	1230-1320	1250-1420	1260-1360	1300-1440	1400-1590	1420-1540

All cones are covered with forests primarily composed of European larch (*Larix decidua* Mill.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Cembran pine (*Pinus cembra* L.). The regional climate is typically dry and cool with average annual precipitation of 533 mm in Ackersand (1961–2008), 570 mm in Grächen (1864–2008) and 690 mm in Zermatt (1900–2008). Mean annual temperature amounts to 4.8°C in Grächen (1864–2008) and 3.9°C in Zermatt (1959–1971 and 1981–2008; no temperature data available for Ackersand). January through April are generally the driest months with 30–40 mm on average whereas October is commonly wettest with 63 (±52) mm of precipitation (MeteoSwiss, 2010).

METHODS

This study is based on a total of 116 debris flows between 1864 and 2008 gathered from archival records and tree-ring analysis. The oldest meteorological station in the valley is located in Grächen (46° 11' N, 7°49' E; 1,619 m a.s.l.) and operational since December 1863 (MeteoSwiss, 2010). The station has a continuous daily precipitation and temperature record from December 1863 to December 1886 and from January 1891 to the current day. The Zermatt station (46°01' N, 7°45' E; 1638 m a.s.l.) has been operational since January 1900 and recorded daily rainfall for the entire period, hourly resolved rainfall data for 1981–2008 and temperature data for 1959–1971 and 1981–2008. The northernmost meteorological station of the study area, Ackersand (46°14' N, 7°52' E; 700 m a.s.l.), has been operational since 1961 and only records precipitation.

Archival records indicating the day of the event were available for 22 (19%) debris flows. For the 94 (71%) other events, the possible time window of events was assessed via the intra-annual position of debris-flow injuries and/or tangential rows of traumatic resin ducts (TRD) in the growth series of trees growing on the debris-flow cones (Bollschweile et al., 2008; Schneuwly et al., 2009; Stoffel et al., 2005). The intra-annual position of injuries and TRD allows event dating with up to monthly precision. Rainfall data from the three meteorological stations were then examined within the temporal range suggested by the tree-ring records so as to identify the rainfall events which would have triggered debris flows. We excluded rainy days with maximum temperatures below 5°C as precipitation was likely in the form of snow in these cases in the source area of debris flows. Events recorded in archives which occurred without any precipitation were disregarded from further analysis as these were likely released by triggers other than meteorological (e.g., sudden release of water from glaciers). Results report on precipitation totals of rainfall episodes (either 1, 2 or 3 days) as the approach used did not normally allow determination of the exact hour of debris-flow occurrences. However, the exact duration of triggering storms is not crucial for this study either as we do not aim at

defining intensity-duration relations with sub-daily resolution. While it is true that the meteorological stations are not located in the source area of debris flows and rainfall totals may not therefore be reflective of the exact amount of rainfall in the source area, they are, nevertheless, located within the same valley and in relative proximity of all torrents (min 2 km, mean 12 km).

The timing, duration (with daily resolution) and total amount of rainfall was then assessed for each of the 116 debris flows. We also analyzed antecedent rainfall conditions for the 5, 10, 15 and 30 days preceding debris flows. Boxplots and standard statistical variables (mean, median, minimum, maximum, stdev) were used to analyze and illustrate rainfall totals (1-, 2- and 3-day events) involved in the triggering of debris flows and separated into rainfalls causing debris flows locally (one torrent) or at the regional scale (several torrents). We assessed the number of rainfall events over fixed rainfall thresholds (e.g., 20 mm in 1 day) and the percentage of effective triggering events.

RESULTS

We analyzed a total of 116 rainfall events that triggered periglacial debris flows in the Zermatt valley since 1864 and defined their intra-seasonal timing and duration. With the exception of three rainfall events which only affected the southernmost segment of the study area (i.e. only precipitation at Zermatt), all triggering rainfalls were recorded by the Grächen station (i.e. 113 out of 116 events, or 97%). Zermatt registered 96% of the rainfalls triggering debris flows between 1900 and 2008 and Ackersand 91% of effective storms 1961 and 2008.

Results show that debris flows from these high-elevation sites are released between mid-May (earliest event: 18 May 1960) to late October (latest event: 29 October 1913) with a mean on 3 August. Over the past ~150 yr, most debris flows were released in July and August (60.2% of all events at Grächen; Figure 2), but were also common in June and September (18% and 12%, respectively). Events were, in contrast, rather scarce very early and very late in the debris-flow season with 3% and 7% in May and October, respectively.

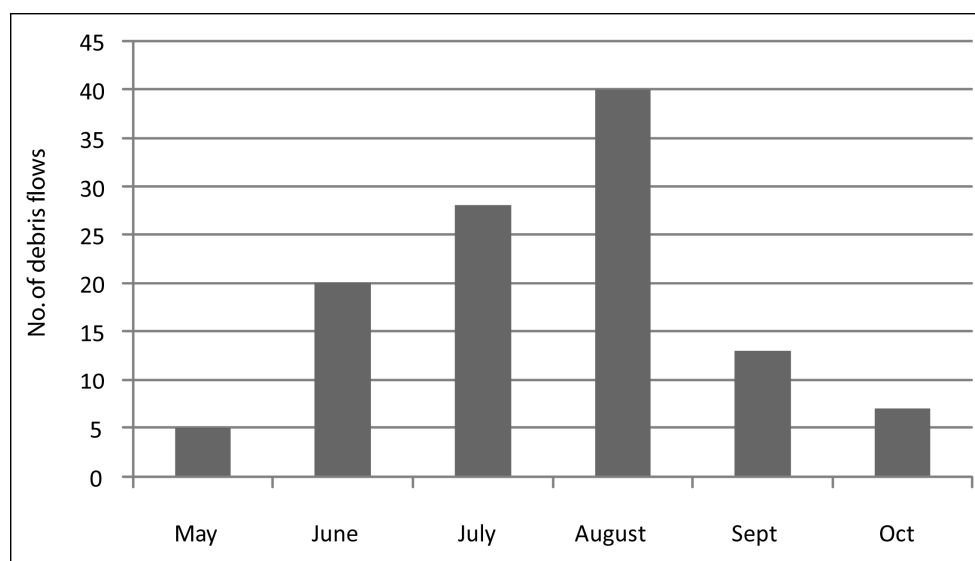


Fig. 2 Temporal occurrence of the 116 debris-flow events occurring in the Zermatt valley between 1864 and 2008. A majority of events occurred in July and August.

A subdivision of the intra-annual occurrence of triggering rainfalls with subsequent debris flows into four equally long time segments (1864–1899, 1900–1935, 1936–1971 and 1972–2008) is provided in Fig. 3 and clearly illustrates that the seasonality of events has shifted over the investigated time period. Between 1864 and 1899, a vast majority of debris flows was triggered in July and August (76% in total) and no debris flows occurred in May and October. The first debris flow in May is recorded for 1923 and the first in October for 1911. During the most recent time interval (1972–2008), debris flows become more frequent early (May) and late (October) in the season with 17% of all events, whereas debris flows have become less abundant in July and August (51%).

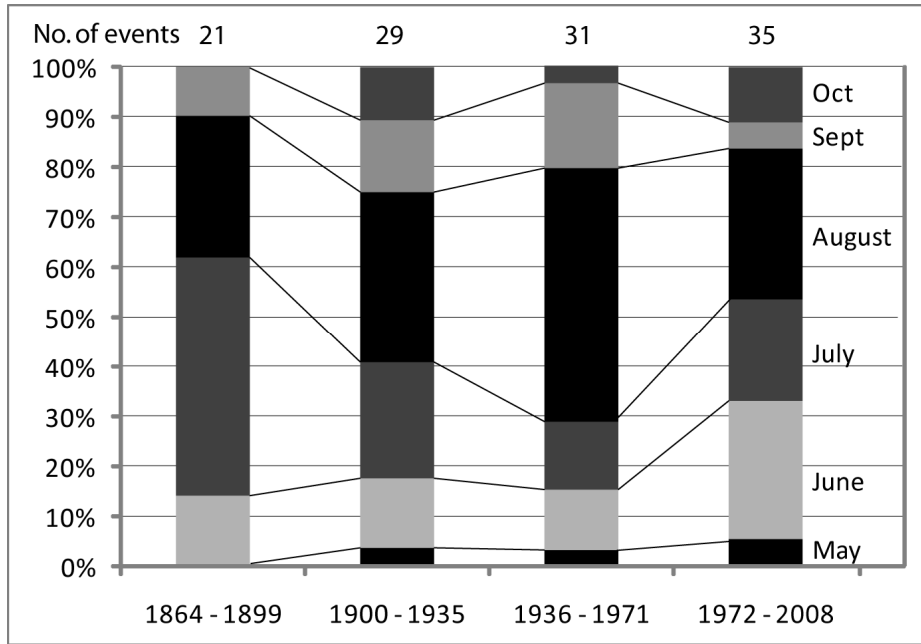


Fig. 3: Evolution of the temporal occurrence of debris flows between 1864 and 2008. Each bar represents an equally long time interval (35 years; 36 for 1972-2008) and the percentage of debris flows occurring per month (May – October). Total number of events per period is given on top of the bars. Whereas no events occurred in May and October between 1864 and the end of the 19th century, 18 % of all debris flows now occur very early (May) or late (October) in the season.

A majority of debris flows was released by short-lived rainfalls (≤ 1 day; Figure 4). This is particularly true for May / June and July / August when 50–60% of all events fall into this category. Longer-lasting precipitation events (3-day events) were rather scarce in general and especially during the initial months of the debris-flow season and in summer (May to August). In July and August, less than 10% of all events were triggered by 3-day rainfalls. Longer-lasting rainfalls are more crucial in September and October when they are responsible for the release of one-third of the debris flows.

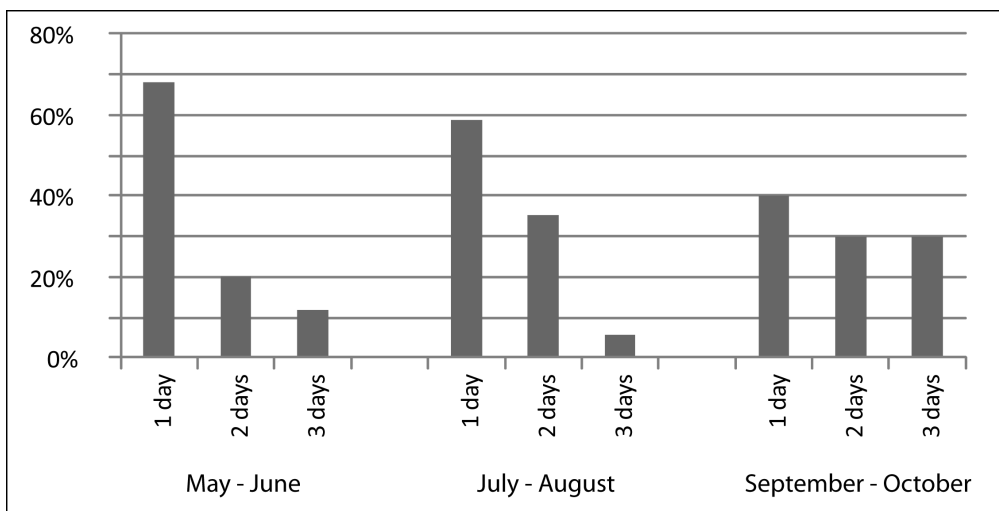


Fig. 4: Temporal occurrence and duration of triggering rainfall events. Early in the season, 1 day intense rainfalls represent the most important triggering characteristic while the importance of longer-lasting rainfalls is more crucial in September and October.

Statistical data on the rainfall sums involved in the triggering of debris flows is provided in the form of boxplots in Figure 5. Mean rainfall totals of debris-flow triggering storms are comparable for the three meteorological stations and vary between about 33 (Ackersand) and 40 mm (Zermatt), with the

slight increase in mean rainfall totals toward the south being in concert with higher annual precipitation recorded in Zermatt as compared to Ackersand. An increase in mean rainfall totals is also observed toward the end of the debris-flow season. While debris flows in May / June and July / August were generally triggered by storms with ~30 mm (1-, 2- and 3-day events combined), significantly higher mean, minimum and maximum precipitation totals are recorded for effective storms in September / October (means are ~45 mm and ~60 mm for Ackersand and Grächen, respectively).

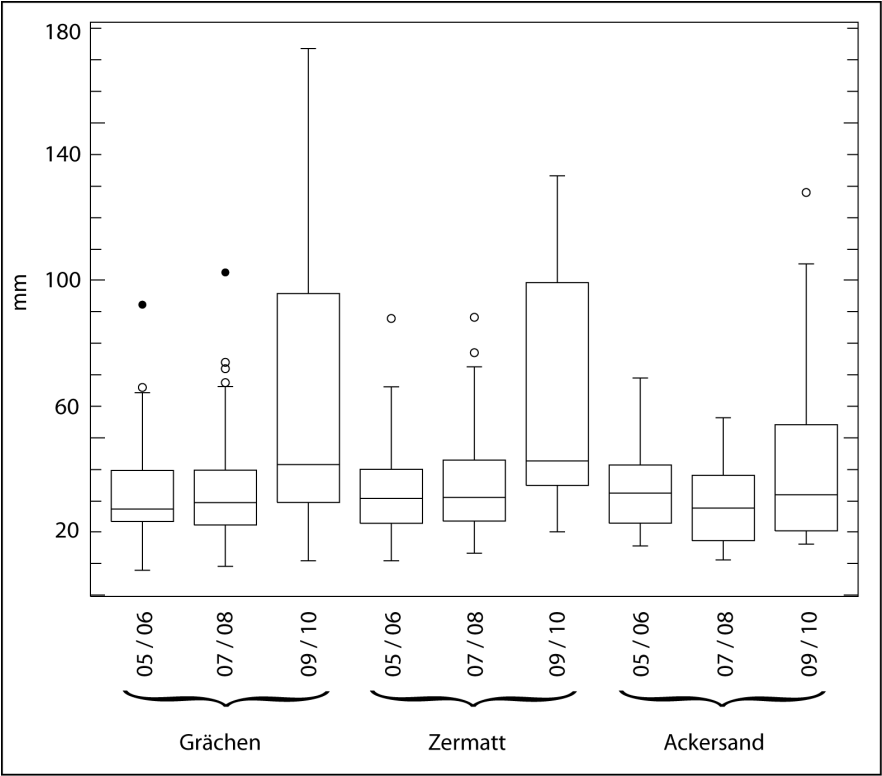


Fig. 5: Boxplots for the total amount of rainfall involved in the triggering of debris flows in May–June, July–August, and September–October). Circles indicate suspected outliers in the dataset.

This increase in the mean may partly be explained through the presence of different precipitation types. In May / June, debris flows were triggered by rather short-lived rainfalls (≤ 1 day), whereas long-lasting rainfalls (≤ 3 day) were more frequently releasing debris flows in September / October. Nevertheless, the range of rainfall sums increases disproportionately with increasing duration as shown by the standard deviations; they are rather low for the 1- and 2-day events with and 18 mm and raises to 31 (Zermatt) and 47 mm (Grächen) for the 3-day events.

The number of rainfall event over a fixed threshold (10 to 50 mm for 1- to 3-day intervals) triggering debris flows is given in Table 2. Threshold exceedences caused debris flows in 10% of the cases if the limit was set at 10 mm (1 day), and to events in 44% of the cases for 40 mm (1 day). Most interestingly, the percentage of effective rainfalls did remain below 35% for 50 mm in 3 days.

Tab. 2 Percentage of triggering rainfall events over fixed thresholds.

		Grächen			Zermatt			Ackersand		
		No. of rainfalls	No. of debris flows	% triggering	No. of rainfalls	No. of debris flows	% triggering	No. of rainfalls	No. of debris flows	% triggering
1 day	> 10 mm	1038	106	10.2 %	881	86	9.8 %	240	37	15.4 %
	> 20 mm	301	84	27.9 %	243	67	27.6 %	84	27	32.1 %
	> 30 mm	106	37	34.9 %	99	36	36.4 %	32	13	40.6 %
	> 40 mm	45	20	44.4 %	38	17	44.7 %	10	3	30.0 %
	> 50 mm	21	8	38.1 %	15	6	40.0 %	7	2	28.6 %
2 days	> 20 mm	467	96	20.6 %	410	80	19.5 %	109	32	29.4 %
	> 30 mm	192	60	31.3 %	182	57	31.3 %	59	18	30.5 %
	> 40 mm	47	15	31.9 %	75	28	37.3 %	29	10	34.5 %
	> 50 mm	47	17	36.2 %	32	20	46.9 %	14	5	35.7 %
3 days	> 20 mm	559	96	17.2 %	493	82	16.6 %	133	35	26.3 %
	> 30 mm	263	75	28.5 %	252	66	26.2 %	77	25	32.5 %
	> 40 mm	133	40	30.1 %	119	41	34.5 %	36	12	33.3 %
	> 50 mm	75	19	25.3 %	58	20	34.5 %	22	6	27.3 %

DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, we analyzed hydrometeorological triggers of past debris flows originating from periglacial environments. Material availability is not normally a limiting factor for debris-flow occurrence in the area and water inputs (mainly during storms) can therefore be seen as the main element controlling the release of debris flows. We assessed dates of past debris-flow activity based on tree-ring records, as well as data from meteorological. The study is based on an unusually long, continuous and almost complete record of past debris-flow activity originating from high-elevation, permafrost environments. We assumed that reconstructed debris flows were triggered by the largest rainfall recorded during the period suggested by the tree-ring data. Possibly, debris flows triggered by localized short duration–high intensity thunderstorms were not always detected fully in the meteorological data and rainfall totals recorded at the station may deviate from those in the source area of debris flows (Buchanan and Savigny, 1990). The inclusion of three rainfall stations located within the same valley, however, considerably reduces the risk of faulty storms being considered as triggers of specific debris flows. In addition, the horizontal (min. 2km, mean 7km) and vertical (400 m) distances between source areas of debris flows and meteorological stations is very low as compared to most other studies analyzing linkages between debris-flow occurrence and rainfalls. Nevertheless, archival records contained information on 17 debris flows released during sunny days without precipitation recorded. These events were likely the result of the sudden release of water from glaciers (as is often suggested in the archival records).

Debris flows currently occur between May and October with a peak in activity in July and August. A majority of events is apparently triggered by short-duration, localized rainfalls, mainly in the form of summer thunderstorms (Staley and Wasklewicz, 2011). The number of longer lasting (>48h) rainfalls with subsequent debris flows in several catchments clearly increases in September and October when persistent low-pressure systems in the Mediterranean cause advective precipitation events in the Alps (Schmidli and Frei, 2005).

Temperature trends for the last century exhibit strong warming tendencies, both in mean and maximum temperature (Beniston, 2005; Beniston, 2009); precipitation data shows a tendency towards more intense rainfall events in autumn (Schmidli and Frei, 2005). These changes in temperature and precipitation regimes also resulted in a seasonal shift of debris-flow activity towards more events early (May / June) and late (September / October) in the season since the beginning of the 20th century. As a result, the debris-flow season has become longer as compared to the late 19th century when events were not apparently triggered in May and October. We speculate that this shift reflects impacts of climate change at high-elevation sites with reduced snow cover duration, earlier storms in spring, later rainfalls in fall as well as enhanced active-layer thawing of the permafrost bodies in the source areas of debris flows. Permafrost temperature has been reported to have warmed by about 0.5 to 0.8°C in the upper tens of meters in the 20th century and the lower permafrost limit has been estimated to have risen vertically by about 1m yr⁻¹ (Harriset al., 2003) since the 1850s.

The assessment of rainfall totals involved in the triggering of debris flows is certainly restricted by the absence of rain gauges in the source area of debris flows, the coarse resolution of the record (24h) and by the fact that the exact moment of triggering within a precipitation events is unknown. Nevertheless, this study provided valuable insights into how debris-flow occurrences depend on rainfalls and how rainfall totals leading to the release of debris flows may change during the season. For instance, our data shows that storms with recorded rainfall totals <20 mm might be enough to trigger a debris flow in May / June (mean rainfall recorded during May / June events was ~30 mm), and that larger rainfall inputs (>25 mm; mean: 55 mm) are needed to release debris flows in September / October. These differences in minimum and mean values can be explained by the influence of snow melt during early season events which will add additional water to the system and therefore favor the release of debris flows even at rather low rainfall totals. This was, for instance, the case of the May 2011 Dorfbach debris flow which occurred after as little as 16 mm of rainfall recorded by a rain gauge which has been installed recently in its source area (personal communication Christoph Graf, WSL Birmensdorf). In addition to snow melt, the presence of ice (and a thin active layer) will likely result in concentrated runoff in the permafrost bodies (Krainer and Mostler, 2002) and thereby facilitate the release of debris flows. The low rainfall totals in July / August are reflective of short lived (minutes – hours) but high intensity thunderstorms which are only poorly represented in daily resolved precipitation records. The large precipitation totals recorded during late-season debris flows (September / October) are the result of more frequent long-duration rainfalls. In addition, it is possible that the higher thresholds observed in September / October would be reflective of thicker active layers in the permafrost bodies at the end of the summer (Akerman and Johansson, 2008; Wright et al., 2009) allowing for more water to be absorbed without producing a debris flow.

Based on our data, however, there is scope and reason to believe that the risk for a debris flow to occur considerably increases as soon as rainfall sums exceed 20 mm in one day, 30 mm in two days or 40 mm in three days. These values therefore are well below the envelope proposed in regional studies (Caine, 1980; Guzzetti, Peruccacci, Rossi and Stark, 2008) but are in concert with data from Spitsbergen (Larsson, 1982; Rapp, 1960) where comparably low thresholds have been reported for debris flows originating from permafrost bodies. The absence of a maximum threshold in our dataset might be due partly through the exclusion of rainfalls with a temperature ≤5°C (measured at 1600 m a.s.l.). Runoff will be limited in these cases as snow in the upper catchments will likely inhibit the liquefaction of loose material and therefore prevent the occurrence of debris flows.

Antecedent rainfall and soil moisture conditions have been reported to considerably impact the triggering of debris flows or shallow landslides (Corominas and Moya, 1999; Glade et al., 2000; Wieczorek, 1987). Antecedent moisture certainly plays a crucial role in forested areas and in catchments with thick soils (Jakob and Weatherly, 2003; Johnson and Sitar, 1989), but is less important or even negligible in regions without a soil cover and/or high permeability of the uppermost

layers (Brand, 1995). The same holds true for our data where we tested the influence of antecedent rainfall 5, 10, 15, and 30 days prior to the event, but where we could not find an influence at all on the triggering of debris flows. The complete absence of soil and the coarse grain-size distribution in the source areas of the debris-flow torrents results in a very limited storing capacity for water and instantaneous runoff. Coe et al. (2008) also state that high antecedent moisture levels are not a prerequisite for the initiation of debris flows in periglacial environments as runoff would start immediately and as sediment along the channel would become quickly saturated.

Results obtained in this study are of importance for the understanding of debris-flow occurrence in periglacial environments. High-intensity precipitation in summer may release a debris flow at rainfall totals below 20mm. Rainfall totals and the duration of precipitation events increase in September and October when persistent (>48 h) advective rainfalls with lower intensities represent the main cause of debris flows. Debris flows early in the season are generally triggered by lower rainfall totals than late in the season as snow melt contributes to runoff in the catchment area and therefore facilitates their release. The general increase of mean and maximum temperatures in the Swiss Alps since the early 20th century has resulted in an extension of the debris-flow season. Subdaily rainfall data would help to further refine the reconstruction and rainfall totals responsible for the triggering of debris flows. More research is needed on the timing of past occurrence and related rainfall totals as such data may help the evaluation and improve our understanding of situations which could lead to the triggering of debris flows in a future greenhouse climate. Through the systematic analysis of such data with downscaled projections of future precipitations, it would be possible to check for rainfalls over a specific threshold even more for areas where material availability is not currently and will not in the future be a limiting factor for the occurrence of debris flows.

REFERENCES

- Akerman HJ, Johansson M (2008) Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes* 19: 279-292 DOI Doi 10.1002/Ppp.626
- BAFU (2006) Hinweiskarte Permafrost Schweiz http://umweltzustand.admin.ch/?reset_session&initialState=permafrost&lang=de#.
- Beniston M (2005) Climatic change and its possible impacts in the alpine region. *Revue De Geographie Alpine-Journal of Alpine Research* 93: 25-32
- Beniston M (2009) Decadal-scale changes in the tails of probability distribution functions of climate variables in Switzerland. *International Journal of Climatology* 29: 1362-1368 DOI 10.1002/joc.1793
- Bollschweiler M, Stoffel M, Schneuwly DM, Bourqui K (2008) Traumatic resin ducts in Larix decidua stems impacted by debris flows. *Tree Physiology* 28: 255-263
- Brand EW (1995) Slope instability in tropical areas. In: Bell DH (ed) *Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*:2031-2051.
- Brand EW, Premchitt J, Phillipson HB (1984) Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. *Proceedings of the IV International Symposium on Landslides, Toronto 1*
- Buchanan P, Savigny KW (1990) Factors Controlling Debris Avalanche Initiation. *Canadian Geotechnical Journal* 27: 659-675
- Caine N (1980) The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography* 62: 23-27
- Coe JA, Kinner DA, Godt JW (2008) Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado. *Geomorphology* 96: 270-297 DOI 10.1016/j.geomorph.2007.03.017
- Corominas J, Moya J (1999) Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology* 30: 79-93
- De Vita P, Reichenbach P, Bathurst JC, Borga M, Crozier GM, Glade T, Guzzetti F, Hansen A, Wasowski J (1998) Rainfall-triggered landslides: a reference list. *Environmental Geology* 35: 219-233

- Glade T, Crozier M, Smith P (2000) Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical "Antecedent Daily Rainfall Model". *Pure and Applied Geophysics* 157: 1059-1079
- Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark CP (2008) The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides* 5: 3-17 DOI DOI 10.1007/s10346-007-0112-1
- Harris C, Vonder Muhll D, Isaksen K, Haeberli W, Sollid JL, King L, Holmlund P, Dramis F, Guglielmin M, Palacios D (2003) Warming permafrost in European mountains. *Global and Planetary Change* 39: 215-225 DOI 10.1016/j.gloplacha.2003.04.001
- Jakob M, Weatherly H (2003) A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. *Geomorphology* 54: 137-156 DOI Doi 10.1016/S0169-555x(02)00339-2
- Johnson KA, Sitar N (1989) Significance of Transient Pore Pressures and Local Slope Conditions in Debris Flow Initiation. *Proceedings of the Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol 3: 1619-1622*
- Krainer K, Mostler W (2002) Hydrology of active rock glaciers: Examples from the Austrian Alps. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 34: 142-149
- Labhart TP (2004) *Geologie der Schweiz*, 6th edition edn Ott Verlag, Thun
- Larsson S (1982) Geomorphological effects on the slopes of Langyear Valley, Spitsbergen, after a heavy rainstorm in July 1972. *Geografiska Annaler* 64A: 105-125
- On-line database from MeteoSwiss. <http://www.meteoswiss.ch/en/> (2010)
- PERMOS (2009) Permafrost in Switzerland 2004/2005 and 2005/2006. In: Noetzli J, Naegeli B, Vonder Muehll D (eds) *Glaciological report (permafrost) no 6/7 of the Cryospheric Commission (cc) of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT)*.
- Pfiffner OA (2009) *Geologie der Alpen Haupt, Bern, Stuttgart, Wien*
- Rapp A (1960) Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, Northern Scandinavia. *Geografiska Annaler* 42: 65-200
- Schmidli J, Frei C (2005) Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *International Journal of Climatology* 25: 753-771 DOI Doi 10.1002/Joc.1179
- Schneuwly DM, Stoffel M, Bollschweiler M (2009) Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts. *Tree Physiology* 29: 281-289 DOI 10.1093/treephys/tpn026
- Staley DM, Wasklewicz TA (2011) Deciphering the geomorphic processes influencing alpine debris fans using airborne laser swath mapping data: an example from the Colorado Front Range. In: Schneuwly-Bollschweiler M, Stoffel M, Rudolf-Miklau F (eds) *Dating torrential processes on fans and cones - methods and their application for hazard and risk assessment*.
- Stoffel M (2008) Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia* 26: 53-60 DOI 10.1016/j.dendro.2007.06.002
- Stoffel M, Lièvre I, Monbaron M, Perret S (2005) Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Swiss Alps) - A dendrochronological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie* 49: 89-106
- Wieczorek GF (1987) Effect of rainfall intensity and duration of debris flows in Central Santa Cruz Mts, California. In: Costa JE, Wieczorek GF (eds) *Debris flows / avalanches: process, recognition and mitigation:93-102*.
- Wright N, Hayashi M, Quinton WL (2009) Spatial and temporal variations in active layer thawing and their implication on runoff generation in peat-covered permafrost terrain. *Water Resources Research* 45: - DOI Doi 10.1029/2008wr006880

QUANTIFYING ROOT REINFORCEMENT IN PROTECTION FORESTS: IMPLICATIONS FOR SLOPE STABILITY AND FOREST MANAGEMENT

Massimiliano Schwarz¹, Jean-Jacques Thormann², Kaspar Zürcher³, Karin Feller⁴

ABSTRACT

The mechanical effect of roots on slope stabilization is widely recognized and is considered an important element in protection forests. However, the quantification of root reinforcement represents a challenge due to the complexity of root-soil frictional mechanisms and heterogeneous root distribution. In this work we review the state of the art on approaches for the spatial characterization of root reinforcement, and we present a novel method for the implementation of quantitative approaches in the management of protection forests. Tree root distribution of three species was characterized in a study area for the calibration of a root distribution model (RootMap). The calibrated RootMap and back analysis approaches for slope stability calculations were applied in order to quantitatively define the minimal profiles of protection forests. The results indicate that soil type and slope gradient are important factors that should be considered to define the minimal protection forests profiles. The presented results will be applied to the optimization of protection forest management strategies in steep slopes.

Keywords / Mots-clés / Parole chiave: root reinforcement, shallow landslides, management of protection forests

INTRODUCTION

The mechanical contribution of roots to the stability of steep slopes is a key factor that influences many different processes in alpine regions (e.g. shallow landslides, erosion, and sediment balance). Especially in protection forests, root reinforcement is considered as an important criteria for the definition of forest “minimal profiles” (Frehner et al., 2005). However, root reinforcement is in most cases only qualitatively considered, and the knowledge about this topic is based only on approximate scientific studies. In particular, most of the results of scientific works done during the last three decades are based only on the approach of Wu (Wu et al., 1979), and on few datasets of tree root distributions in vertical soil profiles (without considering the horizontal variability).

The limitations of the Wu approach were listed in recent studies, empathizing the importance of the progressive nature of root bundles failure and the spatial heterogeneity of root reinforcement (reviewed in Schwarz et al. (2010b)). These studies show that the Wu approach strongly overestimates root reinforcement (up to 300%, depending on the root distribution), and does not give information about the nature of root failures (stress-strain behaviors). Recent studies on root-soil interaction highlighted these aspects and proposed advanced quantitative approaches for the upscaling of root reinforcement from single root to stand scale, implementing new parameters that allow a better understanding of the root reinforcement mechanisms during the triggering of shallow landslides. The main innovative aspects of the new approaches reviewed in this work include: a) quantification of root spatial distribution and architecture (diameter and length), b) three-dimensional calculation of

¹ Dr. Massimiliano Schwarz. Bern University of Applied Science, Länggasse 85, 3052 Zollikofen, Switzerland (e-mail: massimiliano.schwarz@bfh.ch)

² Prof. Jean-Jacques Thormann. Bern University of Applied Science, Switzerland

³ Ing. Kaspar Zürcher. Bern University of Applied Science, Switzerland

⁴ Ing. Karin Feller, Bern University of Applied Science, Switzerland

slope stability considering the lateral contribution of root reinforcement, and c) introduction of a strain-dependent quantification of root reinforcement.

The results of the above listed new approaches build up the basis for the understanding of the stabilizing mechanisms of root networks in vegetated slopes, thus allowing a better quantitative analysis of the most important factors related to forest management (such as forest structure and species composition).

The objective of this work is to review the state of the art of approaches used for the spatial characterization of root reinforcement, and to present a novel implementation of these quantitative approaches in a simple tool for the management of protection forests. In particular, this work aims to enhance the transfer of knowledge from scientific platforms to practical applications, reducing the big amount of time and efforts needed for the scientific results into simple quantitative tools for the practice.

MATERIAL AND METHODS

In the first phase of the presented study, the models for the quantification of root reinforcement are calibrated and validated with field data. Secondly, the calibrated models are used to calculate the values of root reinforcement for different type of forests. Finally, a novel method for the quick estimation of slope stability and root reinforcement distribution is applied for the planning of silvicultural interventions in forests with protective functions. The following paragraphs give the details about the collection of root distribution in the field and about the modeling approaches used to calculate root reinforcement and slope stability.

Study area

The study area (Fig. 1) is located in a catchment near the village of Schangnau in the canton of Bern (Switzerland), where a number of shallow landslides have occurred (coordinates: 629.560/185.040 CH1903). The area was chosen as representative for situations where slopes are susceptible to shallow landslides and where forest management needs to take into account the protection function as important criteria. The area is situated in a young geological formation (tertiary) dominated by continental molasse. The altitudes of the study area is about 1000 m.a.s.l. and the slope is north exposed. The soil thickness is in mean deeper than 2 m and slope inclination is about 25°. The pedogenesis is strongly influenced by the morphology, thus in general there are drained alfisols (aqualfs) with a clay enriched horizons (USDA soil taxonomy) on elevated zones, whereas more wet, reduced, and hydric soils forms in depressions and near streams. Soil texture was classified as a sandy clay (SC) with the field method (Brady and Weil, 2007). The dry and saturated soil bulk density was estimated using the USGS soil classification tables. The mechanical properties of soil material were estimated based on the soil classification as well.

The site has a dominant vegetation cover composed of spruce (*Picea abies*) and fir (*Abies alba*), with the presence of beech (*Fagus sylvatica*) and maple (*Acer pseudoplatanus*). The mean stem diameter is about 0.3 m (DBH). The Forest has a one layer structure with a cover ratio of 80%. The cover is homogeneous, interrupted by small gaps (max 5 m width). Cover height is between 20 and 25 m. Forest regeneration is dominated by fir (*Abies alba*) and maple (*Acer pseudoplatanus*) species. Forest regeneration cover range between 20 and 60%. The stand is classified as a fir-beech forest (*Abieti-Fagetum*).

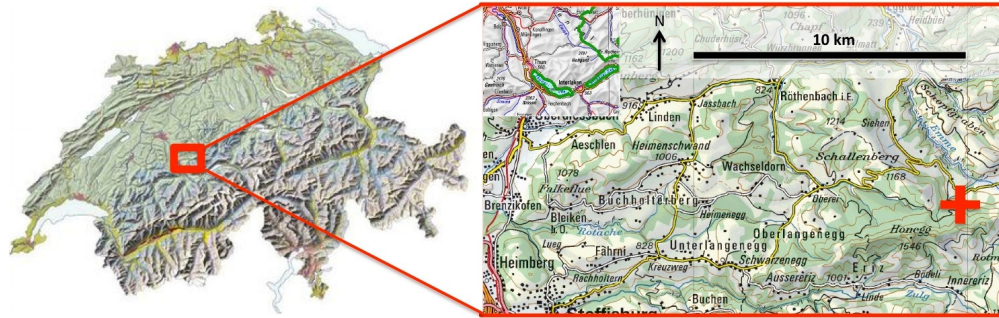


Fig. 1 Localization of the study area (red cross).

Root distribution measurements

Root distribution is characterized in term of lateral-horizontal distribution. Vertical distribution of roots is considered less important for shallow landslides in deep soils because few roots usually cross the shear plane of the landslides, thus their contribution to stability may be neglected (Schwarz et al., 2010a). The root distribution is described as number of roots for each root diameter classes. The trees for the collection of the data are chosen based on their diameter (DBH), social position within the stand, and aspect. Near each tree, three soil profiles are excavated at three distances from stem (0.5, 1.5, and 2.5 m), as shown in figure 2. The soil profiles are 0.5 m width and 0.5 m deep. The direction where the soil profiles are excavated is chosen minimizing the possible concurrence effects of neighbor trees. Death roots could be distinguished from the live roots on the base of the consistence of the root phloem/xylem and the cortex. Moreover, the species of the roots was determinate based on the bark color/morphology, as well as on root topology. For each soil profile, the diameter (with root cortex) of each root was measured and noted as root frequency vs. root diameter classes. Roots were defined as fine roots with diameter lower or equal than 1.5 mm, and as coarse roots with diameter larger than 1.5 mm. Coarse roots were classified in 1 mm diameter classes.

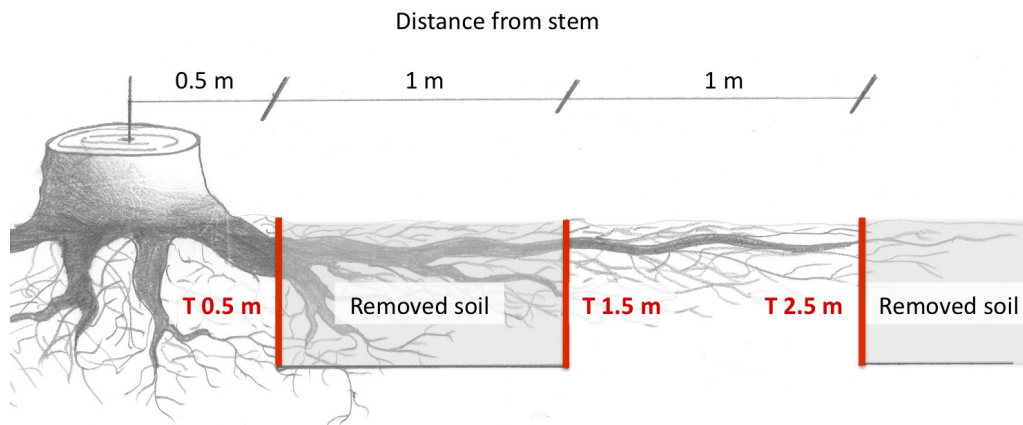


Fig. 2 Schema of the soil profiles positions where root distributions were collected for each selected tree.

Root distribution modeling

The model used for the simulation of root distribution is based on four parameters (Schwarz et al., 2010b) (pipe coefficient, maximal lateral rooting distance, scaling factor, and an exponent used to calculate the density of coarse roots). Schwarz et al. (2010b) show how these parameters may be obtained from the literature or from field measurements, and how this approach allows a realistic estimation of root distribution for spruce trees (*Picea abies*). The up-scaling of root distribution at the stand scale is done considering a simple superposition of single root systems.

The root distribution is characterized considering root diameter classes and frequency.

Once the model is calibrated, it can predict the dimension and the number of roots at a certain distance from a defined tree/plant. Different calibrations are needed as a function of the tree/plant species and the climatic station.

In this study, the model is calibrated with new data collected in the selected study area. In order to give a quantitative, but relative, estimation of the model's goodness of fit, we minimized the sum of squared errors (SSE) for the calibration of the model parameters, and we compared the SSE of the calibration with the SSE of the validated data. The validation of the model parameters for the estimation of root frequency in different root diameter classes was done with a weighted sum of squared errors (wSSE). The weighting factor was calculated on the base of the mechanical properties of the roots, so that the calibration takes into account the effects that root distribution has on the calculation of root reinforcement (the error of reinforcement due to the overestimation of one big root is higher than the overestimation of one small root).

Root reinforcement modeling

We estimate the spatial distribution of root reinforcement by upscaling the mechanical behavior of a single root to a large number of roots distributed in a forest stand using the model framework of Schwarz et al. (2010b). The framework combines two independent models: (1) a root distribution model for secondary lateral roots (explained above), and (2) a root bundle model for computing pullout force. For simplicity, we assume that:

- Root distribution of a single tree is symmetrical and not influenced by neighboring trees;
- The pullout force behavior of a single root is not influenced by neighboring roots;
- Lateral root reinforcement is independent of direction (isotropic).

To estimate mechanical reinforcement, we use a modified version of the root bundle model (RBM) (Schwarz et al., 2010c). The RBM is an extension of the fiber bundle model where bundles are made up of many roots, each with distinct geometrical and mechanical characteristics. These characteristics are given by three power-law equations that relate root diameter to length, apparent Young's modulus, and maximum tensile force. Root length is given by

$$L_{(\Phi)} = L_0 \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^\gamma \quad [\text{m}] \quad (1)$$

where $L_{(\Phi)}$ is the tortuous root length, L_0 is an empirical characteristic length, Φ is root diameter, Φ_0 is the reference diameter used in equation ~1 (to make the ratio dimensionless), and γ is an empirical power-law exponent. Based on the RBM parameter study of Schwarz et al. (2010b), root length is one of the parameter that has the largest effect on bundle pullout force.

The apparent Young's modulus is computed from

$$E_{(\Phi)} = E_0 \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^{-\beta} r \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

where $E_{(\Phi)}$ is the Young's modulus, E_0 is an empirical characteristic modulus, β is an empirical power-law exponent, and r is a dimensionless coefficient introduced to consider the effects of root

tortuosity on the tensile behavior of a root (see Schwarz et al., 2010c). The maximum (breaking) tensile force as a function of diameter is given by

$$F_{\max(\Phi)} = F_0 \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^\xi \quad [\text{N}] \quad (3)$$

where $F_{\max(\Phi)}$ is the maximum tensile force, F_0 is an empirical characteristic tensile force, and ξ is an empirical power-law exponent. Values of parameters in equations 1 through 3 are given in Table 1.

Tab. 1 Literature values of the mechanical parameters used for the RBM for different tree species.

Species	L_0	γ	E_0	β	F_0	ζ	Ref.
<i>Picea abies</i>	285	0.7	600	1	28	1.3	Schwarz et al., 2010c
<i>Abies alba</i>	285*	0.7*	600*	1*	28*	1.3*	-
<i>Fagus sylvatica</i>	285*	0.7*	600*	1*	41	0.9	Bischetti et al., 2009

*In the case where no literature data were found, values of other known species were applied.

Assuming roots behave as elastic-brittle fibers and using equations 1 through 3, the RBM computes the pullout force of a root bundle as a function of displacement during displacement-controlled loading of the bundle. With increasing displacement, the force in each root increases and roots fail progressively from weakest to strongest. In this modified version of the RBM, we assume that all roots break rather than slip out of the soil matrix based on field pullout tests that indicate that most roots fail under tension (Schwarz et al., 2010c; Schwarz et al., 2011). The implementation of the root distribution model and the RBM in a spatial referential system (considering the position and the dimensions of the trees) allows the spatial characterization of root reinforcement distribution at the stand scale. This model is called RootMap.

Slope stability calculations

We implement limit equilibrium assumptions for an infinite slope to compute slope stability. The failure condition was quantified using the Mohr-Coulomb criterion. The inclusion of lateral root reinforcement in slope stability calculations was achieved by considering an additional stabilizing force proportional to the scarp surface and to the mean root reinforcement.

Additionally, we computed the force balance for different landslide shapes (varying the ratio between the two principal axes) and dimensions.

The standard formulation of the limit equilibrium equation for the infinite slope is

$$SF = \frac{A \cdot \tau_{bas}}{F_{par}} \quad [-] \quad (4)$$

where SF is the Safety Factor, A is the landslide area (m^2), τ is the shear strength at the slip interface (kPa), and F_{par} is the destabilizing force parallel to slip interface.

The modified formulation of the limit equilibrium equation for a safety factor SF considering lateral root reinforcement is:

$$SF = \frac{A \cdot \tau_{bas} + F_{lat.veg.}}{F_{par}} \quad [-] \quad (5)$$

including the terms for lateral and basal forces, $F_{lat.veg.}$ and τ_{bas} , and the driving force F_{par} . Below the expressions for the various forces and strengths are listed:

$$F_{par.} = [(A \cdot h) \cdot \gamma \cdot g \cdot \sin \beta] + (A \cdot m_{veg.} \cdot g \cdot \sin \beta) \quad [\text{kN}] \quad (6)$$

$$F_{lat.veg} = \frac{\text{lateral_Area}}{2} \cdot c_{lat} \quad [\text{kN}] \quad (7)$$

$$\tau_{bas.} = c + \sigma^* \cdot \tan \phi' \quad [\text{kPa}] \quad (8)$$

$$c = c_s + c_{bas.veg.} \quad [\text{kPa}] \quad (9)$$

$$\text{where } \sigma^* = \sigma - u \quad [\text{kPa}] \quad (10)$$

is the effective normal stress.

σ = total normal stress, considering also the mass of the vegetation [kPa]

u = pore water pressure [kPa]

ϕ' = residual friction angle [°]

A = basal area [m²]

h = soil depth [m], perpendicular to the slope

γ = soil bulk density [t/m³]

β = slope angle [°]

m_{veg} = weight of vegetation cover [t/m²]

c_s = residual soil cohesion [kPa]

$c_{lat.veg.}$ = lateral root reinforcement [kPa]

$c_{bas.veg.}$ = basal root reinforcement [kPa]

g = gravitational acceleration [m/s²]

The main assumption for the implementation of root reinforcement in the slope stability calculations is that roots along the scarp were subjected to similar displacement. In reality, roots on the upper part of the scarp are activated before roots located on the sides of the landslide scarp. The RBM was applied considering a series of static strain-controlled loading of a bundle of roots containing roots with different properties (e.g., Young's modulus and maximum tensile strength, which varies as a function of root diameter) to quantify the bundle stress-strain behavior.

For the back calculation of the needed lateral root reinforcement ($c_{lat.root}$) for different slope inclinations, soil types and landslide dimensions, the following formula was applied:

$$c_{lat.root} = \left((SF * F_{par.}) - (A \tau) \right) / A_{lat} \quad [\text{kPa}] \quad (11)$$

where A_{lat} [m²] is the lateral surface on which the root reinforcement is applied. In this case is calculated as the upper half part of the lateral surface (with depth h) of an typical elliptical landslide where the length axis is double than the width axis (Graf and Rickli, 2009).

In order to simplify the estimation of the soil mechanical properties, the USGS soil types were grouped in four classes as follow:

- Soil class 1 ($\phi = 20-25^\circ \pm 5^\circ$): MH, OH, OL, CH.
- Soil class 2 ($\phi = 26-30^\circ \pm 5^\circ$): CL, SC-CL, GC-CL.
- Soil class 3 ($\phi = 31-35^\circ \pm 5^\circ$): ML, SC, SM, GM-ML, GC.
- Soil class 4 ($\phi = 36-40^\circ \pm 5^\circ$): SP, SW, GM, GP, GW.

The minimal tree densities are calculated considering the minimal distance needed between two trees in order to reach the defined minimal value of root reinforcement. For instance, if the needed reinforcement is 5 kPa, the distance at which a single tree reach the value of 2.5 kPa is extrapolated from the root reinforcement curves (see figure 5) and is multiplied time 2. This calculation assumes that root reinforcement of two overlapping root systems can be lineary added. Tree density (N^o of trees/ha) is calculated dividing one ha by the squared mean distance between trees (thus assuming a squared area of occupancy for each tree). The maximal gap area is calculated considering a mean root

reinforcement along the gap edges of 5 kPa and back calculating the minimal area of a shallow landslide for a factor of safety equal to 1, and considering a shape of the landslide where the main axes is 3 time the perpendicular one. Gap edges are defined in the swiss guidelines for protection forest management (NaiS), as the limits of the crown projection on the ground.

RESULTS

Root distribution

Root distribution data were collected for 10 trees and a total of 30 soil profiles. Table 2 gives an overview of the selected trees and their DBH. Two classes of stem diameter (DBH) could be selected (a 0.2 m class and a 0.4 m class). The data of the 0.2 m DBH class was used for calibration and the data of the 0.4 m DBH class was used for validation.

Tab. 2 Summary of the selected trees sampled for root distribution data. Species are indicated with S=spruce, F=fir, and B=beech.

Tree N°	Species	DBH [m]
1	S	0.37
2	S	0.22
3	S	0.2
4	S	0.37
5	F	0.22
6	F	0.38
7	F	0.24
8	F	-
9	F	0.24
10	B	0.36
11	B	0.35

In the first phase of the study the model for the quantification of root reinforcement is calibrated and validated with the field data of root distribution. Two types of data regressions are important for the calibration: the distribution of fine root in function of the distance from tree stem, and the root frequency in different root diameter classes at different distances from tree stem. Figure 3 shows the fine root distribution data used for calibration (3a) and for validation (3b) of the model. The number of fine roots per linear circumferential meter tends to decrease with increasing distance from tree stem for all tree species. However, in the range of distance between 5-8 times the DBH, the number of fine root reaches the maximal intensity and decrease in the proximity of the tree stem. Generally, the total number of fine roots increases with increasing tree DBH. While it was possible to validate the model for spruce and fir species, the uncompleted dataset for beech species did not allowed a validation.

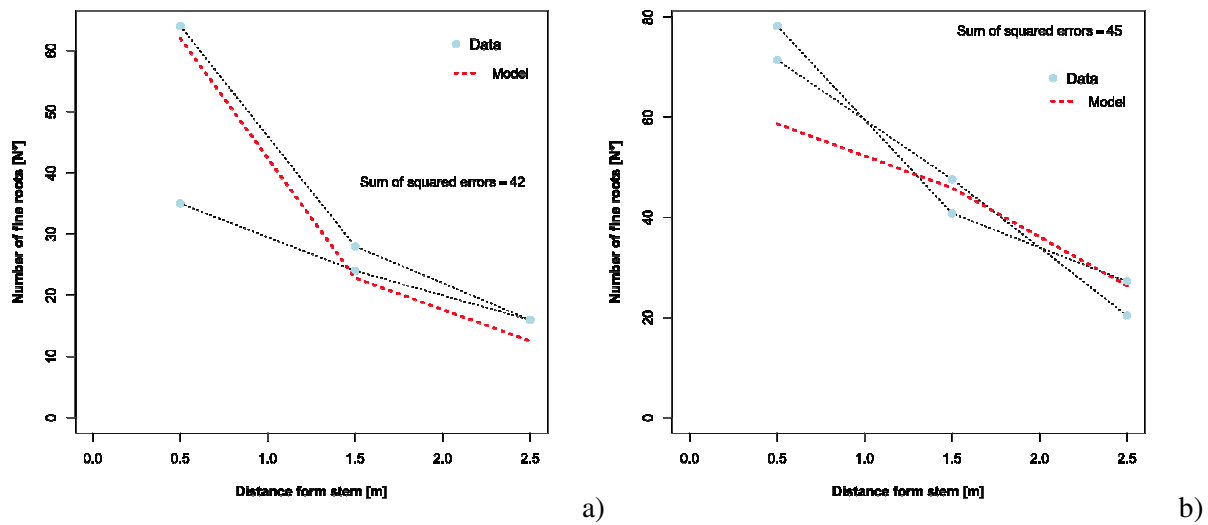


Fig. 3 Fine root frequency distribution in function of distance from tree stem. Figure 3a shows the calibration data of the tree number 2 and 3 (DBH class 0.2 m), whereas the figure 3b shows the validation data of tree number 1 and 4 (DBH class 0.4 m). The number of fine roots is referred to one linear circumferential meter.

The distribution of fine roots is an important input parameter for the calculation of the frequency of coarse roots. Figures 4a and 4b show typical relationships between the number of coarse roots and the different root diameter classes for three distances from tree stem (0.5, 1.5, and 2.5 m), for calibration data (4a) and validation data (4b). The number of roots decays exponentially with increasing class of root diameter. The total number of root decreases by increasing the distance from tree stem, and the maximal root diameter decreases with increasing distance from tree stem. The number of roots for each diameter class at different distances from tree stem is used as an input for the calculation of root reinforcement with the RBM. The ranges of errors shown in table 3 correspond to circa 20-60% error in the estimation of the total fine root frequency and to circa 15-20% error in the root reinforcement calculation.

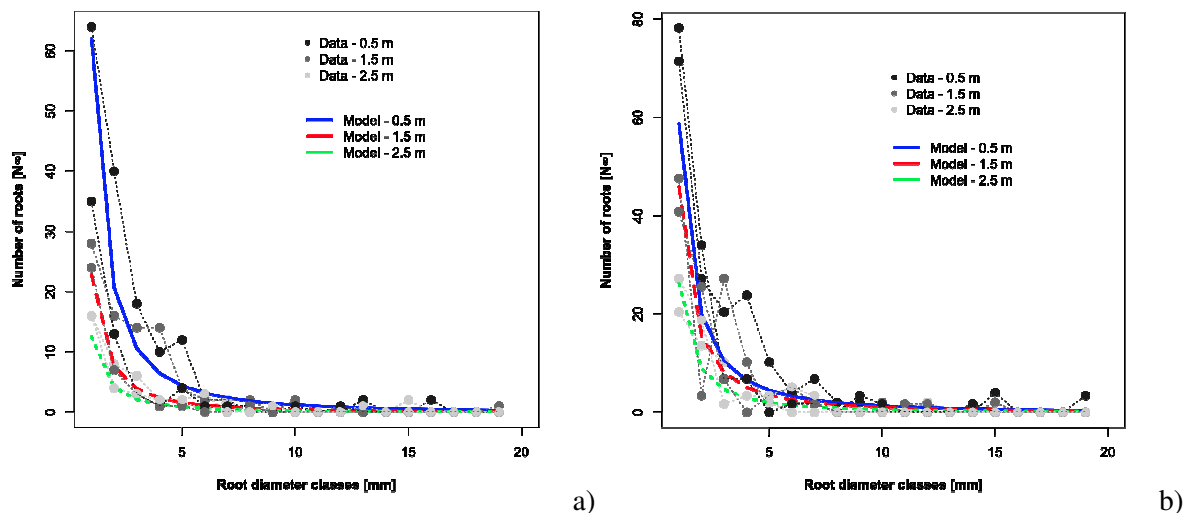


Fig. 4 Coarse root frequencies for each root diameter class at different distance from tree stem. Figure 4a shows the calibration data of the tree number 2 and 3 (DBH class 0.2 m), whereas the figure 4b shows the validation data of tree number 1 and 4 (DBH class 0.4 m). The number roots is referred to one linear circumferential meter.

Tab. 3 Summary of the goodness of fit values obtained for the calibration and validation of the model for fine root distribution. For the definitions of SSE see methods.

Tree N°	Calibration/Validation	SSE
2,3	Calibration	21
1,4	Validation	22
5,7,9	Calibration	60
6	Validation	110
10,11	Calibration	4

Root reinforcement

Using the calibrated model for the estimation of root distribution is it possible to quantify the distribution of root reinforcement. The figures 5a-b-c show the results of the calculated root reinforcement for the three species in four DBH classes. Spruce has the lowest values of reinforcement, but the root system reaches lateral distances that are about 20 times the DBH. The root system of fir trees is less spread, but even small DBH classes reach high values of root reinforcement (up to 5 kPa). The root systems of beech species result to be the most reinforcing one. However, the lateral spread of this species is limited (max. spread up to 15 times the DBH). The calculated root reinforcement is considered to be representative for the first 0.5 m of soil depth.

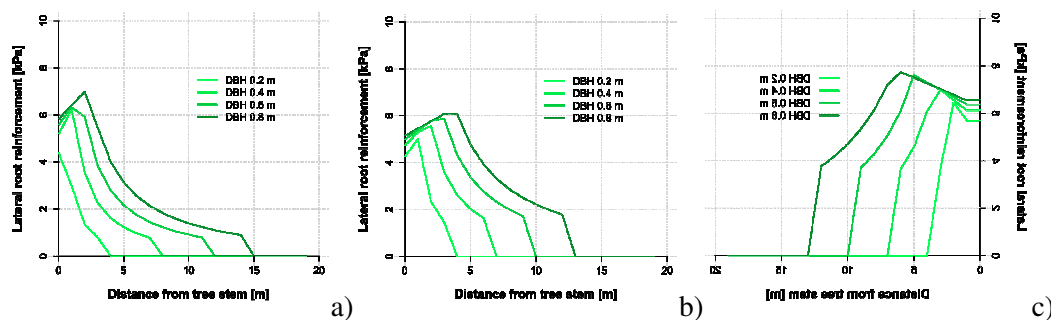


Fig. 5 Maximal root reinforcement distribution in function of distance form tree stem, calculated for different tree species (a-spruce, b-fir, and c-beech) and DBH classes (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 m).

Based on the results shown, it is possible to formulate easy-to-use table for field applications and estimations. Characterising the soil type of an area and measuring the range of slopes, it is possible to back calculate the minimal value of root reinforcement needed to stabilise sliding areas up to 400 m² (see methods). Table 4 shows the values of lateral root reinforcement needed to stabilise different conditions of soil and slopes for landslide with 1 m soil depth and an area of 100 m². The calculations were done considering a safety factor of 1.2. Values for new tables with other stability criterions can be easily calculated. The classes of root reinforcement result to be wide (large range of 20 kPa), and the effective range of values is between 0 and 30 kPa (considering that in Switzerland, most of the shallow landslides occurred on slopes between 30 and 35°)(Graf and Rickli, 2009). In order to Table 5 shows the tree densities needed in order to reach the defined root reinforcement, considering the mean DBH of the forest stand. Densities range from 2500 trees/ha for small DBH classes of spruce to 15 trees/ha for large DBH classes of beech. The results show that in any case, it is not possible to reach root reinforcement higher than 10-15 kPa (for these species, in this stand), thus forest cover results to be effective only in situations where the slope inclination is not higher than 5-10° than the residual angle of internal friction of the soil. Table 6 summarises the maximal calculated dimensions that are allowed in a forest stand without compromising the susceptibility to shallow landslides smaller than 500 m³. Gaps dimensions between 100 and 300 m², and slot width between 10 and 20 m are allowed only in slopes that are not more than 5° steeper than the angle of internal friction of the soil.

Tab. 4 Table of the calculated needed lateral root reinforcement (in kPa) considering the soil type classification and the slope inclination.

Slope [°]	Soil class 1 ($\phi = 20-25^\circ$)	Soil class 2 ($\phi = 26-30^\circ$)	Soil class 3 ($\phi = 31-35^\circ$)	Soil class 4 ($\phi = 36-40^\circ$)
20	≥ 2	-	-	-
25	≥ 5	≥ 2	-	-
30	≥ 10	≥ 5	≥ 2	-
35	≥ 15	≥ 10	≥ 5	≥ 2
40	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 5
45	≥ 30	≥ 20	≥ 15	≥ 10

Tab. 5 Table for the estimation of the mean tree density (N° trees/ha) using the tree species and the mean DBH. The coloured values correspond to the Swiss Forest Inventory (LFI, 2010) classes of basal area (yellow 0-20 m²/ha, blue 21-40 m²/ha, green 41-60 m²/ha); these are the plausible measured values.

DBH [m]	Root Reinforcement 2 [kPa]			Root Reinforcement 5 [kPa]			Root Reinforcement 10 [kPa]			Root Reinforcement >10 [kPa]		
	s	f	b	s	f	b	s	f	b	s	f	b
0.2	IV 150	IV 150	IV 140	\geq 2500	IV 400	IV 150	-	IV 1100	IV 400	-	-	-
0.4	IV 100	IV 70	IV 60	IV 400	IV 120	IV 70	\geq 625	IV 280	IV 100	-	-	-
0.6	IV 40	IV 30	IV 25	IV 120	IV 70	IV 30	\geq 280	IV 150	IV 45	-	-	-
0.8	IV 25	IV 17	IV 15	IV 70	IV 30	IV 17	\geq 150	IV 100	IV 25	-	-	-

Tab. 6 Maximal gap area and slot width defined based on the slope inclination and the soil classes. The area values are indicated in m² and the slot width in m (m²/m).

Slope [°]	Soil class 1 ($\phi = 20-25^\circ$)	Soil class 2 ($\phi = 26-30^\circ$)	Soil class 3 ($\phi = 31-35^\circ$)	Soil class 4 ($\phi = 36-40^\circ$)
20	-	-	-	-
25	<300/<17	-	-	-
30	<100/<10	<300/<17	-	-
35	<100/<10	<100/<10	<300/<17	-
40	<100/<10	<100/<10	<100/<10	<300/<17
45	<100/<10	<100/<10	<100/<10	<100/<10

DISCUSSION

The results show that the model RootMap can successfully be applied for the characterization of lateral root distribution at the stand scale. However, the big amount of work needed for the collection of root distribution data (2-4 soil profiles per man per day) limits the number of data for a more strong validation of the model. Further research will contribute to increase the number of datasets for root distribution.

The results of root distribution indicate that the root system of spruce is likely to be wide spread and shallow, whereas fir and beech form less spread and deeper root systems. However, the comparison of our results with previous studies (Schwarz et al., 2010b) suggests that the architecture of the root systems may be strongly influenced also by the stand conditions.

The results of this study are obtained considering only homogeneous forest stands, for simplicity. In fact, forests have more complicated structure and species compositions. Therefore, the presented tables for the definition of the minimal profiles (5 and 6) are aimed to be a valid quantitative support for decisions in the field. In the case where more detail is needed, numerical modeling approaches (such as RootMap) could be applied for the creation of root reinforcement distribution maps, as shown in figure 6. Nearby the distribution of root reinforcement, a map of slope inclinations of the area can be used to define zones where specific silvicultural measures need to be applied. The sensitivity of the results (in term of needed root reinforcement) depending on the estimation of the mechanical properties of the soil is quite high, and can be estimated that to a $\pm 5^\circ$ error in the estimation of the internal friction angle corresponds to a variation of ± 5 kPa needed minimal root reinforcement.

The comparison between the calculated tree densities and the data of the swiss forest inventory (LFI, 2010) shows that most of the calculated values fall in the range of plausible values measured in the swiss protection forests. However, the compared data of the LFI do not distinguish between the DBH classes and the tree species. The results of table 5 indicate that for the considered study area (soil, tree species, and stand), beech assure the best protection function. From a silvicultural point of view, it results that assisting the regeneration of fir and beech, and assure a tree density between 400 and 1000 trees/ha (depending on the DBH) would guarantee the stability of slopes up to 35-40° steep.

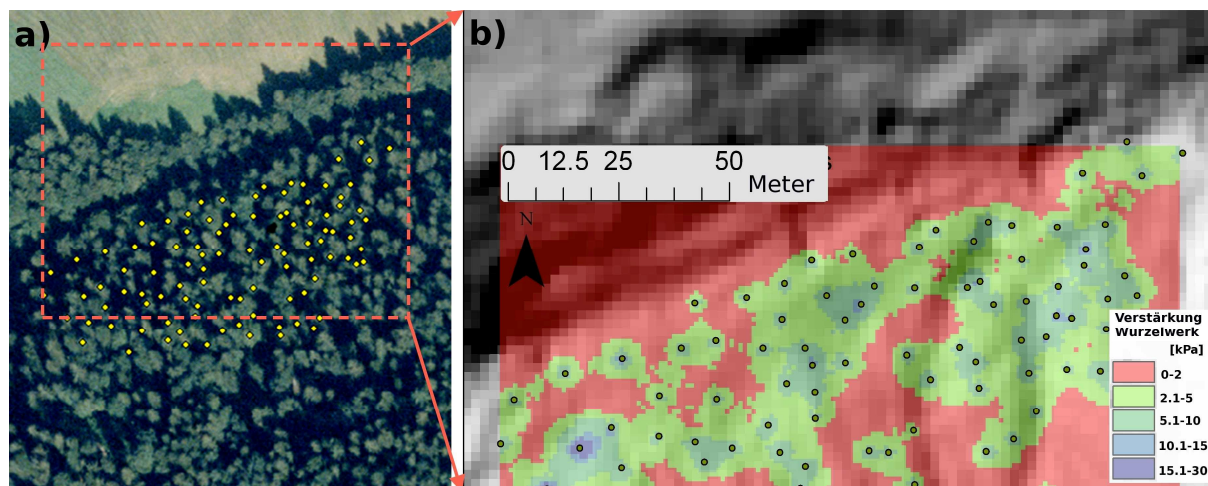


Fig. 6 Plan view of lateral root reinforcement distribution in a forest stand obtained with RootMap. a) The position (yellow points) and dimension (in this case the height) of the trees were obtained by stereo analysis (Schwarz et al., 2012). b) By the visualisation of the model results the red colours indicate low root reinforcement, whereas green-violet colours indicate high values of reinforcement (>2 kPa). The zones with increasing root reinforcement correspond to the position of the trees.

The ability to quantitatively define different zones of susceptibility to shallow landslides and to evaluate the potential stabilizing effect of the forest in those zones, allows the optimizations of forest measures. The use of table 4, 5 and 6 remarkably speed up the evaluation process and allow a quick field analysis. The proposed method also allow a better support for the planning of combined management strategies such as thinning, reforestation, or temporal technical measures. Future research studies could focus on the experimentation and discussion of such new combined management strategies of protection forests in steep slopes.

CONCLUSIONS

In this study we present a novel method for the implementation of recent consolidated research findings in practical tools for the management of protection forest. In particular, we show how detailed data on root distribution and root mechanics can be upscaled to stand scale, and how these data can be used to characterize the spatial distribution of root reinforcement in a forest stand. These calculations of root reinforcement, combined with other simple stand characteristics (such as soil type, geology, and slope angle), are condensed in simple tables for a quantitative estimation of root

reinforcement and slope stability in the field. This method is used to define a specific “minimal profile” of forest stands in the context of a sustainable management concept for protection forests (Thormann and Schwitter, 2004).

The results show the applicability of the novel method. New selected study areas are the objects of a planned monitoring program for the evaluation of the silvicultural measure effectivity in the long term. Practitioners will be asked to use this method in the chosen study areas, and the application of the method is replicated for each practitioner in different study areas allowing for cross comparison and evaluation. Further study areas will be selected for the calibration of the models.

For more detailed silvicultural plans, it will be possible to use numerical models (such as RootMap) in order to localize and quantify the distribution of root reinforcement, and relate it to the susceptibility of the slope to shallow landslides (Schwarz et al., 2009).

REFERENCES

- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Epis T., and Morlotti E. (2009). Root cohesion of forest species in the Italian Alps, *Plant Soil*, 324:71–89. DOI 10.1007/s11104-009-9941-0.
- Brady N. C. and Weil R.R. (2007). *The Nature and Properties of Soil*, 961 pp., Pearson, Upper Saddle River, N. J.
- Frehner M., Schwitter R., Wasser B. (2005). *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald: Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 564 p.
- LFI (2010). *Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der dritte Erhebung 2004-2006*, WSL, Switzerland. 311 p.
- Rickli C. and Graf F. (2009). Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland. *For. Snow Landsc. Res.* 82, 1: 33–44
- Schwarz M., Cohen D. and Or D. (2009). ”Neue Ansätze zur Quantifizierung des Wurzeinflusses auf die Stabilität von Rutschhängen ” FAN Agenda 1/2009, *Gravitative Naturgefahren – Wirkungen von Bäume und Wald*.
- Schwarz M., Preti F., Giadrossich F., Lehmann P. and Or D. (2010a). Quantifying the role of vegetation in slope stability: the Vinchiana case study (Tuscany, Italy), *Ecological Engineering*, 36(3), 285-291, doi:10.1016/j.ecoleng.2009.06.014.
- Schwarz M., Lehmann P., Or D. (2010b). Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes – from a bundle of roots to tree stands. *Earth Surface Processes and Landforms*: 354-367. DOI: 10.1002/esp.1927.
- Schwarz M., Cohen D. and Or D. (2010c). Soil-root mechanical interactions during pullout and failure of root bundles, *J. Geophys. Res.*, 115, F04035, doi:10.1029/2009JF001603.
- Schwarz M., Cohen D. and Or D. (2011). Pullout tests of root analogs and natural root bundles in soil - experiments and modeling, *J. Geophys. Res.*, VOL. 116, F02007, doi:10.1029/2010JF001753.
- Schwarz M., Günter M., Feller K. und Thormann J.J. (2012). Einsatz der Fernerkundung zur Erfassung der Schutzwirkung des Waldes gegenüber Rutschungen, *Geosummit Congress 2012*, Bern, Conference Proceedings, Accepted.
- Thormann J.J. and Schwitter R. (2004). *Nachhaltigkeit im Schutzwald (NaiS)*. *Interpraevent proceeding* 3: 331-342.
- Wu T.H., McKinnell W.P., Swanston D.N. (1979). Strength of tree roots and landslides on Price of Wales Island. *Alaska Canadian Geotechnology Journal* 16: 19-33.

DRIFTWOOD RETENTION TO MINIMIZE FLOOD RISK FOR THE CITY OF ZURICH – PHYSICAL EXPERIMENTS

Sarah Simonett¹, Martin Detert² and Volker Weitbrecht³

ABSTRACT

Laboratory experiments are conducted at the VAW to test and optimize the design of a planned driftwood retention site in the River Sihl. The concept of the construction is to separate and retain driftwood during floods $>200 \text{ m}^3/\text{s}$ in a bypass at a distinct right hand bend. The retention will minimize the risk of log jams and hence the inundation risk in the City of Zurich, which is located 15 km downstream. The retention of driftwood is part of an integral concept to save the riparian Zurich area from larger floods. First model tests show, that the pre-designed retention site is able to hold back 60-80% of the supplied driftwood. First improvements of the design lead to cost reduction by a multiple of the expenses of the physical model tests. Experiments are conducted since May 2011 up to summer 2012. The driftwood retention project is planned to be realized in 2015.

Keywords: driftwood retention, urban flood, flood protection, inundation maps, log jam, sediment transport, laboratory experiment

INTRODUCTION

The Sihl is a river in the foothills of the Alps. The flood events 2005 and 2007 in the River Sihl showed that especially driftwood can lead to a strongly increased inundation risk in Zurich. Log jams especially at the culverts where the Sihl flows underneath the central station would lead to large inundation areas in Zurich's city centre with a return period of 100 to 300 years (B&H AG, 2008). Up to $V_{\text{loose}} = 6,000 \text{ m}^3$ of driftwood are expected to be transported in the river during a 100year flood with maximum discharges of $Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$, and a doubled amount during a 300year flood with a maximum discharge of $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ (Flussbau AG, 2010). The estimated potential damage to Zurich's city centre is about 3 to 5 billion CHF (Denzler, 2011) – without consideration of follow up costs or damage to persons.

As part of an integral concept to save the city of Zurich from larger floods, a driftwood retention site is planned 15 km upstream of the central station in the river section Rütiboden where the Sihl follows a distinct right hand bend (B&H AG, 2010). Fig. 1 gives an overview of the River Sihl from the Rütiboden-area to the central station (km 16 to km 0).

Primary measures of the integral flood protection concept of Zurich's city are already realized: In 2007, combined with the building of a new underground railway station underneath the Sihl, the river was dredged in the area of the central station and the culverts were smoothed. This resulted in a slightly increased capacity of the Sihl. In 2008, a discharge forecast and flood warning system, called IFKIS-Sihl, was installed (e.g., Romang et al. 2011). This warning system was very helpful during the construction phase of the underground railway, where up to three of five culverts had to be closed temporarily.

However, the primary measures as well as the retention of driftwood will not give a sufficient protection against larger floods, if conditions of the freeboard safety are taken into consideration. Therefore, several feasibility studies are currently carried out which will lead to a definite flood protection concept for the Sihl. The regarded topics are: (1) improving the fortification of urban flood protection measures, (2) building a release tunnel to Lake Zurich (IUB, 2011), (3) increasing the upstream retention capacities – especially of the lake Sihl reservoir 50 km upstream from Zurich–, and

¹ Sarah Simonett. VAW, ETHZ, Switzerland

² Dr. Martin Detert. Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), ETHZ, Gloriastrasse 37 – 39, CH-8006 Zurich, Switzerland (e-mail: mdetert@ethz.ch)

³ Dr. Volker Weitbrecht, VAW, ETHZ, Switzerland

combinations thereof. The studies will be finished in the end of 2011. Consequently, a decision towards the type of final solution will not be made earlier than mid-2012.

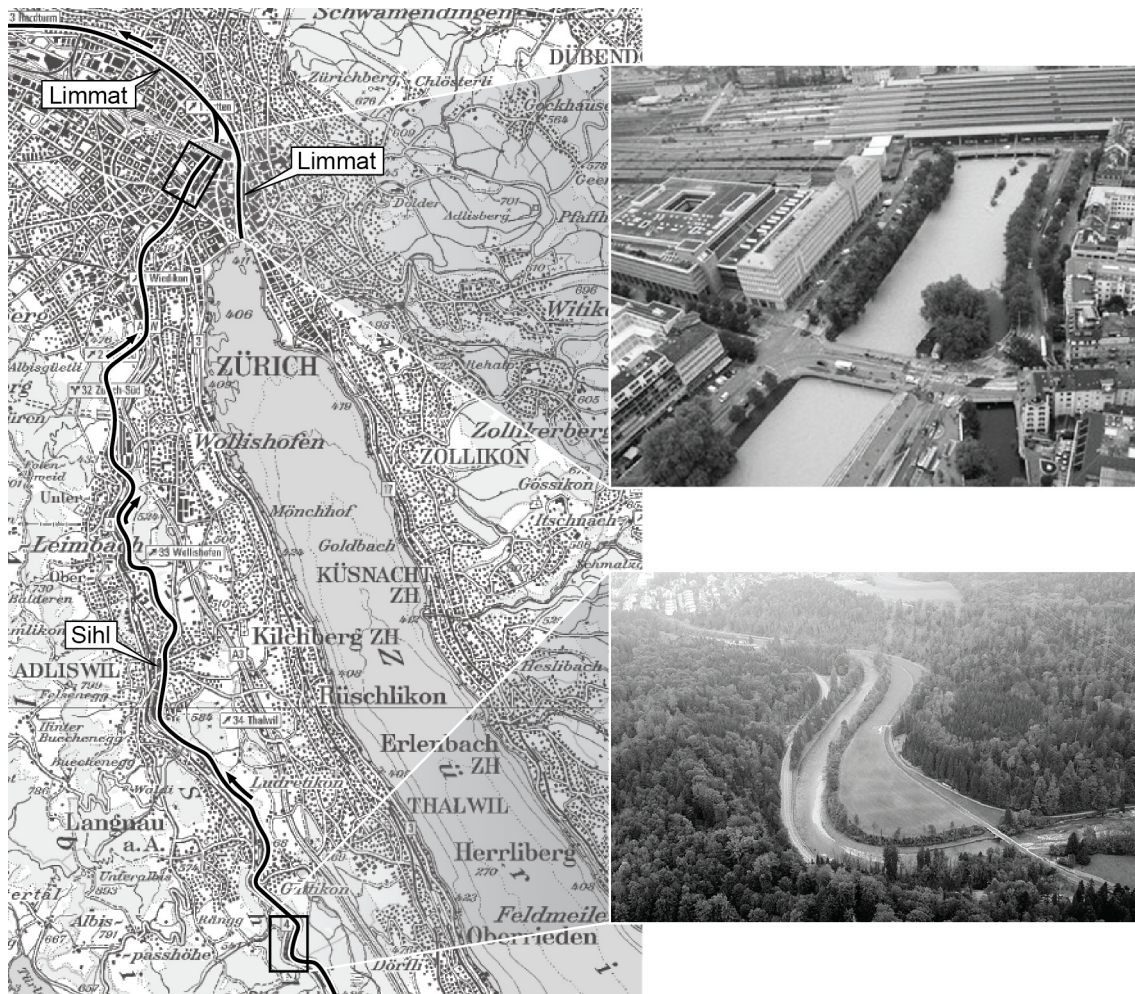


Fig. 1 Situation of River Sihl, Lake Zurich and River Limmat; photo at the top: Zurich, central station at the flood of 2005; photo below: river section Rütiboden (photos by courtesy of AWEL, Zurich)

THE DRIFTWOOD RETENTION CONCEPT

The driftwood retention construction is planned 15 km upstream of the central station in the river section Rütiboden where the River Sihl follows a distinct right hand bend. Fig. 2 gives a project overview. On a length of almost 400 m, the main channel is moved to a new position in the inner bend. Thus, the total river cross section is widened. In the old channel, the driftwood retention section is placed (see Fig. 2, photo below).

Among three possible sites, the location at Rütiboden was considered best, mainly due to two reasons: (1) The conflict of land use and consequently the delay in realization due to objections is expected to be less, allowing to compensate the flood protection deficiency as soon as possible. (2) Concerning geological and hydraulic conditions, the left hand bend downstream of the driftwood retention site is seen to be ideal for a release tunnel intake that is planned in a forthcoming project part; especially as this construction is best possible protected against driftwood as the retention construction is placed upstream.

The driftwood retention includes the following elements (AWEL, 2010; B&H AG, 2010): The driftwood bypass with a pylon rack construction is installed in the outer bend. The main channel of the River Sihl is moved to a new position in the inner bend. A key element is the weir between the new main channel and the driftwood bypass. The idea is that driftwood, which is expected to flow along the outer bend due to the centrifugal force, will be carried over the weir into the driftwood retention section during floods with $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Sediment transport will still take place through the main

channel. The pylon rack construction is aligned with the main flow to minimize the risk of log jam and larger inundations. The construction is able to withstand overload floods.

The following aims should be fulfilled by the design of the drift wood retention site:

- retention of as much driftwood as possible, ideally more than 80%
- minimal influence of the driftwood construction on the bed level and the sediment transport in the River Sihl
- verification of flood protection in spite of occurring backwater effects at the rack
- good-natured, controlled behavior in case of extreme flood events, i.e. no sudden collapse of the construction's functionality

The functionality of driftwood retention concepts are hardly to prove solely by analytical, empirical or numerical approaches (e.g., Tamagni et al., 2010, Moeller et al., 2009). Therefore, the driftwood retention concept is tested currently in a physical scale model at the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) at the ETH Zurich, commissioned by Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Canton Zurich, Switzerland. The model perimeter is arranged to be able to examine the design of the spillway intake to the potential release tunnel in a later stage and to test possible interactions of both constructions. This paper focusses mainly on the physical experiments concerning the driftwood retention concept.

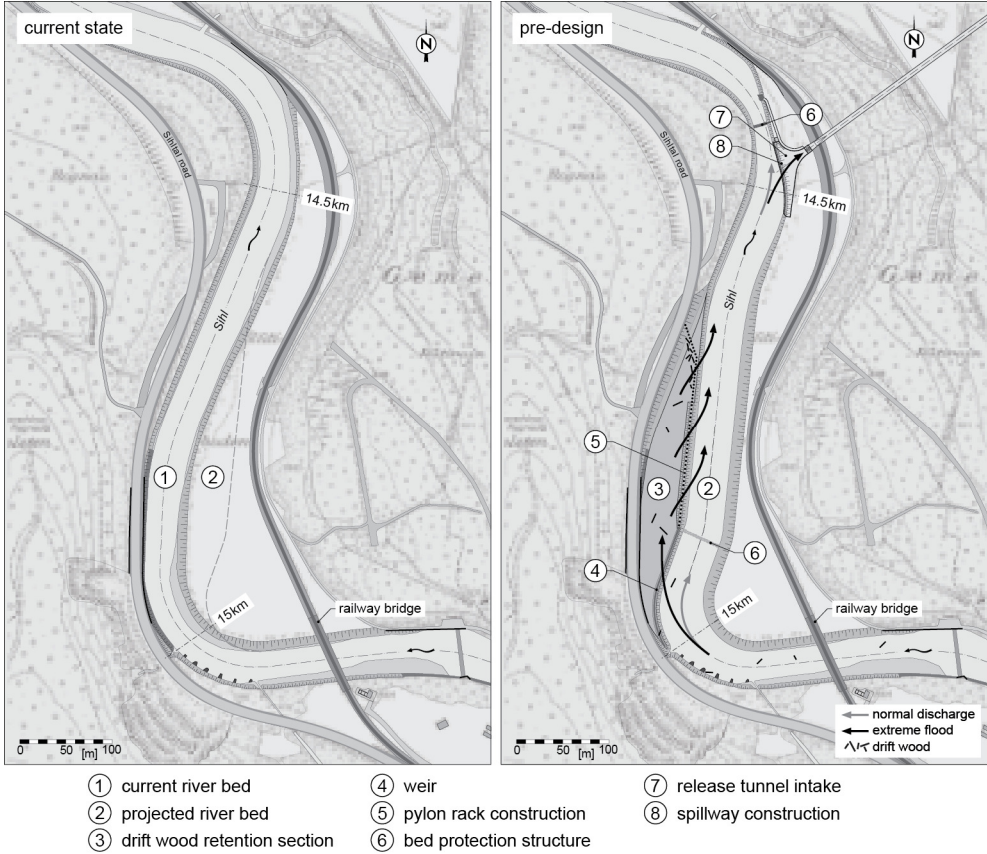


Fig. 2 Location of the planned driftwood retention construction; left: current state; right: pre-design by AWEL (2010) and B&H AG (2010), where also the intake of a possible release tunnel (IUB, 2011) can be seen. Note: The necessity of the tunnel is currently checked against several alternatives.

PHYSICAL MODEL OF THE DRIFTWOOD RETENTION CONSTRUCTION

Experimental Setup

The physical model is built at a 1:40 scale leading to maximum model dimensions of 21 m x 11 m. Tab. 1 gives information about further typical geometric model parameters. Fig. 3 shows a photograph of the ready-built and equipped model, here: with alignment of the new Sihl river bed.

The flow discharge is automatically added via a PC-controlled gate valve. The model is equipped with a movable bed. Flow and sediment hydrographs as well as the driftwood supply of different flood scenarios can be represented. Sediment is added upstream automatically by a sediment dispenser (K-Tron Soder, 0.25-1.200 kg/s) and retained and weighted during the experiments at the downstream end. After each experimental run, the resulting bed levels are measured with a laser distance meter mounted on a 3D traversing system. Measuring bed levels during the experimental runs through the water surface is not possible. Driftwood is added by hand during the experiments. After each experiment, driftwood balances are determined. Water levels are measured continuously via ultrasonic sensors to evaluate e.g. the backwater effects emerging from the retention construction. Two digital cameras (AXIS 211M, 1.3 MPix) are mounted above the physical model recording the processes during each experimental run.

Tab. 1 Characteristic parameter of the modelled perimeter

	Natural scale	Model scale
dimensions [m]	840 x 440	21 x 11
Reach length [m]	1,120	28
Mean bed slope [-]	0.006	0.006
Mean river width [m]	40	1

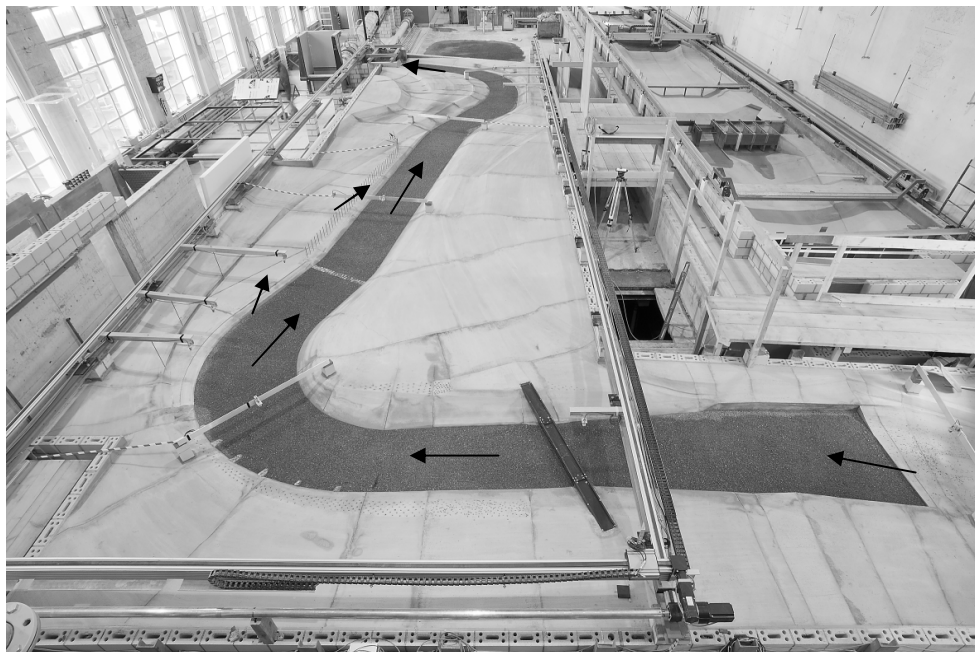


Fig. 3 Physical scale model of Sihl/ Rütiboden with the driftwood retention Sihl/ Rütiboden (here: alignment as pre-designed), equipped with fixed ultrasonic probes and the traverse system for point level gauging on additional points.

Driftwood

The driftwood is downscaled geometrically and prepared from smaller wood branches. The geometric characteristics of the driftwood are simplified by five classes as given in Tab. 2 and shown in Fig. 4. The classification and the quota in [Vol.%] are based on a reanalysis of the data from Flussbau AG (2010, here: quota by number) and a projection of the data of Waldner et al. (2007) concerning the drift wood mixture of comparable rivers during the 2005-flood. The relation between the solid package volume to loose package volume is estimated by the factor 1:4.

Tab. 2 Characteristic driftwood parameters, in natural scale

	twigs	branches		trunk wood		
class	neglected	A	B	C	D	E
colour		orange/brown	yellow	brown	blue	red
length [m]		1.0 – 2.5	2.5 – 5.0	5.0 – 6.0	6.0 – 7.5	7.5 – 10.0
diameter[m]		0.1 – 0.3	0.1 – 0.3	0.3 – 0.4	0.3 – 0.4	0.3 – 0.4
quota [Vol.%]		16	24	24	24	12



Fig. 4 Photograph of the driftwood classes, in model scale 1:40, measuring tape in (cm)

Sediment

The river bed in the section Rütiboden is considered to consist of two main sediment classes: the coarse-grained in-situ material *SM* and the fine-grained bed load *Ge* that is transported at medium floods. Flussbau AG (2010) gives an estimation to the grain sizes in the section Rütiboden as $[d_m, d_{90}](SM) = [90-150; 210-430]$ mm and $[d_m, d_{90}](Ge) = [40-50; 100-130]$ mm. Large erosions can be excluded in cases of discharges $Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$, while sediment transport of the moving material *Ge* is initiated at $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (Flussbau AG, 2010). As the experimental runs are conducted mainly with $Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$, the model sediment should reflect the characteristics of both main classes, i.e. the in-situ material as well as the fine-grained moving material.

To approach an appropriate grain size distribution for modelling the sediment, several samples have been taken from different locations within and upstream the project perimeter. A mean grain size distribution was determined that is characterized by $[d_m, d_{90}](SM, Ge) = [74; 190]$ mm. The natural grain size distribution was downscaled geometrically and was coarsened with regard to the dip in the Shields-curve (VAW, 1997). Grain sizes smaller than 0.25 mm are removed to avoid misleading scale effects, e.g. due to cohesion or the generation of ripples. Finally, the grain size distribution for modelling sediment transport is characterized by $[d_m, d_{90}](SM, Ge) = [2.6; 4.9]$ mm (in model scale).

Scenarios

The design of the driftwood retention will be tested and optimized for four flood scenarios, namely for HQ30, HQ100 and HQ300 with return periods of 30 a, 100 a and 300 a and for the extreme flood event EHQ (here: 1.5 x HQ100). Tab. 2 gives an overview to the four scenarios and their characteristic maximal flow discharge, transported sediment volume and transported driftwood. The quantity is based on Flussbau AG (2009, 2010).

Simulations are conducted via flow hydrographs and, for simplification, via steady state flows. The hydrographs are adopted from the shape of the 2005-flood that was slightly less intense than a HQ30. Fig. 5 gives an example of a hydrograph, here according to a HQ300 event.

Tab. 3 Characteristic parameters of flow scenarios, in natural scale

scenario	return period [1/a]	max. discharge [m ³ /s]	sediment volume [m ³]	driftwood, loose [m ³]
HQ30	1/30	290	8,000	4,000
HQ100	1/100	360	17,000	6,000
HQ300	1/300	450	22,000	12,000
EHQ	~ 1/1'000	550	30,000	12,000

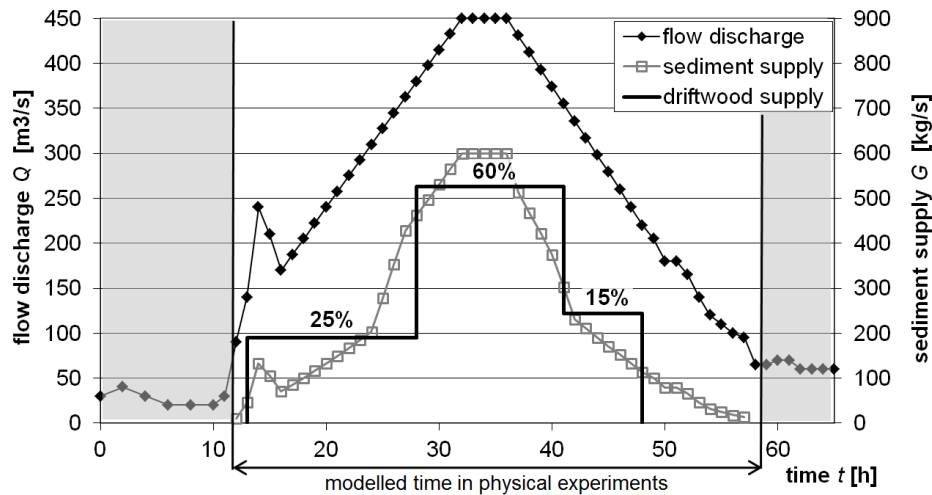


Fig. 5 Typical flow, sediment and driftwood hydrographs, in natural scale, here: HQ300 event, with a total amount of 22,000 m³ sediment and 12,000 m³ driftwood (loose package)

Molasse

In a depth of 0.5-1.5 m underneath the river bed in the Rütiboden section a genuine horizon of molasse, a weak sandstone from the Tertiary, is present. Its topography was surveyed and implemented in the physical model. In case of large floods, erosion processes that expose the molasse horizon are expected in the new alignment of the Sihl, e.g. in the outer bend where the driftwood is separated from the flow. Here, the molasse could scour out after decades by the transported sediment (millstone-effect) resulting in a consequently reducing water level.

2D hydro-numeric model

Another challenge to the physical model setup is to model adequately the left hand bend at the upstream boundary of the model Sihl. Here, only the downstream end of this bend could be modeled due to spatial restrictions in the laboratory. However, the distribution of the flow is of decisive importance to the transport behavior of both sediment and driftwood. To depict the flow distribution in the model as natural as possible, a 2D hydro-numeric model (BASEMENT, 2011) was additionally established for this section. The numerical results were used to adjust and verify the flow distribution at the location of the sediment and driftwood supply in the hydraulic model.

PRELIMINARY RESULTS

First model tests show, that the pre-designed retention site is able to hold back 60-80% of the supplied driftwood. Tab. 4 gives a detailed list. Fig. 6 gives two exemplary photographs.

Tab. 4 Preliminary results

retention during...	driftwood retention basin	banks, bridge pier, riverside	not retained
HQ30, steady flow	60%	15%	25%
HQ300, steady flow	80%	5%	15%
HQ300, hydrograph	70%	5%	25%

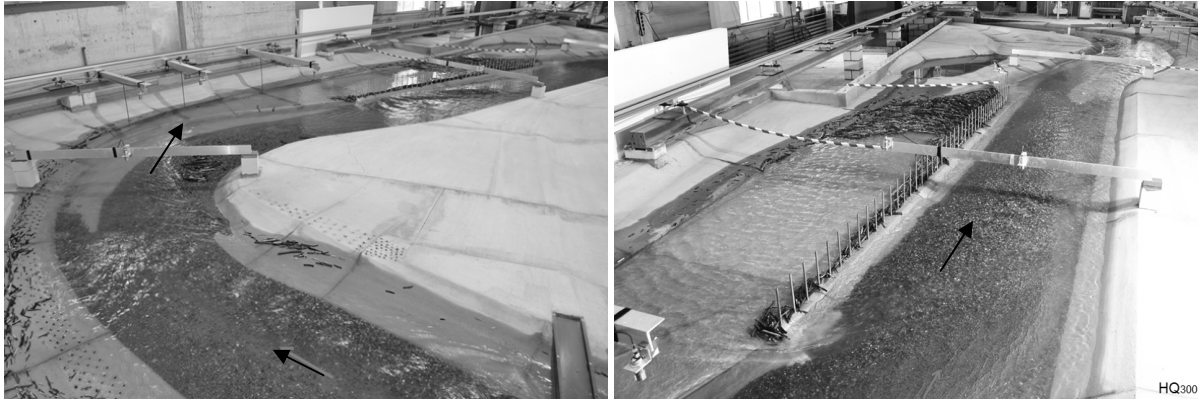


Fig. 6 Typical results during a HQ300, hydrograph; left: some driftwood jams at the riverside; right: most of the driftwood is trapped in the retention basin

The preliminary tests reveal two main points: (1) Strong sedimentation takes place at the inner curve of the right hand bend, indicating that the course of the River Sihl is not optimally designed for leaving the sediment regime almost unattended. (2) The drift wood retention section is oversized. The driftwood accumulation in the basin is very compact. The accumulation height consists of about four to five tree trunks lying above each other. The compact accumulation leads to a smaller volume needed than it was designed. The area of the retention basin can be reduced by at least 15% of its original size. Therefore, the pre-design was optimized. Fig. 7 shows the newly chosen course of the right hand bend and the size reduced retention site. With the new course of the right hand bend, the construction costs are lower as less material has to be excavated, especially as the Rütiboden soil is assumed to be slightly contaminated. A first cost estimation leads to a reduction of the total cost for the realization by 1 to 2.5 Million CHF – while the cost for all model tests will range only in a small fractional amount of this sum.

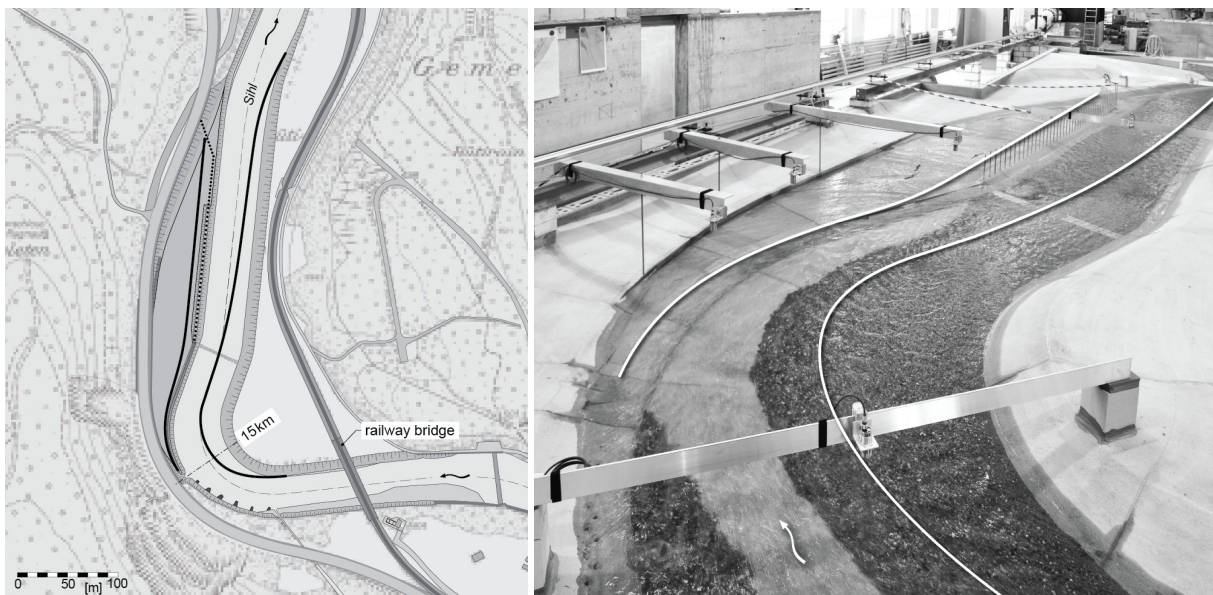


Fig. 7 First approach to optimize the driftwood retention basin and the course of the river Sihl by adapting its riverside to the river banks; left: top view, new course in black; right: photograph, new course in white

SUMMARY

Laboratory experiments are conducted at the VAW to test and optimize the design of a planned drift wood retention basin in the Sihl, a river in the foothills of the Alps. The physical model tests are commissioned by Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Canton Zurich, Switzerland. The concept of the construction is based on the idea of separating and retaining driftwood during floods above $200 \text{ m}^3/\text{s}$ in a bypass at a distinct right hand bend. The retention will minimize the risk of log jams and hence the inundation risk in the City of Zurich, which is located 15 km downstream. The

retention of driftwood is part of an integral concept to save Zurich from larger floods, where in addition the possibilities of a release tunnel to Lake Zurich, the fortification of urban flood protection measures, the build-up and extension of diverse retention capacities, and a combination thereof are currently taken into consideration.

The physical model represents accurately the flow and sediment transport regime in the River Sihl. First results show that the pre-designed retention site is able hold back 60-80% of the supplied driftwood. To meet the demand of more than 80%, adaptations of the project will be necessary, e.g. by reducing the weir height to increase the water and driftwood outflow into the retention section. By means of already conducted optimizations, namely the layout of the inner curve of the right hand bend and the retention basin, a reduction of the construction costs by 1 to 2.5 Million CHF is possible. In comparison to this, the cost for all experimental tests range only in a fractional amount of this sum. Thus, the expenses for the physical experiments are already amortized at the beginning of the laboratory tests, while the efficiency is expected to increase by forthcoming improvements to the current design.

The physical experiments are conducted since May 2011 up to summer 2012, where from 2012 on also a possible release tunnel intake located 500 m downstream of the driftwood retention will be tested. The driftwood retention site is planned to be built up in 2015.

REFERENCES

- AWEL (2010). Expert knowledge of H. Hochstrasser (AWEL, Zurich) in designing drift wood retention sections [personal communication].
- B&H AG (2008). Gefahrenkarte Hochwasser Stadt Zürich. Basler & Hofmann AG, by order of AWEL, Zurich [unpublished, in German].
- B&H AG (2010). Schwemmholzrückhalt Sihl. Basler & Hofmann AG, by order of AWEL, Zurich [unpublished, in German].
- BASEMENT (2011). <http://www.basement.ethz.ch>
- Denzler L. (2011). Hochwasserschutz für Zürich. TEC21 17-18: 24-27 [in German].
- Flussbau AG (2009). Schwemmholzstudie Sihl. Flussbau AG, Zurich, by order of AWEL, Zurich [unpublished, in German].
- Flussbau AG (2010). Geschiebehaushaltsstudie Sihl-Limmat. Flussbau AG, Zurich, by order of Baudirektion Kanton Zürich, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aargau, and Limmatkraftwerke AG, Baden [unpublished, in German].
- IUB (2011). Machbarkeitsstudie Sihlentlastung in den Zürichsee. IUB, Bern, by order of AWEL, Zurich [unpublished, in German].
- Möller G., Weitbrecht V. & Nussle D. (2009). Matteschwelle in Bern – Erkenntnisse zur Hochwassersicherheit aus den hydraulischen Modellversuchen. Wasser, Energie, Luft 101(2): 83-89 [in German].
- Romang H., Zappa M., Hilker N., Gerber M., Dufour F., Frede V., Bérod D., Oplatka M., Hegg C., Rhyner J. (2011). IFKIS-Hydro: an early warning and information system for floods and debris flows. Nat. Hazards 56: 509-527.
- Tamagni S., Weitbrecht V., Müller U., Hunziker R., Wyss H.P., Kolb R., Baumann W. (2010). Schwemmholzrückhalt Ettisbühl/Malters. Wasser, Energie, Luft 102(4), 269-274 [in German].
- Waldner P., Rickli C., Köchlin D., Usbeck T., Schmocker L., Sutter F. (2007). Schwemmholz. Ereignisanalyse Hochwasser 2005 - Teil 1: Prozesse, Schäden und erste Einordnung (in German). Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bezzola, G.R., Hegg., C. (Ed.), Umwelt-Wissen 0825: 181-193.
- VAW (1997). Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. VAW Mitteilung Nr. 154, ETH Zürich [in German].

PROPOSAL OF RISK MITIGATION STRATEGIES BASED ON A CONCEPTUAL PLANNING APPROACH

A CASE STUDY CONDUCTED IN THE GADRIABACH STUDY SITE, VINSCHGAU VALLEY, ITALY

Martin Stecher¹, Bruno Mazzorana² and Johannes Hübl¹

ABSTRACT

In this paper the application of a conceptual procedure for the development of effective risk mitigation strategies is presented through a dedicated case study conducted on the Gadriabach (South Tyrol, Italy), which, over the centuries, has been a threat for settlement, infrastructure and agriculture. The Conceptual Planning approach provides a workflow to rationalize the planning process and thereby support the planner. Starting from a series of system analytic steps the risk related system shortcomings are identified and successively feasible conceptual risk mitigation solutions are elaborated. In this context the definition of an Ideal Final Result contributes to a clear specification of the risk mitigation targets to be achieved. Operationally, a set of tailored principles shows how to solve the system contradictions. Finally, as a result of the application of the conceptual planning approach, we discuss and compare a set of possible solutions for the risk mitigation problems at hand.

Keywords: Concept Plan, risk reduction, planning approach, Vinschgau

INTRODUCTION

The Gadriabach (Vinschgau Valley) has the second largest debris-flow cone in the South Tyrol according to volume and area (Fischer, 1966). The debris-flow cone, mainly used for agriculture and settlement has a long history of human activity and exposure to natural hazards (e.g. Hoffmann, 1885). The Gadriabach has posed a threat to the villages of Allitz and Laas located on the debris cone for many years and has been the focus of several engineering projects. Despite the large economic investments in torrent control works, debris flow risk couldn't be reduced to an acceptable level and the costs for the maintenance of the full functionality of the protection system arose to relevant levels. The importance of the aforementioned system deficits was discussed during the initiatives promoted by the Etsch Dialogue, an integrated management initiative. Contextually, for the Gadriabach, unfavorable sediment dynamics and the potential consequences thereof were highlighted as major concerns (Dept. of Hydraulic Engineering, South Tyrol, 2009; Lucarelli et. al, 2009). Starting from these premises the need of a detailed analysis became apparent. In this paper we apply a Conceptual Planning approach, proposed by Mazzorana (2008), to progressively dissect the initial problem definition with the objective to reformulate and define consistently the problem under consideration (critical system analysis). Moreover, during a step of conceptual design we define the requirements to be met by future protection system entities (Ideal Final Result, IFR, according to Altschuller, 1984). Finally, we propose and compare conceptual solutions for the inherent contradictions originated from systemic or physical system constraints, which are related, in the concrete case, to an existing protection system poorly performing in terms of sediment regulation and risk mitigation. Moreover, the costs related to the maintenance of the protection system (i.e consolidation structures) and arising from the frequent filling of the only retention basin present in the catchment pose a relevant burden for public authorities. The Conceptual Planning approach (CP),

¹ DI Martin Stecher, O. Univ. Prof. Dr. Johannes Hübl. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Mountain Risk Engineering, Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien, (e-mail: martin.stecher@hotmail.com, johannes.huebl@boku.ac.at)

² Dr. Bruno Mazzorana. Department of Hydraulic Engineering, Autonomous Province of Bolzano, Cesare-Battisti-Str. 23, 39100 Bozen, Italy, (e-mail: bruno.mazzorana@provincia.bz.it)

which is outlined in the following section, contributes to a consistent management process aiming at achieving highest levels in terms of protection, cost efficiency and effectiveness and a commensurate environmental quality.

METHOD

The Conceptual Planning approach used in this study is based on four pillars: (i) the *System Dynamics Theory* (Sterman, 2000) provided the analytic framework for the analysis of the system, its components and the interrelationships between them; (ii) the *Life Cycle Concept* (Blanchard and Fabrycky, 2006) was considered for the temporal delimitation of the project appraisals in the light of technical and allocative efficiency and optimality considerations; (iii) the *Universal Design Theory* (Tomiyama et. al, 2009; Lossack, 2006) was taken as a formal reference for structuring the design process; and (iv) the *TRIZ-TIPS Theory* (Zobel and Hartmann, 2009; Yang and El-Haik, 2003) provided the theoretical basis for the conceptual and functional specifications of both feasible and technically effective solution pathways for the physical and systemic contradictions identified in the natural system under consideration.

According the aforementioned body of knowledge base (points i-iv) Mazzorana and Fuchs (2010) developed a general guideline for the planning process in natural hazard and risk management. The guideline outlined below as a step-by-step workflow was ideated as a reference scheme to support practitioners in everyday planning activities:

1. Definition of the system boundaries of the considered study site; focusing on the extent of the catchment of interest and any relevant tributaries and deposition areas.
2. Definition of the system characteristics regarding protection system, natural hazard processes, damage potential and vulnerability.
3. Problem identification and description: definition of (with the new and enhanced knowledge status) the problems to be solved with a particular focus on risk mitigation and ecological functionality. Explicit description of the systemic contradictions to be overcome.
4. Formulation of the Ideal Final Result (IFR) to be achieved. Description of a “model” to be approximated. The IRF has to be intended as a specification supporting the planner throughout the planning process. Since the IFR is formulated in an early planning phase it is essential to explicitly refer to the previously identified system contradictions and to define a thoroughgoing target system. Expressed another way, the targets to be attained are formulated in terms of maximization (minimization) objectives (Mazzorana et. al, 2007). An ideal protection system should have, among others, the following characteristics: (i) long durability (high reliability), easy and cheap maintainability; (ii) high functionality (efficiency) with substantial mitigation effects for short return periods and just sufficient mitigation effects for long return period events; (iii) high sediment transport regulation capacity with progressive reduction of the remaining sediment yield potential; (iv) low uncertainties about protection system responses to extreme events, which leads to an easier integration and more effective implementation of early warning systems etc.; (v) and resilient response to extreme loadings (beyond design return period intensities of the phenomena).
5. Analysis of all possible physical, spatial and temporal resources for an optimal application of the IFR. In this phase the planner should go beyond the assessment of available space for hazard mitigation. In addition to traditional consolidation and retention concepts, also possibilities of dosing transported solid material (woody debris) or smoothing in space and time the peak flow intensity (e.g. diverting excessive loads towards damage minimizing sectors), should be explored. From an integrated risk management perspective it could be essential to identify objects to be “sacrificed” in case of a worst case scenario (i.e. damage minimizing sacrifice).
6. Definition of admissible system changes: It should be noted that in this workflow the restriction of the search space for feasible risk mitigation solutions is subsequent to the definition of the IFR which represents a methodological improvement. Put another way, a conceptually ideal solution is modified according to the admissible system changes and not vice versa. Moreover, the planning process is meant to address the removal of obstacles to the full attainment of the IFR.
7. Elaboration of solution concepts and/or variations based on the ideal end result and following the principles shown in Table 1.

8. Evaluation of the developed solution strategies.
9. Selection of the optimal solution concept based on cost-benefit criteria answering for each proposed solution the following questions: (i) what has been enhanced; (ii) what has been worsened; (iii) what has been substituted; and (iv) what remains to do with reference to the attainment of the IFR?
10. Communication of residual risk to affected people.

Concerning the elaboration of the IFR, Mazzorana and Fuchs (2010) proposed a set of tailored principles to assess systemic or physical contradictions on a system level (see Table 1).

Tab. 1 Principles for the design of effective flood risk mitigation strategies

Root Principles	Derived Principles
(i) Separation Principles	<p>a) <u>Spatial separation</u>: The overall aim is to separate areas characterized by relevant process intensities from areas at risk perspective, i.e. with a relevant accumulation of values at risk. Corollary: Concentrate adverse effect in low vulnerable areas.</p> <p>b) <u>Temporal Separation</u>: The overall aim is to decouple in time the intensity maxima of liquid discharge and sediment transport on the process side, and to displace movable objects at risk from endangered areas during the critical timeframes within the extreme event duration (e.g. by evaluating people at risk).</p> <p>c) <u>Separation by change of status</u>: The aim is to achieve a reconfiguration of critical system configurations during the critical timeframes within the event duration (e.g. by avoiding bridge clogging).</p> <p>d) <u>Separation within the system and its parts</u>: It may be possible to create subsystems with a lower degree of susceptibility while the residual parts of the system remain unaffected (e.g. local structural protection for individual buildings).</p>
(ii) Dynamisation Principles	<p>a) <u>Dynamisation of the sediment transport process</u>: The overall aim is to control the sediment transport process (e.g. by dosing it through open check dams) and the wood transport process (e.g. by preventive entrapment through retention structures).</p> <p>b) <u>Ecosystem dynamisation</u>: The overall aim is to enhance ecosystem functionality.</p> <p>c) <u>Dynamisation of mitigation – Modularization of the protection system</u>: The overall aim is to create a flexible modular mitigation concept taking into account the entire range of possible alternatives. This principle allows for adaptation if the parameterization will change in the future.</p>
(iii) Combination Principles	<p>a) <u>Combination of mitigation</u>: The overall aim is to efficiently reduce effects with respect to hazard and vulnerability, and to increase the system reliability and maintainability.</p> <p>b) <u>Multipurpose combination</u>: The overall aim is to design parts of the mitigation concept with respect to alternative uses (e.g. modeling the landscape in order to achieve flow deflection without compromising the agricultural use of the area).</p>
(iv) Redundancy Principles	<p>a) <u>Redundancy of the worst case</u>:</p>

	b) <u>Redundancy in intervention planning:</u> In particular for a worst-case scenario, certain elements of the mitigation concept should be redundant in order to avoid system failures.
--	---

CASE STUDY

This section presents the practical application of the previously presented conceptual planning approach in the form of a case study conducted in the Gadriabach study site, Vinschgau Valley, Italy. Point 1 and 2, 5 and 6, 7 and 8 as well as 9 and 10 of the above outlined procedure are summarized for conciseness.

CRITICAL SYSTEM ANALYSIS (SYSTEM BOUNDARIES AND CHARACTERISTICS)

The Gatria catchment (Figure 1) (South Tyrol, Italy) with a drainage area of 6 km² presents one of the largest fans in the Alps (10.9 km²) with frequent debris flow rates (1-2 per year). Geologically, it consists mostly of highly fractured metamorphic rocks (phyllites, schists, gneiss). The average precipitation in the main valley is quite low (about 500 mm) compared to similar debris flow basins in the Alps. Thunderstorms are responsible for most of debris flow occurrences (Comiti et. al, 2010).

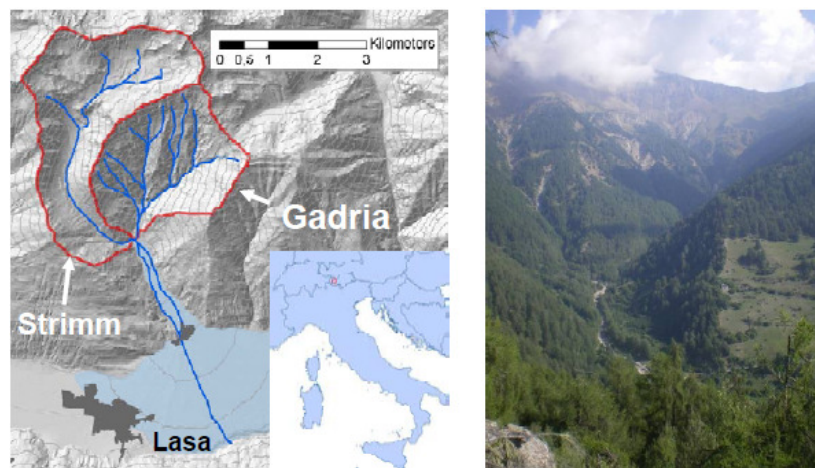


Fig. 1 Basin map and location (left) and view of the main channel (Comiti et. al, 2010)

- **Event documentation**

The first historical record of a debris-flow event in the Gadriabach dates into the 14th century (AD 1386). Since this time 38 further events have been documented (Dept. of Hydraulic Engineering, South Tyrol, 2010). Only limited event documentation is available for the Strimmbach; however, recently it showed debris flow activities and erosion processes interested the lower part of the stream. In the current situation the Gatria- and the Strimmbach frequently deliver considerable sediment volumes to a single retention basin. Due to a recently constructed deflection dam, the Strimmbach flows into the retention basin in a geometrically unfavourable configuration.

- **Natural hazards**

Lucarelli et al. (2009) estimated in a recent study that the volume of a 100-yr debris flow event can be expected to be up to 160 000 m³ with a peak discharge of 58.5 m³/s. Despite the presence of the deposition basin, the alluvial fan is prone to hazard impacts shown as a hazard zone map in Figure 2. The delineation of the hazard zones has been conducted according to the specific guidelines of the Autonomous Province of Bolzano (Autonomous Province of Bolzano, 2008).

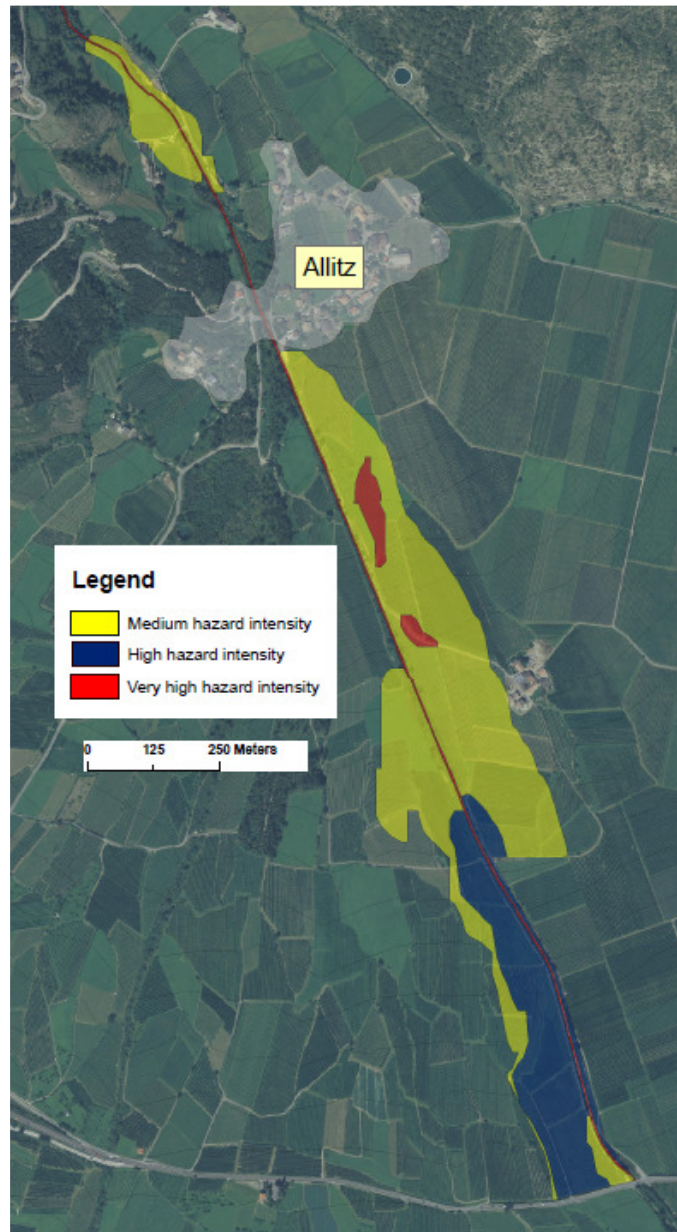


Fig. 2 Hazard map showing the red, blue and yellow hazard zone on the debris flow cone (Lucarelli et. al, 2009)

The simulation showed that for events with a return period > 30-yr, outburst of the channel boundaries is possible. For events with larger return periods, clogging of the bridge in the village of Allitz is to be expected, which would induce hazard propagation on larger portions of the cone area.

- **Existing mitigation system**

In the late 1800s, a 2 km-long stream reach on the fan was diverted to an artificial, straight paved channel. Consolidation check-dams were built along the upstream natural channel starting in the early 1900s, and in 1975 an open check dam with a retention basin of about 80,000 m³ was built at the fan apex. This now partly prevents debris flows from propagating to the fan but requires very high maintenance costs (approximately 200,000 €/yr). A bedload creek, the Strimmbach, with a drainage area of 7.7 km² joins the Gadriabach at the level of the retention basin (Comiti et. al, 2010).

PROBLEM DEFINITION AND SYSTEM DEFICITS

The system deficits in the investigated catchment stem from multiple factors. An overview of the specific problems is provided in Table 2.

Tab. 2 Overview of the system deficits in the Gadriabach and Strimmbach

System deficit	Description
<ul style="list-style-type: none"> • Unfavorable system configuration at the confluence of the Gadriabach and Strimmbach 	<p>The Strimmbach flows into the Gadriabach at a right angle a few meters upstream of the retention basin, inhibiting a self-dosing effect. On average the sediment volume removed from the retention basin for a 24 month period is 30 000 m³.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Check dams in upper catchment areas are highly damaged or eroded 	<p>Due to age and the torrential processes, the check dams are no longer able to fulfill their function (ca. 30% heavily damaged).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Biological engineering measures (constructed between 1980 and 1990) are highly damaged 	<p>These measures located above the timberline are only partly able to inhibit erosion.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Increase in magnitude of events due to damaged protection constructions 	<p>As a consequence of the above outlined problems the basic disposition of sediment availability is increased. Being equal the precipitation trigger this could result in an increased likelihood of debris flow initiation.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • The functionality of the protection system is highly dependent on the quality of periodic maintenance 	<p>The planning approaches that characterized the series of interventions realized in the second half of the 20th century reflected the intentions of different planners and therefore exhibit a suboptimal integration from a systems perspective degree of incoherency. Check dams constructed in different period were not purely maintained. Moreover, it was increasingly recognized that cost benefit ratio of the retention basin is unsatisfactory.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Intensified erosion along the Strimmbach 	<p>The basic disposition of sediment availability is increased. Being equal the precipitation trigger this could result in an increased likelihood of debris flow initiation.</p>

IDEAL FINAL RESULT

The ideal system should operate as follows:

The risks for the endangered objects on the debris cone should be significantly reduced. This entails a reduction of the specific risks for residential buildings and infrastructure (mainly roads) and commensurately for the agricultural areas. Simultaneously the efficiency and the reliability of the protection system should be enhanced. This essentially means to design a sediment dosing system capable of buffering the peaks of the involved hazard processes without generating additional maintenance costs (clear up costs for deposited debris flow volumes). What is sought, to use the terminology of Altschuller (1984), is a self functioning dosing system.

Moreover, the existing protection system should be reconfigured in such a way to exploit its residual functionality with a minimum of maintenance interventions. That means that the condition and efficiency of all existing structures have to be carefully evaluated in order to focus the efforts towards

key control structures (Mazzorana et. al, 2007) and to avoid unnecessary expenditures to maintain structures exhibiting insufficient efficiency.

RESOURCES – ADMISSIBLE SYSTEM CHANGES

On the fan apex no particular restrictions in space are given for possible reconfigurations of the existing protection system and new constructions. On the middle and lower parts of the debris cone the degrees of freedom for possible mitigation measures are given, although these areas are intensively used for agricultural purposes. The residential buildings are irregularly distributed on the cone area and some of them are located nearby to the channel and in close vicinity to the crossing bridge. This configuration may restrict management possibilities.

ELABORATION OF SOLUTIONS AND THEIR EVALUATION

With regard to the system deficits listed above and the IFR as a reference, various solutions were elaborated to solve the multiple problems.

The most promising solution envisions a change to the existing protection system in the location of the retention basin. Coherently with the principle of separation in space, we proposed to totally change the confluence configuration between the Gatria- and Strimmbach in order to avoid the deposition of solid material in the same retention basin deriving from two different tributaries. As already mentioned diminished deposited volumes would result in minor expenditures for clear-up costs. A further idea is to enhance the confluence between the Gatria- and Strimmbach from a flow dynamic perspective. To achieve a substantial reduction of the peak solid discharges in space and time it is essential to remove the slit dam of the existing retention basin and to gradually buffer sediment dynamics. The necessary dosing effect should be obtained over a larger stream length by increasing the process dynamics. It has to be considered that even in the current situation additional protection elements would be necessary to protect the endangered assets on the middle and lower part of the cone. This situation is only marginally modified by modifications in the fan apex region. With these premises the proposed solution features:

Retarding mounds of various dimensions should be built over a length of ca. 250 m on broadened stream sections in the area of the current retention basin. Smaller retarding mounds are proposed to be placed along the stream centre line, and larger elements at the flattened banks. A similar intervention concept is proposed for the Strimmbach. The junction geometry between the Gatria- and Strimmbach should be modified by reducing the confluence angle from a proximally orthogonal angle to a cut-angled configuration. This creates a system that is adapted to events of varying sizes or return periods. This set of measures results from the application of principles (i) and (ii) and contributes to meet the above listed requirements for enhanced sediment transport efficiency. A sketch of the solution concept is shown in Figure 3.

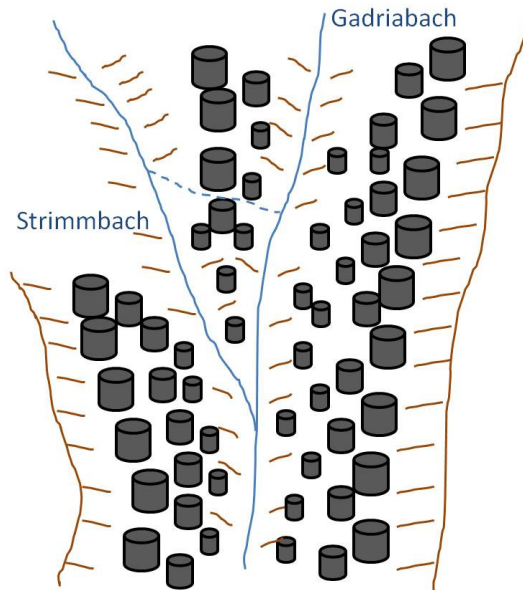


Fig. 3 Protection system with retarding mounds of Gatria- and Strimmbach

To fulfil the risk mitigation demands given by the assets at risk a further improvement of the flow behaviour along the channel in the middle and lower part of the cone is indispensable. Consequently the concrete proposal is to intervene by constructing local protection measures mainly in the form of deflection walls with the aim to significantly reduce hazard impacts where it is needed. The idea therefore is not to avoid debris flow propagation on the cone but to divert the deposition lobes to areas at minor risk perspective.

The range of the most promising solutions is briefly outlined in Table 3, which in addition contains a raking of the different solution variants according to the cost-benefit ratio.

Tab. 3 Cost-benefit ranking of proposed solutions

Solution	Description	Cost benefit ratio	Ranking
A	Solution described in the main text	1.01	1.
B	With respect to the solution described in the main text we proposed an increase in channel cross section on the debris cone to increase discharge capacity instead of employing local protection measures	1.00	2.
C	With respect to the solution B only a structural modification of the existing geometry of the slit dam aiming at enhancing the current dosing efficiency was proposed.	0.89	3.

SELECTION AND COMMUNICATION OF RESIDUAL RISK

The conceptual solutions presented in Table 3 provide a basis for the subsequent detailed planning process which may lead to further adaptations of the concept.

It has to be stressed that further studies are necessary to dimension the single protection system elements. As a consequence, the last two steps of the conceptual approach are in progress.

Concerning the residual risk discussion a communication strategy should be adopted to increase the awareness on the part of the concerned population whose absolute safety is unfeasible and economically not justifiable.

CONCLUSIONS

In this paper we presented a conceptual planning and problem solving approach for acute problems in terms of risk caused by extreme events in mountain streams.

We demonstrated the applicability of the elaborated concepts in a dedicated case study on the Gadriabach (South Tyrol, Italy). From the perspective of an integrated management of mountain streams the proposed approach facilitates knowledge integration by structuring the relevant information about hazards, induced risks, systemic contradictions and by providing tailored solution principles according to an *ad hoc* defined ideal final result, which, in a nutshell, clarifies the technical and economic targets to be achieved.

Particular emphasize was given to an unambiguous chain of arguments relating system contradictions, their specific solutions on a functional level and the subsequent elaboration of feasible technical concepts.

The method of TRIZ-TIPS, embedded in the concept of system life-cycle engineering, has shown to provide a higher degree of risk reduction than conventional mitigation strategies by including possible alternatives already in the early planning stages. Based on a set of specific heuristics, a high quality spectrum of conceptual solutions for the safety problem recognized in the hydrological system under consideration will result.

The optimal solution for the specific sediment dosing problem identified includes a system of roughness elements in the area of the existing retention basin. The critical feature of this arrangement of roughness elements is an increase in size towards the lateral extent of the channel. This would allow sediment transport for small events, but would contain larger events within the channel. In addition, the flow course of the tributary stream (Strimmbach) should be rerouted such that the confluence angle is optimized.

To validate the elaborated solution concept a physical, numerical modeling program was started in collaboration with the University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Mountain Risk Engineering, Vienna. The aim is to evaluate its validity through the three scientific pillars: physical modelling, numerical modelling and field investigation. Concerning the latter a series of dedicated monitoring activities are planned in the near future (Comiti et. al, 2010).

REFERENCES

- Altschuller G. (1984). Creativity as an exact science: The Theory of the Solution of Inventive Problems. Gordon and Breach Science Publishers.
- Autonomous Province of Bolzano (2008). Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne gemäß Landesraumordnungsgesetz 13/97, Artikel 22/bis.
- Blanchard B., Fabrycky W. (2006): Systems engineering and analysis: Bringing systems into being. Prentice Hall, New Jersey: 22-26.
- Comiti F., Macconi P., Marchi L., Arattano M., Borga M., Brardinoni F., Cavalli M., D'Agostino V., Hellweger S., Trevisani S., Vischi M. (2010): Debris flow monitoring and warning system: A new study site in the Alps. European Commission – WFD Common Implement Strategy WG F Thematic Workshop on Implementation of the Floods Directive 2007/60/EC “FLASH FLOODS AND PLUVIAL FLOODING”, Cagliari, Italy: 5-6.
- Dept. of Hydraulic Engineering, South Tyrol (2009). Projektgeschichte Allitzerbach - Gadriabach.
- Dept. of Hydraulic Engineering, South Tyrol (2010). Ereignisdokumentation Allitzerbach – Gadriabach, ED30.
- Fischer K. (1966). Die Murkegel des Vinschgaues. Der Schlern 40, Athesia Duck: 24-33.
- Hoffmann F. (1885). Der Gadriabach bei Laas im Vintschgau: Eine Wildbach – Studie. Zeitschrift des DÖAV: 90-107.
- Lossack R. (2006). Wissenschaftstheoretische Grundlagen für die rechenunterstützte Konstruktion: Grundlagen zur einer domänenunabhängigen Konstruktionstheorie. Springer, Berlin: 251-255.

- Lucarelli C., Paternolli M., Eschgfäller M. (2009). Etschdialog Oberer Vinschgau – Flussgebietsplan Oberer Vinschgau - Teilmodul Wassergefahren- Technischer Bericht, Version 2: 41-174.
- Mazzorana B. (2008). Das Projekt Konzeptplan 30 – Neue Ansätze für den Grundsatzentscheidprozess der Abteilung 30, Ziel 2 Projekte – Media 30, Abteilung Wasserschutzbauten, Bozen.
- Mazzorana B., Scherer C., Marangoni N. (2007). Additional torrent control strategies on debris flow alluvial fans with extremely high vulnerable settlements. International Congress on Environmental Modelling and Software: 2008.
- Mazzorana B., Fuchs S. (2010). A conceptual planning tool for hazard and risk management. Internationales Symposium Interpraevent, Taipei: 828-837.
- Sterman J. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw Hill: 3-192.
- Tomiyama T., Gu P., Jin Y., Lutters D., Kind Ch., Kimura F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. CIRP Annals – Manufacturing Technology 58: 559-560.
- Yang K., EL-Haik B. (2003). Design for Six Sigma: A roadmap for product development. McGraw Hill: 235-251.
- Zobel D., Hartmann R. (2009). Erfindungsmuster: TRIZ: Prinzipien, Analogien, Ordnungskriterien, Beispiele. Expert Verlag.

EFFICIENCY ASSESSMENT FOR TORRENT PROTECTION WORKS

AN APPROACH BASED ON SAFETY AND RELIABILITY ANALYSIS

Jean-Marc Tacnet¹, Corinne Curt², Rey Benjamin³ and Didier Richard⁴

ABSTRACT

To ensure the prevention and limiting risks, protection works against torrential floods have an essential role to reduce both the causes and effects of phenomena. Decision support tools are needed to analyze the efficiency of these protection works considering both their structural state and functional abilities. In this paper, classic concepts of dependability are discussed to assess the efficiency of protection works against torrential floods. Fuzzy intervals are used to assess the indicators that describe the possible failures and the performance level of disposals. The methodology aims both at eliciting the expert reasoning process and evaluating the danger level of the protection works. The methodology is based on six steps considering both structural and functional types of failure observed.

Keywords: natural hazards, torrent, hydraulics, protection works, civil engineering, decision support, safety and reliability analysis, dependability, expert assessment.

INTRODUCTION

Mountains rivers threaten people and material assets because of the intensity and suddenness of their floods. In this context, measures and emergency evacuation are difficult to envisage.

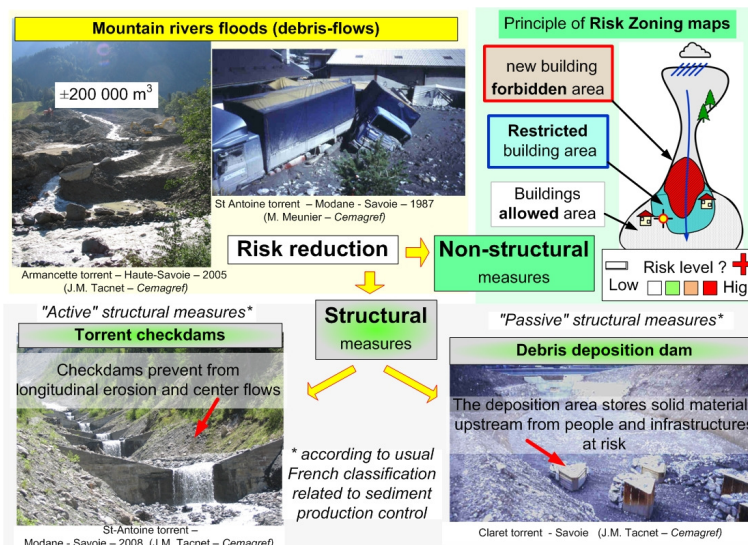


Fig. 1 Structural and non-structural measures are used to reduce risks in torrents and mountain rivers. In France, only structural measures are considered either as passive or active measures.

¹ Jean-Marc Tacnet, PhD., Eng. Sc., IRSTEA, ETGR, Saint-Martin d'Hères, France (email: jean-marc.tacnet@cemagref.fr).

² Corinne Curt, PhD., Eng. Sc., IRSTEA (new name of Cemagref), OHAX, Aix-en-Provence, France

³ Benjamin Rey, M. Sc. Eng., IRSTEA, ETGR, Saint-Martin d'Hères and EMA Alès, France

⁴ Didier Richard, IRSTEA, Head of ETGR, Saint-Martin d'Hères, France.

To ensure the prevention and limiting risks, protection works against flash floods have an essential role to reduce both the causes (“active” structural measures) and effects or consequences (“passive” structural measures) of sediment production (figure 1)⁵. These are often old works whose aging may compromise the sustainability of the overall device. Torrent checkdams (also called "consolidation dams" or “active” structural measures) stabilize profiles along and across streams and limit the intake of materials (figure 2). Lateral erosion generally contributes less than longitudinal erosion in steep channels.

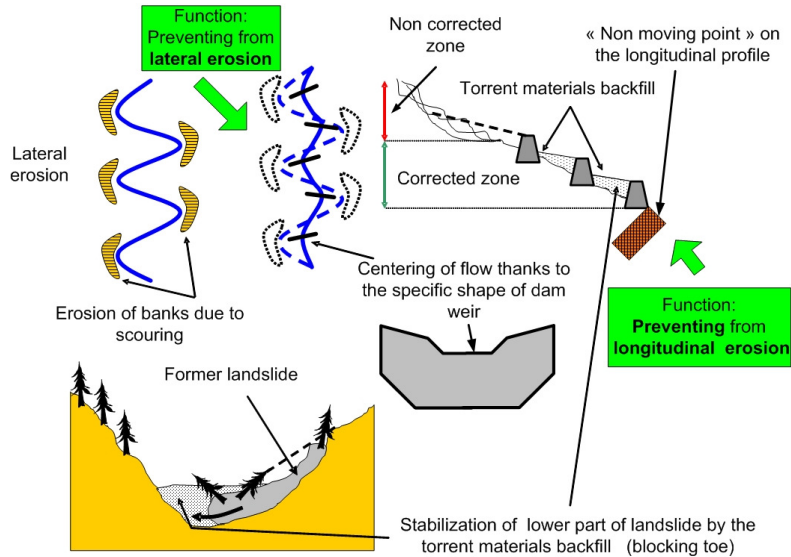


Fig. 2 Preventing from lateral and longitudinal erosion are the two main functions of torrent checkdams (“active” structural measures)

Sedimentation dams (corresponding to “passive” structural measures) store sediment just upstream and near from the people and assets located on the alluvial fans. Main design issue is to find an optimum between total storage of sediment (with high exploitation costs) and high sediment volume release (with potential increased risk downstream) (figure 3).

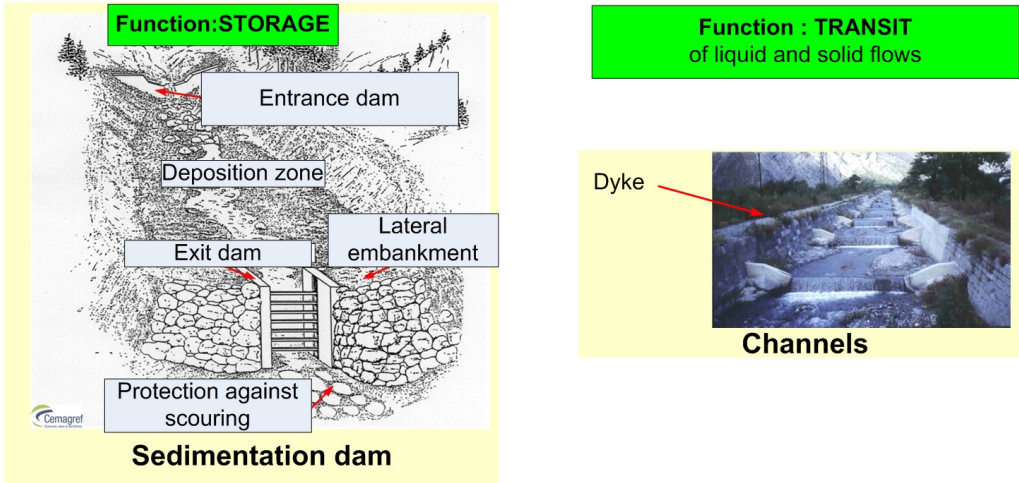


Fig. 3 Storage and transit of liquid flows are the main respective functions of deposition dams and channels (“passive” structural measures)

⁵ This corresponds to the usual French classification. In other countries, from one hand passive measures consist in land-use control measures (e.g. risk zoning maps), information and from the other hand any structural measure is an active measure.

The efficiency analysis of those protection works is therefore a very important issue for risk managers especially in the context of danger analysis of dykes and dams (MEEDDAT, 2008). For old protection devices, it is not easy to choose the best strategy for maintenance and to define priorities for selecting the first and more important sites to maintain. It is necessary to characterize the effectiveness of structures and compare their interest and importance in the context of protective devices. Decision support tools are needed to analyze the efficiency of these protection works considering both their structural state and functional abilities. The overflowing, a kind of functional failure of protection works such as dikes, channels or dams of sedimentation, is due both to the strong solid transport and to the liquid fraction (figure 4). This is an essential difference with the more classical context of "clear water" hydraulics.

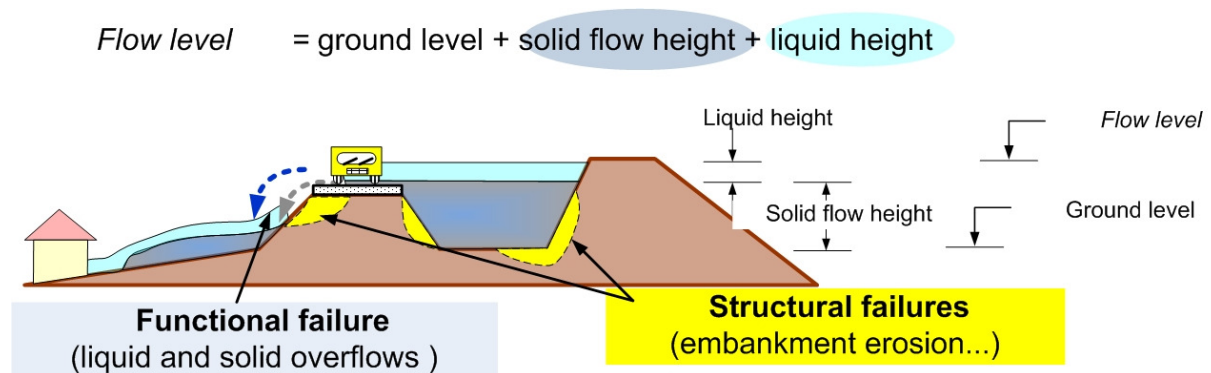


Fig. 4 Functional and structural failures in case of a torrential dyke: erosion can concern inside and outside parts of dykes during the flood (depending on the water level and solid transport rate)

The objective is therefore to characterize and improve the efficiency of these protection works. This concept of efficiency is not clearly defined specially in the context of torrential protection works and requires specific design and building methods and technologies (Tacnet et al., 2010a; Tacnet et Richard, 2010b).

Safety and reliability approaches are currently used to analyse the security of systems mainly in industrial or technological contexts. Despite of their interest to formalize the failure modes of a system, efficiency or performance are not a classical factor considered by those methods. Moreover, the context of natural hazards requires adaptations of the original methodologies. This paper applies a methodology based on dependability analysis including safety and reliability and to the case of torrent control protection works to characterize their efficiency. The first section introduces the topic of efficiency. Section 2 reviews the principles of existing methods of dependability in a context of protection works. Section 3 describes the proposed methodology and discusses the concepts of efficiency and performance: fuzzy indicators are proposed for their estimation. Finally, the discussion and conclusion present the main results and perspectives.

DEPENDABILITY AND PERFORMANCE

Stemmed from industrial domain, dependability presented as the "science of failures and breakdowns" (Mortureux, 2001) aims at assessing and justifying a confidence level concerning the service performed by a system (Magne et al., 2006). It aims at reducing the number of potential failures of the system and controlling the consequences of the residual failures. Consequently it contributes to optimize the technical and economical performances of the system. Dependability is assessed through four attributes. Reliability is the ability of a system or component to perform its required functions under stated conditions for a specified period of time. Maintainability is the ease with which a system can be maintained and refers in particular to the capacity to isolate defects or their cause, to correct defects and to bring the system into service. Availability is the total time the system is capable of being used and insures its tasks. Safety is defined by the absence of catastrophic consequences on the user(s) and the environment.

The first step mainly relies on a functional analysis defined by (AFNOR, 1992) as a demarche that consists in listing, ordering, characterizing, putting in hierarchy and/or valorizing the system functions. This system structuring is followed by a FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) and a FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) for each function fulfilled by the system components (figure 5). The criticality analysis combines the gravity, the frequency and the ability to detect the failure (Mortureux, 2001). The issues in the case of protection works against flash floods concern the identification of the structural and functional failures and the assessment of their criticality related to the main functions the works must comply (centering torrential flows, stabilize longitudinal and lateral profiles....) (figure 2).

Component discharge section				
Function	Failure mode	Possible causes of failure	Possible effects of failure	Symptoms (measurable with indicators)
Centering of torrential flow	Inadequate orientation of the flow (not centered flow)	-establishment error (bad location) - insufficient hydraulic section - Section obturation by woods debris or excessive torrent material	- Flow deviation - Downstream bank erosion - Wings (lateral part of dam) foundations scouring - Lateral by-pass - Impact of the upper part of weir	- flow deviation angle (°) - Eroded bank volume (m ³) - Section obturation percentage (%) - Length of flooded wing (m) - Width of erosion at the end of the wing (m)

Fig. 5 Example of FMEA analysis of function “Centering the flow” of component “weir” of a system “Torrent checkdam”

The dependability attributes need the definition of a "reference objective" or "nominal mission" that these attributes should comply with during a given period of time. In first approach, explicit references are lacking in the context of natural hazards. For instance, the design objectives of the consolidation dams are usually limited to the definition of loads related to the structure resistance. Functionally speaking, the design objectives are lacking. The bank volumes to stabilize, the lengths of hillslopes toe to be protected, the functioning modes in case of clear water, hyperconcentrated bedload transport flows or debris-flows, are seldom described. Other technological bottlenecks come from the effective difference between the notions of performance and efficiency and the definition of the studied systems (Tacnet *et al.*, 2010b): does the external environment belong to the system concerned by the description of a protection work? Elements of methodology are proposed and discussed in the following section.

EFFICIENCY: DEFINITION OF THE CONCEPT AND ESTIMATION METHODOLOGY

Global methodology

Our approach is derived from the indicators and methods of dependability and dedicated to the specificity of protection works against natural hazards focusing on the mountain river torrents. The project uses the principles of systems analysis underlying the methods of dependability as they formalize and trace the reasoning associated with expert analysis of the operation and condition of structures (Tacnet, 2009a).

The methodology is based on six steps (figure 6) considering both structural and functional types of failure observed. Classical indicators denoted as RAMS (reliability, availability, maintainability and safety) are analyzed to assess the overall efficiency of the devices (Rey, 2010).

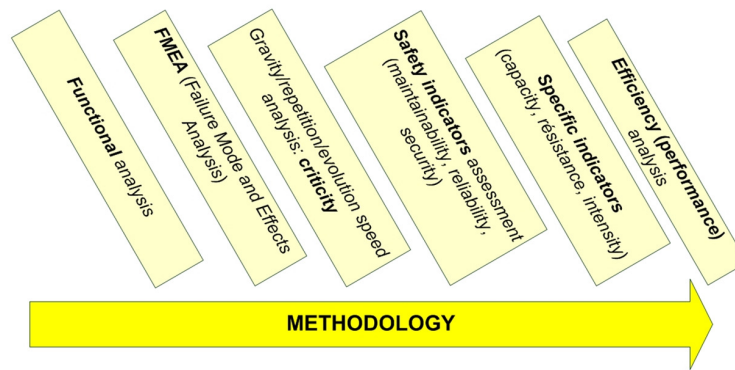


Fig. 6 Functional and structural failure analysis of torrent protection works (examples of dykes)

Functional and structural failures analysis

The concept of failure refers to a predefined, nominal function of a system, identified using functional analysis. Concerning the protection works against flash floods, this type of systemic and exhaustive analysis is lacking contrary to other types of industrial or even hydraulic (dams, dikes) works. It also entails a methodological question because the failure concept concerns not only the anthropogenic components set up to reduce the effects of natural phenomena but also the context of the works implantation (geotechnical, hydro-geological environments...).

We first review the concepts used in the civil engineering domain: functional analysis and FMEA aim to describe the system and its components (figure 7) and analyze its failure modes (figure 8). New indicators of dependability are proposed to define the efficiency of analyzed systems. The system analysis first addresses the case of individual protection works and is afterwards extended to a whole set of dams. Structural failures analysis result from a civil engineering based approach (Tacnet et al., 2010b).

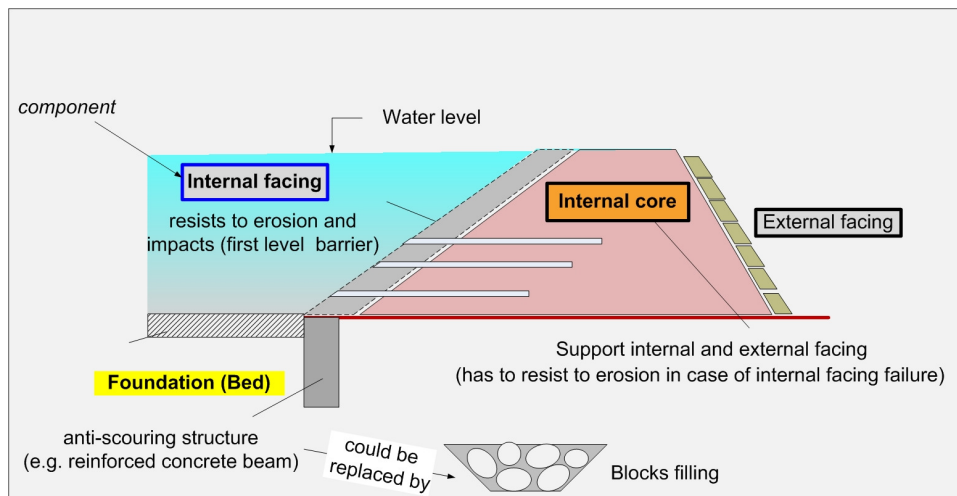


Fig. 7 Functional and structural failure analysis of torrent protection works (examples of dykes)

Failure scenarios (figure 8) are described and are then reused in the FMEA analysis.

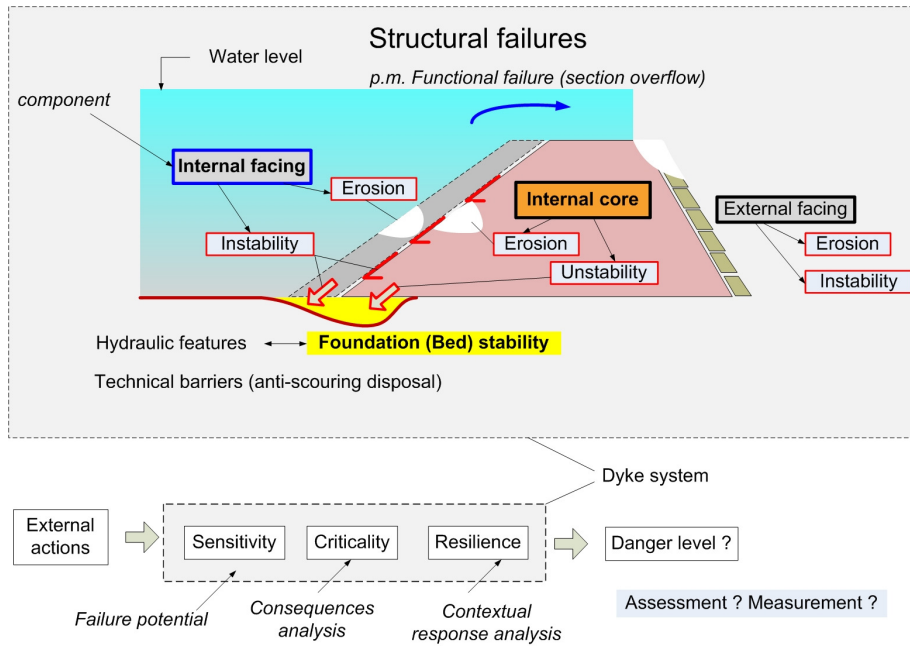


Fig. 8 Example of structural failures of a dyke

An originality of the methodology consists in the description of the functional failures of the system which is used afterwards in the efficiency assessment (figure 9).

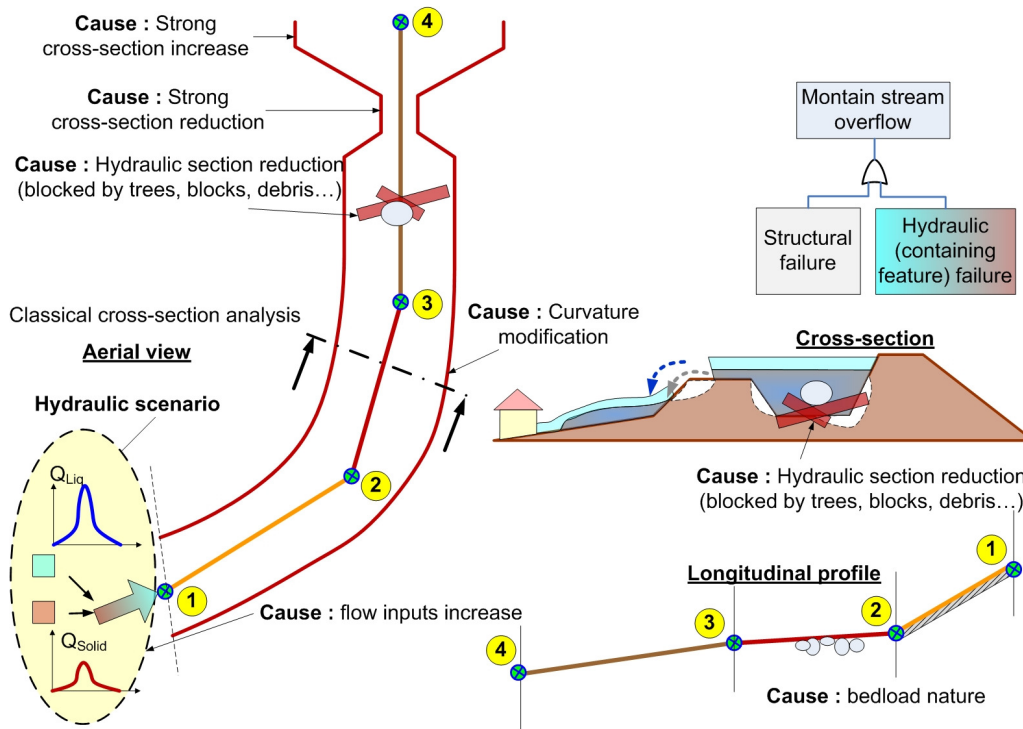


Fig. 9 Qualitative assessment of structural and functional failures of a dyke according to aerial, cross-section and longitudinal profile features (Tacnet et al, 2011)(Irstea-ONF,2011)

Concepts of capacity and efficiency

The loss of performance of hydraulic works, associated to their ageing was analyzed using dependability methods (Peyras, 2003; Peyras et al., 2006; Curt et al., 2010; Breyse et al., 2007). Performance is defined as the capability of an infrastructure to perform the functions for which it was designed. It depends on unitary performances assessed considering the failure of each main function.

The efficiency while being an attribute of main importance for the works managers is not considered as an attribute in dependability approaches. The concepts of capacity, efficiency and performance are linked to the performing of the system functions. The capacity corresponds to the technical characteristics measurable and associated to a function: the torrent materials backfill volume is linked to the function “Stabilize longitudinal profile” (figures 2 and 10).

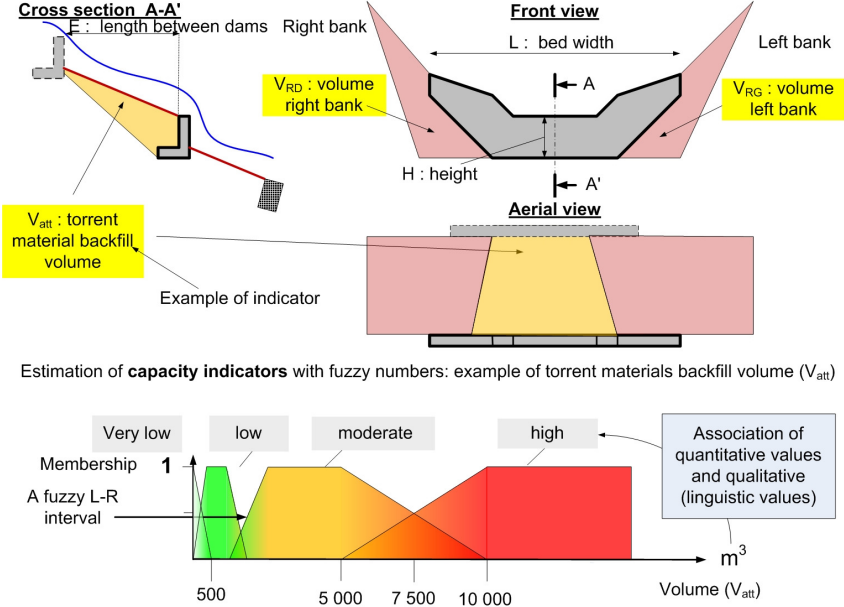


Fig. 10 Example of a capacity indicator of a torrent checkdam based on fuzzy numbers (Tacnet et al., 2011)

The efficiency can be considered as equivalent to the performance concept. It relies on the definition of a nominal objective that links a component, a function and an objective or mission (figure 6). A work is considered efficient if its capacity (or performance level) complies with the design objectives: those two concepts are closely linked (figure 11).

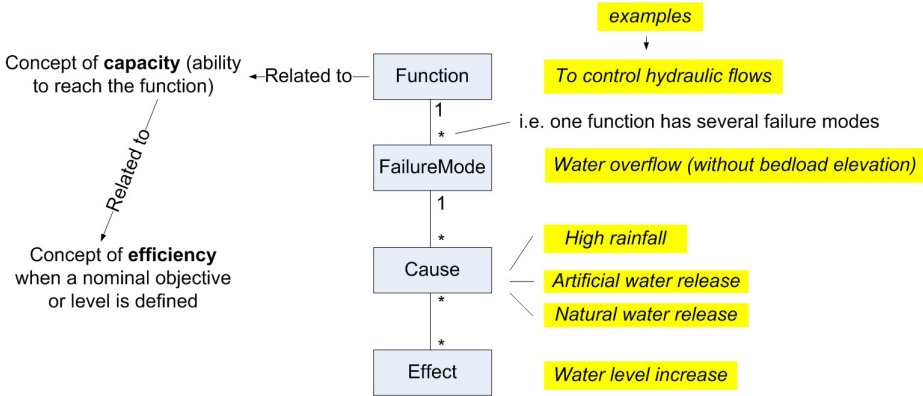


Fig. 11 Relations between failures mode analysis, capacity and efficiency concepts

This definition leads to a difficulty for its application to the context of the natural hazards because the nominal objectives (e.g. stabilisation) of the protection works are seldom explicit, particularly in the case of consolidation dams. Moreover, as the protection works aim at limiting the risk level, their efficiency which depends on the observed failures, is also indirectly linked to the risk level downstream or near the works. The global efficiency depends on the structural and functional aspects. The structural efficiency is a necessary but not sufficient condition to insure the work global efficiency. The efficiency results from the association of the capacity (feature, technical ability) and a predefined objective (figure 12) that has to be described.

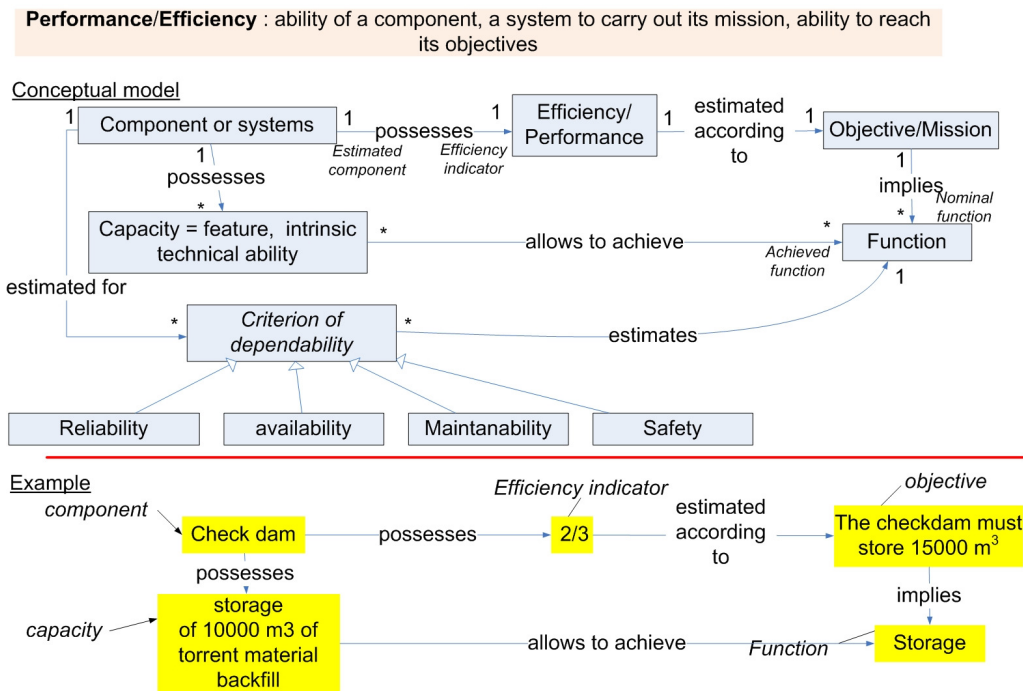


Fig. 12 Definition of the concepts of efficiency and capacity (Tacnet et al., 2011)

Indicators for efficiency estimation

Concepts of reliability, maintainability, safety and availability can be used in the context of torrent floods on the condition of setting temporal references and functional objectives. These concepts are measured by specific indicators. Reliability corresponds to the achievement of system requirements and functions during the initially chosen period corresponding to the device lifetime (e.g. one failure per year during ten years). The maintainability of the system is linked to maintenance conditions and strategy chosen by the protection device managers. The safety corresponds to the analysis of the incoming threats resulting from the environment or the external systems that may induce a critical situation.

Measurable indicators are required to estimate the criteria of dependability and the efficiency of the studied system (i.e. the torrent protection system gathering several dams, dykes...). Indeed, tables of failures analysis resulting (FMECA) are not sufficient to estimate directly the efficiency of any protection work. Specific indicators are necessary (Curt et al., 2010). We propose here indicators that associate the capacities and functions of protection works. Fuzzy sets (Zadeh, 1965) and possibility (Dubois et al., 1988) theories are used to represent and combine imprecise and uncertain knowledge resulting from expert judgements (Curt et al., 2011).

The approach consists in basing the performance (or efficiency) estimation on the use of fuzzy numbers (and/or intervals) (Zadeh, 1965). Thus, quantitative values such as possible volumes, torrent materials backfill volumes, scouring depths...are linked to qualitative classes (linguistic values) on which experts can more easily reason and express their opinion. The scouring depth is an example of a numerical value associated to qualitative linguistic classes (low, moderate...) using fuzzy intervals (figure 13). The identification of these fuzzy numbers allows at the end to the comparative estimation of protection works and torrent sections even when knowledge is incomplete. In that way, this simple method is a way to formalize and capitalize the know-how and the thematic knowledge of experts in torrential hydraulics.

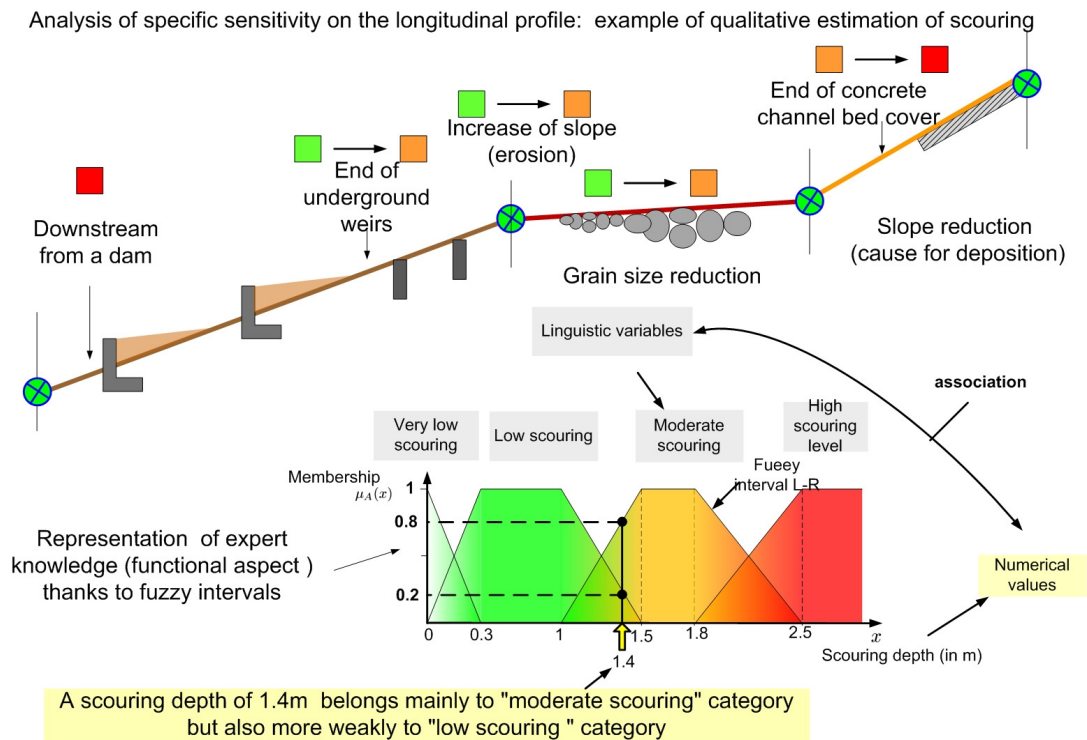


Fig. 13 Qualitative assessment of scouring sensitivity of the different zones of the longitudinal profile (Tacnet et al., 2011)

The implementation consists first in defining explicitly the capacities of protection works (in relation with their technical features) which are the basic criteria to describe the system. Secondly, the efficiency of the components is estimated as soon as the reference objectives of the system have been identified.

Each feature of protection works are analyzed in relation with the failure modes previously identified. This is an essential step, done in collaboration with experts, for a further operational use and application of the methodology (figure 14).

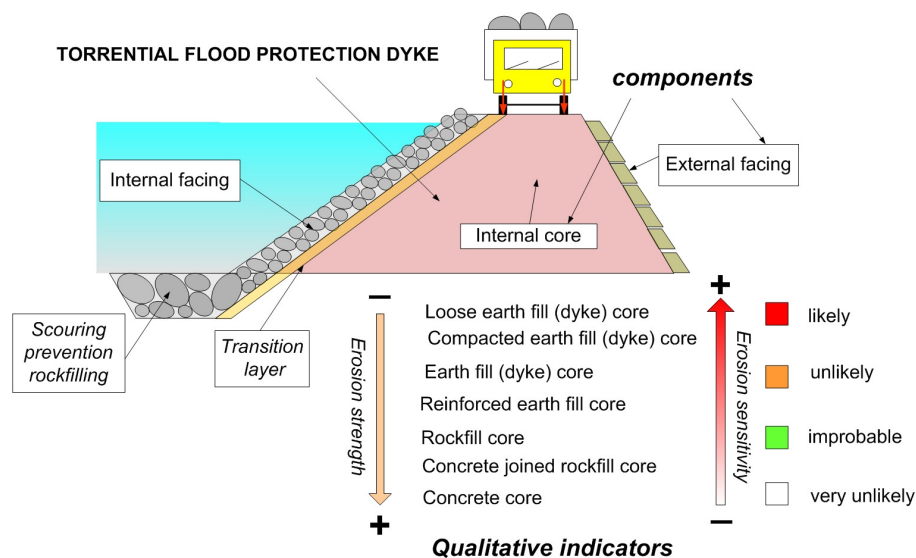


Fig. 14 Building qualitative indicators for structural features of a dyke

CONCLUSION

The concepts of dependability analysis (functional analysis and FMEA) used in the civil engineering domain to describe the system and analyze its failure modes are valuable but quite new tools to analyze the efficiency of protection works. A first methodological framework is proposed to adapt them to the context of natural hazards. The definition of indicators of dependability as fuzzy numbers is a practical way to assess the capacity and efficiency levels. They are also used to analyze the danger level related to the protection works.

This approach has another interest and objective for works whose function is to limit risks: the estimation of performance (or efficiency) indicators is directly linked to a danger level downstream from them. A very efficient (or performing) work will play its protection role completely. A low performing dam does not satisfy its functional objectives and can therefore induce an additional danger downstream from itself in case of failure. These indicators allow identifying differences between the more or less exposed areas to structural and functional failures. They have an interest in the framework of risk prevention but also in the context of danger analysis which focus on additional dangers due to protection works collapse (Irstea-onf, 2011).

Developments of the methodology are still under progress. Combination with other techniques such as multicriteria decision analysis methods, information fusion (Tacnet, 2009; Tacnet, 2009b) is a perspective of this work.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been partially funded by the the PARAMount Project (www.paramount-project.eu) of the European InterReg Alpine Space program and the ANR Program.



REFERENCES

- Breyse D., Vasconcelos E., Schoefs F. (2007). Management Strategies and Improvement of Performance of Sewer Networks. *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, 22, 462-477
- Curt C., Peyras L., Boissier D. (2010). A knowledge formalisation and aggregation-based method for the assessment of dam performance. *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 171-183.
- Curt C., Talon A., Mauris G. (2011). A dam assessment support system based on physical measurements, sensory evaluations and expert judgements, *Measurement*, 44, 2011, p. 192-201.
- Deymier, C., Tacnet, J.M., Mathys, N., 1995, Conception et calcul de barrages de correction torrentielle, Cemagref Éditions, Antony, 287 p.
- Dubois D., Prade H. (1988). Possibility Theory: an approach to Computerized Processing of Uncertainty, Plenum Press, New York, USA.
- Irstea, O.N.F (2011). Etude de dangers des digues du torrent de La Salle. Rapport technique réalisé pour le compte du MEDDTL, à paraître.
- Magne L., Vasseur D. (2006). Risques industriels. Complexité, incertitude et décision : une approche interdisciplinaire, Lavoisier, Paris.
- MEEDDAT (2008). Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu (J.O. du 19 juin 2008), Journal Officiel de la République Française.
- Mortureux Y. (2001). La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques in *Traité « L'entreprise industrielle » - « Sécurité et gestion des risques »*, Techniques de l'Ingénieur, - Ref. AG 4 670.

- Peyras L. (2003). Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages-Développement de méthodes d'aide à l'expertise - Thèse de doctorat (PhD thesis), Université Blaise Pascal - Clermont 2, France.
- Peyras L., Royet P., Boissier D. (2006). Dam ageing diagnosis and risk analysis: Development of methods to support expert judgement, *Canadian Geotechnical Journal*, **43**, 169-186.
- Rey B. (2010). Analyse de l'efficacité des dispositifs et stratégies de protection contre les crues torrentielles, Rapport de stage de fin d'études d'ingénieur, Ecole des Mines d'Alès, Alès, Cemagref (Grenoble), France.
- Serre D. (2005). Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations : modélisation des critères de décision dans un système d'information géographique. Thèse de doctorat en sciences de l'information géographique, Université de Marne-La-Vallée, Marne-La-Vallée, France.
- Suda, J., Strauss, A., Rudolf-Miklau, F., and Hübl, J. (2009). Safety assessment of barrier structures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 5(4):311--324.
- Tacnet J.-M. (2009a). "Considering uncertainty in the natural risks expertise process using multicriteria decision analysis and information fusion". PhD Thesis in Environmental Sciences Engineering (in French), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.
- Tacnet J.-M., Batton-Hubert M., Dezert J. (2009b). Information fusion for natural hazards in mountains in *Advances and applications of DSMT for Information Fusion - Collected works - Volume 3* - <http://fs.gallup.unm.edu/DSMT.htm>, American Research Press, Rehoboth, USA, p.565-659.
- Tacnet J.-M., Richard D., Dezert J., Batton-Hubert M. (2010a). Decision support and information fusion for expert assessment of natural risks : analysis of the efficiency of civil engineering protection works (in French), 6^{èmes} journées de la fiabilité des matériaux et des structures, JFMS'10, Toulouse, France, 24-26 mars 2010.
- Tacnet J.-M., Richard D. (2010b). From design to safety analysis of torrent control checkdams, *Revue SET (Sciences, Eaux, Territoires)*, vol. 2, p. 164-175, 2010a.
URL : <http://www.set-revue.fr/de-la-conception-la-surete-des-barrages-de-correction-torrentielle>
- Tacnet J.-M., Curt C., Richard D., Rey B. (2011). « Efficacité des ouvrages de correction torrentielle : indicateurs basés sur la sûreté de fonctionnement », *Annales du bâtiment et des travaux publics*, n°4-5, 78-86.
- Zadeh L. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, vol. 8, p. 338-353, 1965.

EINFLUSS DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BEWIRTSCHAFTUNG AUF ALPINE NATURGEFAHREN

EINE ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG

Andreas Zischg¹, Romano Costa², Christian Flury³ und Andreas Schild⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Eingebettet in die Gesamtstrategie der nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT wurde die mögliche Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Hinblick auf eine Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung und -vermeidung untersucht. Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass Naturgefahrenereignisse durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht verhindert werden können, die Landwirtschaft aber einige Möglichkeiten hat, die Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren zu verringern oder zu erhöhen. Die Landwirtschaft kann situationsbezogen zur vorbeugenden Gefahrenminderung und Schadenreduktion beitragen und leistet bereits heute einen Beitrag dazu. Die Beiträge zur Gefahrenprävention reichen von der Optimierung des Hochwasserrückhalts in der Fläche, der Vermeidung von Erosion und Rutschungen bis hin zur Verminderung von Schneegleiten. Die Studie hat gezeigt, dass vor allem Massnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhalts im Boden einen relevanten Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten können.

Keywords: Landwirtschaft, Oberflächenabfluss, Hochwasserrückhalt, Erosion, Naturgefahren, Integrales Risikomanagement.

ABSTRACT

Within the implementation of the general strategy for integrated risk management of the Swiss platform on natural hazards, the influences of the agricultural land use practices to natural hazards have been analysed. The analyses based on a literature review. In general, agriculture is not able to trigger or to prevent natural hazards. But, agriculture could aggravate or attenuate an existing disposition for natural hazard. Depending on the situation, the adaptation of the agricultural land use to the requirements of natural hazard prevention is contributing to attenuate floods, erosion, shallow landslides and snow-gliding. Mostly relevant in terms of flood prevention are agricultural techniques that increase infiltration capacity and water retention capacity of soils. These adaptation measures could contribute to extend the options for action in integrated risk management.

Keywords: Agriculture, surface runoff, retention, erosion, integrated risk management.

EINLEITUNG

Im Rahmen des integralen Risikomanagements sind neben den bekannten technischen Präventionsmassnahmen auch flächenwirtschaftliche Massnahmen zur Risikoreduktion in Betracht zu ziehen und im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse anderen Massnahmen gegenüberzustellen. Die von der Landwirtschaft bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Sömmerungsweiden (Alpweiden) leisten situations- und standortbezogen einen wichtigen Beitrag zur

¹ Andreas Zischg. Abenis AG, Quaderstrasse 7, 7000 Chur, Schweiz (e-mail: a.zischg@abenis.ch)

² Romano Costa. Abenis AG, Schweiz

³ Christian Flury. Flury & Giuliani GmbH, Schweiz

⁴ Andreas Schild. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, Schweiz

Verminderung von Risikosituationen. Umgekehrt beeinflussen die Art und Intensität der Bewirtschaftung und die Produktionstechnik die Naturgefahren. Dabei besteht eine wesentliche Standortabhängigkeit, welche den Einfluss einzelner Bewirtschaftungsformen und damit die Gefahrensituation verschärft oder mindert.

Die Plattform Naturgefahren PLANAT erarbeitete 2003 eine Strategie zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz (PLANAT 2004). Die Ziele dieser Strategie sind die Gewährleistung eines akzeptierten Sicherheitsniveaus nach einheitlichen Kriterien, die Reduktion vorhandener und die Vermeidung neuer Risiken. Die Mittel zur Reduktion der Risiken sollen effektiv und effizient eingesetzt werden. Die Umsetzung der Strategie orientiert sich nicht an einer reinen Gefahrenabwehr, sondern an einem integralen Risikomanagement. Auf der Grundlage der erarbeiteten Strategie verfolgt die PLANAT die Umsetzung von Massnahmen zur Erreichung der festgesetzten Ziele mittels eines Aktionsplanes, welcher die Verankerung des Grundsatzes der Risikokultur und damit eine Abkehr von der reinen Gefahrenabwehr verfolgt. Der Aktionsplan zielt darauf ab, das integrale Risikomanagement zu fördern, die Grundlagen und Instrumente anzupassen und zu ergänzen, die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zu klären sowie den Risikodialog zu fördern und ein Controlling auf strategischer Ebene zu entwickeln. Angeregt und unterstützt vom Bundesamt für Landwirtschaft hat die PLANAT ein Projekt lanciert mit dem Ziel, einen systematischen Überblick über den Stand der Erkenntnisse und eine Synthese über die gesicherten Aussagen, Unsicherheiten und Wissenslücken zu erarbeiten. Auf Basis einer Literaturrecherche sollte der Wissensstand über die Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zusammengefasst und dargestellt werden, Ansatzpunkte zur Gefahren- und Schadenreduktion durch die Anpassung der land- und alpwirtschaftlichen Nutzung formuliert und zugunsten der Landwirtschaft ausgerichtete Fördermassnahmen sowie Wissenslücken und offene Forschungsfragen aufgezeigt werden. In der Analyse sollten die Aspekte der Multifunktionalität der Landwirtschaft berücksichtigt werden.

METHODIK

Die Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Naturgefahren sind nicht nur im Kontext der Bewirtschaftung, sondern auch in Verbindung zu den landwirtschaftlichen Strukturen, zu den jeweiligen Standorteigenschaften und zu den bestehenden agrarpolitischen Massnahmen zu analysieren, da diese die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bestimmen. Der Themenbereich wurde deshalb einerseits nach dem Aspekt der Standorteigenschaften und andererseits nach agronomischen und agrarökonomischen Aspekten betrachtet. Die Auswirkungen auf Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren wurden als Produkt dieser Aspekte betrachtet. Mit dieser Vorgehensweise liessen sich die Einflussgrössen einzeln und in ihrem Zusammenwirken herauskristallisieren. Gleichzeitig konnten die hemmenden und fördernden Faktoren für die Naturgefahren in Verbindung zur Bewirtschaftung und zu den landwirtschaftlichen Strukturen gebracht werden; diese sind das Ergebnis der Entscheidungen der landwirtschaftlichen Akteure, welche durch die wirtschaftlichen und agrarpolitischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden. Mit Hilfe dieser Struktur konnte die vorliegende Thematik von zwei Seiten betrachtet werden, sowohl von naturwissenschaftlich-technischer Seite mit Schwerpunkt auf die Naturgefahrenprozesse als auch von agrarwirtschaftlicher Seite mit Schwerpunkt auf die Fördermassnahmen und deren Wirkung auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und damit wiederum auf die Naturgefahrenprozesse. Die ganzheitliche Betrachtung und deren Ergebnisse wird in Zischg et al. (2011) beschrieben, in vorliegender Arbeit wird nur auf die naturwissenschaftlichen Aspekte eingegangen.

Die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform auf die Häufigkeit und Intensität wurden anhand des Modells der Zusammensetzung eines gefährlichen Prozesses aus Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis betrachtet (Zimmermann et al. 1998). Das auslösende Ereignis, häufig ein Niederschlagsereignis, wird in dieser Studie als nicht direkt beeinflussbar behandelt. Im Wesentlichen konzentrieren sich die Einflussmöglichkeiten der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Beeinflussung der variablen Disposition und der Grunddisposition für Naturgefahrenprozesse. In der Untersuchung wurden dabei die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen Graslandwirtschaft (unterteilt in Wiese und Weide),

Ackerbau, Obst- und Weinbau auf die Prozesse Oberflächenabfluss, Erosion durch Wasser, flachgründige Rutschungen und Schneegleiten betrachtet.

AUSWIRKUNGEN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BEWIRTSCHAFTUNG

Im Folgenden werden die wichtigsten Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren beschrieben. Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden nach den folgenden Prozesstypen zusammengefasst: Oberflächenabfluss, Erosion, flachgründige Rutschung und Schneegleiten. Aufgrund der vorgeschriebenen Dokumentlänge werden hier nur die wichtigsten Zitate wiedergegeben. Eine ausführliche Auflistung der analysierten Literatur findet sich in Zischg et al. (2011).

Oberflächenabfluss

Die Bildung von Oberflächenabfluss ist ein Resultat von verschiedenen Prozessen. Oberflächenabfluss ist der Teil des Niederschlags, der nicht durch Interzeption an der Vegetationsdecke zurückgehalten und nicht in den Boden eindringen und versickern kann. Der Anteil des Niederschlags, der in den Boden eindringt und damit nicht zum Oberflächenabfluss beiträgt, ist von der Infiltrationskapazität und vom Speichervermögen des Bodens abhängig. Dieser Faktor kann wesentlich von der Landwirtschaft durch die Art der Bewirtschaftung beeinflusst werden. Die wichtigsten Bewirtschaftungsfaktoren, die den Wasserrückhalt in der Fläche beeinflussen können, sind die Art der Vegetationsbedeckung und deren zeitliche Abfolge auf Ackerbauflächen, die Bodenverdichtung, das Makroporenvolumen und die Gestaltung der Oberfläche durch Strukturelemente.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann v.a. über die Beeinflussung der **Infiltrationskapazität** den Oberflächenabfluss steuern. Neben der Infiltrationskapazität ist die **Wasserspeicherfähigkeit** in absoluten Werten wesentlich für den Gebietsabfluss. Ist die Speicherkapazität eines Bodens erschöpft, fließt das Wasser trotz hoher Infiltrationskapazität oberflächlich ab. Der potenzielle Bodenwasserspeicher während eines Niederschlagsereignisses entspricht etwa dem Gesamtporenvolumen und ist abhängig von der Bodenmächtigkeit. Diese Grösse wird durch die Substrateigenschaften, die Lagerungsart, die Gefügebildung und die biologische Aktivität bestimmt (Akkermann 2004). Während ein mächtiger Boden mit günstigem Aufbau in der Lage ist, sämtliches Wasser eines Niederschlagsereignisses zu speichern, fließt bei anderen ein Grossteil des Niederschlags nach erfolgter Sättigung ab. Wird durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung die Infiltrationskapazität oder das Porenvolumen verringert, kann die vorhandene Wasserspeicherkapazität nicht ausgenutzt werden.

Eine **Bedeckung des Bodens durch Vegetation** erhöht die Interzeption des Niederschlags, schützt den Boden vor der kinetischen Energie der Regentropfen, erhöht die Rauigkeit der Bodenoberfläche und erhöht die Evapotranspiration. Ausser für letzteres sind die Wirkungen einer Skelettauflage und Mulchauflage ähnlich. Für diese Faktoren kann die Landwirtschaft über die Wahl der Kulturpflanze und die Gestaltung der Fruchtfolge Einfluss auf den Oberflächenabfluss nehmen. Die **Wahl der Kulturpflanze** bestimmt zum Teil die Art der Bodenbearbeitung und das Ernteverfahren und damit die Bodenbelastung. Das Infiltrationsverhalten eines Ackerbodens ist zudem von der Vorfrucht bestimmt. Manche Kulturpflanzen wie beispielsweise Winterraps fördern die Entstehung von senkrechten Makroporen auf Basis der in der Unterkrume vorhandenen Rapswurzelröhren (Akkermann 2004). Die Wahl der Fruchtfolge hat ausserdem Einfluss auf die Aggregatstabilität des Bodens und damit auf den Verschlammungseffekt. Nach dieser Reihenfolge verbessern Hackfrüchte, Getreide, Klee, Raps, Gräser und Klee gras als Vorfrucht in der Fruchtfolge zunehmend die Aggregatstabilität. Der **Bodenbedeckungsgrad** in Kombination mit der Art der Bodenbearbeitung ist ein weiterer Faktor für die Abflusssentstehung. Der Prozess der **Verschlammung** der Bodenoberfläche ist nur auf Böden mit geringem Bodenbedeckungsgrad relevant. Dies sind im Allgemeinen ackerbaulich genutzte Flächen mit zeitweisem Fehlen der Vegetationsbedeckung. Die Infiltrationskapazität des Bodens ist ausserdem wesentlich von der **Anzahl und Grösse der Makroporen** beeinflusst (Scherrer 1997). Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in Ackerbauflächen hat einen erheblichen Einfluss auf das Vorhandensein und auf die Dichte der

Makroporen im Boden und damit auf die Infiltrationsleistung (Schmidt et al. 2001). Die Länge der **Bodenbedeckung im Jahresverlauf** kann durch den Anbau von Zwischenfrüchten, Futter- oder Gründüngungspflanzen sowie von Fruchtarten, die über den Winter abfrieren, verlängert werden. Die zeitliche Verlängerung der Bodenbedeckung wirkt sich positiv auf die Aggregatstabilität und die Infiltrationskapazität aus. Aufgrund der Durchwurzelung hat die Bodenbedeckung auch Auswirkungen auf das Wasserspeichervermögen. Graslandflächen haben im Allgemeinen eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität und sind weniger anfällig für Verschlammung und Verdichtung als Ackerflächen. Über die Bodenbearbeitung im Ackerbau, über das Befahren von feuchten Böden mit schwerem Gerät sowohl im Ackerbau als auch im Grasland und über eine intensive Beweidung kann die **Bodenverdichtung** bei dafür sensiblen Böden zu erhöhtem Oberflächenabfluss führen. Durch die Bodenverdichtung und die Verschlammung auf Ackerflächen können Böden mit naturbedingt hohem Wasserspeichervermögen und hoher Infiltrationskapazität beinahe komplett versiegelt werden. Durch Umstellung der Bewirtschaftungsform in sensiblen Gebieten auf bodenschonende oder konservierende Bewirtschaftungsformen (z.B. Mulchsaat- oder Direktsaatverfahren im Ackerbau) kann die Infiltrationskapazität und das Speichervermögen erhalten bzw. wesentlich erhöht werden und damit ein Beitrag zur Reduktion des Abflusses in Gewässern geleistet werden. Eine wesentliche Reduktion des Oberflächenabflusses kann weiters durch die Vermeidung von Bodenverdichtung durch die Beweidung, durch die Anpassung der Befahrung bei nassen Böden und durch die Beibehaltung der Vielfalt an Landschaftsstrukturen und Gliederung der Hangbereiche durch Strukturelemente erreicht werden. Schadenpotenzial an Hangfussbereichen, das von Überschwemmung durch Oberflächenabfluss betroffen ist, kann mit Hilfe von lokalen Auffang- und Versickerungsbecken im Landwirtschaftsgebiet vor Überflutungsschäden geschützt werden. Bei Kanalisierung oder Konzentration des Oberflächenabflusses aus grösseren zusammenhängenden Flächen in Tiefenlinien kann es in Ackerflächen zur Erosion von Boden und am Hangfuss zu lokalen Überschwemmungsereignissen sowie zur Ablagerung des erodierten Materials kommen. Ein geringer Bodenbedeckungsgrad bewirkt bei hohem Oberflächenabfluss einen hohen Bodenabtrag und führt damit zu einer Belastung des Oberflächenabflusses mit erodiertem Bodenmaterial. Abflussereignisse können sich so zu "mud flows" entwickeln.

Die Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses wird im Wesentlichen durch die **Oberflächenrauigkeit** bestimmt. Eine hohe Oberflächenrauigkeit im kleinskaligen Bereich bewirkt, dass mehr Kleinspeicher an der Bodenoberfläche vorhanden sind, an denen erstens die Versickerung gefördert wird und zweitens das Niederschlagswasser für eine Zeit zurückgehalten wird. Damit wird der Beitrag an die Hochwasserspitze in Einzugsgebieten vermindert. Eine generelle Erhöhung der Oberflächenabflussgeschwindigkeit verringert die Geschwindigkeit des Anstiegs der Hochwasserwelle. Bewirtschaftungsformen, bei denen der Boden nur teilweise bedeckt ist und welche die Bodenoberfläche stark modifizieren, können zur Konzentration des Oberflächenabflusses führen. Die Konzentration des Oberflächenabflusses in Tiefenlinien führt örtlich zu hohen Fliessgeschwindigkeiten und bildet Ansatzpunkte für die Wassererosion.

Das Potenzial für eine Verbesserung der Infiltrationskapazität durch Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Ackerbau (bodenschonende und konservierende Anbaumethoden) liegt in einer Grössenordnung zwischen 5 bis 75% der Niederschlagssumme, im Mittel bei 30% (Akkermann 2004, Weiss 2009). Nach Akkermann (2004), Sieker (2002) und Weiss (2009) liegt dieser mögliche Beitrag von Massnahmen im Ackerbau zur Verringerung des Abflussvolumens und der Abflussspitze bei Hochwasser auf der Ebene der untersuchten Flusseinzugsgebiete bei mindestens 7.5 bis 12%. Die Effekte auf die Reduktion des Abflussvolumens als auch der Abflussspitze sind bei allen Intensitäten und Wiederkehrperioden des Niederschlags zu erwarten. Ausnahmen bilden nur Einzugsgebiete mit einem hohen Flächenanteil an flachgründigen Böden ohne nennenswerte Speicherkapazität und Einzugsgebiete mit einem geringen Flächenanteil an Ackerbauflächen. Extensiv genutzte Graslandflächen haben im Allgemeinen eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität als Ackerflächen und sind weniger anfällig für Verschlammung und Verdichtung. In besonders sensiblen Ackerflächen ist deshalb eine Umstellung in Graslandwirtschaft zu prüfen. Ausnahmen hierzu stellen intensiv genutzte Graslandflächen dar. Im Sömmerungsgebiet und in alpinen Weiden ist darauf zu achten, dass eine sachgemäße Weidepflege (Neueinsaat bei

Bodenverwundungen, Düngung, etc.) bei Bedarf durchgeführt wird. Damit kann die Versickerungsrate erhöht und somit der Oberflächenwasserabfluss verringert werden. Auf Mähwiesen sind Narbenschäden durch Erntegeräte laufend auszubessern. Für eine qualitative Übersicht zu den gefahrenfördernden und gefahrenhemmenden Faktoren siehe Tab. 1. Quantitative Angaben sind in Zischg et al. (2011) zu finden.

Tab. 1 Gefahrenfördernde und gefahrenhemmende Faktoren in Bezug auf Oberflächenabfluss

Tab. 1 Factors of agricultural land use practices influencing surface runoff

Einflussfaktor Bewirtschaftung/Infrastruktur	Wirkung
Ackerbau: Lange vegetationsfreie Periode, Bodenverdichtung durch Maschinen und durch Befahren, Verschlammung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen, Zerstörung der Bodenstruktur und Verringerung Aggregatstabilität	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Oberflächenabfluss ↑ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss
Ackerbau: Konservierende Bodenbearbeitung wie Mulchsaat, Direktsaat, temporäre Untersaat, Zwischenfrüchte zur Gründung, Mulchauflage zu Zeiten hoher Abflussbereitschaft (Winterhalbjahr), Vermeidung von vegetationsfreien Perioden ohne Bodenbedeckung	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Aggregatstabilität ↓ Verschlammungsanfälligkeit ↓ Oberflächenabfluss (bis zu 50%) ↓ Scheitelabflüsse und Abflussvolumen aus Gebiet
Ackerbau: Erhöhung Geländerauigkeit, Anlage von Leitlinien und Versickerungsmöglichkeiten, Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, gemeinsame Anbauplanung, Querbewirtschaftung und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge, permanente Begrünung von sensiblen Geländebereichen wie Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Oberflächenabfluss ↓ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss ↑ Versickerungsvermögen ↓ Abflussvolumen aus Gebiet
Graslandwirtschaft: Bodenverdichtung durch Beweidung, Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch Nutzungsaufgabe oder Intensivierung	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Oberflächenabfluss ↑ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss
Graslandwirtschaft: Weidemanagement, Weidepflege, ggf. langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Oberflächenabfluss ↓ Erosion

Erosion und flachgründige Rutschungen

Erosionsprozesse sind im Wesentlichen durch die klimatischen, geologischen, pedologischen und topographischen Standortbedingungen vorgegeben. Die Landwirtschaft kann durch die Anpassung und Berücksichtigung der Standortbedingungen in der Bewirtschaftung Erosionsprozesse durch Oberflächenabfluss vermeiden und verringern, bei standortangepasster Bewirtschaftung aber wesentlich verstärken. Der wichtigste Faktor der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung neben den oben erwähnten Faktoren zur Beeinflussung des Oberflächenabflusses ist eine dauernde und ausreichende Bodenbedeckung. In Ackerbauflächen, wo dies zumindest temporär nicht gewährleistet werden kann, ist besonders auf die topographischen Bedingungen zu achten. Liegen Ackerbauflächen in erosionsgefährdeten Gebieten, so kann die Landwirtschaft mit Massnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses, zur Erhaltung der Aggregatstabilität des Bodens, mit einer Anpassung der Bewirtschaftungsform und –richtung oder mit der Wahl der Kulturart die Erosionsgefahr verringern. Extensiv genutzte Bergwiesen haben eine sehr hohe Durchwurzelungsdichte und sind im Allgemeinen weniger anfällig auf Erosion als Ackerbauflächen. Nach einer Intensivierung und Erhöhung der Düngung wird häufig eine Zunahme der Erosion und von flachgründigen Rutschungen (Bodenhautrutschungen) betrachtet (Troxler 2007, Tasser et al. 2001, Hellebart 2006, Schmidlin 2008). Die Erosion im Sömmerungsgebiet beginnt häufig mit kleinen Bodenschürfungen oder Narbenversatzschäden, entstanden durch Schneegleiten bzw. Schneeschurf (Konz et al. 2010) und Lawinen oder infolge der Bewirtschaftung. Im Sömmerungsgebiet ist eine standortangepasste Beweidung wichtig. Eine extensive Nutzung, die Wahl der Tierart, ein dem Standort entsprechendes Weidemanagement und eine regelmässige Beweidung und Weidepflege sind die ausschlaggebenden Faktoren für den Erosionsschutz im Sömmerungsgebiet. Ähnliches gilt für die Disposition für flachgründige Rutschungen. Ungeregelter Weidebetrieb, Überweidung, nicht standortgerechte Tierartenwahl (Gewicht), Beweidung von steilen Hangbereichen, Beweidung bei feuchten Witterungsverhältnissen, freier Weidegang mit Schafen in Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung und kurzer Vegetationsperiode, die Umwandlung von Mähwiesen in Beweidung und die Zufuhr von Tränkewasser ohne geregelten Ablauf können zu einer Zunahme der

Rutschungsanfälligkeit führen. Die landwirtschaftliche Infrastruktur kann sowohl im Ackerbau als auch im Grasland und im Obst- und Weinbau durch die Begrenzung der erosiven Hanglänge, durch die standortangepasste Anlage von Erschliessungswegen, durch die Instandhaltung von Terrassen und Entwässerungsanlagen und durch die Förderung der Strukturvielfalt wesentlich zur Erosionsverminderung beitragen. Wie im Kapitel zum Oberflächenabfluss aufgezeigt, kann der Erhalt der Strukturvielfalt wesentlich zur Förderung der Versickerung und zur Abbremsung des Oberflächenabflusses beitragen. Strukturelemente wie Terrassen, Hecken, Waldpartien und Säume, insbesondere in steileren Hangbereichen oder Tiefenlinien tragen damit zum Erosionsschutz bei. Das moderne Meliorationswesen und das Landmanagement stellen wirksame Instrumente zur Erosionsbekämpfung dar. Für eine qualitative Übersicht zu den gefahrenfördernden und gefahrenhemmenden Faktoren siehe Tab. 2. Quantitative Angaben sind in Zischg et al. (2011) zu finden.

Tab. 2 Gefahrenfördernde und gefahrenhemmende Faktoren in Bezug auf Erosion und flachgründige Rutschungen

Tab. 2 Factors of agricultural land use practices influencing erosion and shallow landslides

Einflussfaktor Bewirtschaftung/Infrastruktur	Wirkung
Ackerbau: Lange vegetationsfreie Periode, Verschlammung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen, Zerstörung der Bodenstruktur und Verringerung Aggregatstabilität durch maschinelle Bewirtschaftung,	↓ Bodenstabilität ↑ Erosionsanfälligkeit
Ackerbau: Grosse zusammenhängende Parzellen in Hanglagen, Feldfluren ohne abflussbremsende Felldraine, Hecken, Feldgehölze und Hangstufen, Bearbeitung in Gefällerrichtung	↑ Erosionsanfälligkeit
Ackerbau: Erhöhung Geländerauigkeit, Anlage von Leitlinien und Versickerungsmöglichkeiten, Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, gemeinsame Anbauplanung, Querbewirtschaftung und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge, Permanente Begrünung von sensiblen Geländebereichen wie Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	↓ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss ↓ Erosion ↑ Versickerungsvermögen
Ackerbau: Erhöhung und Verlängerung Vegetationsbedeckung durch Untersaat und konservierende Anbaumethoden, Anpassung Kulturartenwahl, Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfruchtanbau, Belassen von Ernterückständen, Vermeidung von vegetationsfreien Perioden	↓ Verschlammungsanfälligkeit ↓ Bodenabtrag ↓ Erosion
Ackerbau, Weinbau: Erhalt bestehender Schutzanlagen, Terrassen, Raine und hangquerender Wege, Begrenzung der erosiven Hanglänge	↓ Erosion ↓ Rutschungsanfälligkeit
Graslandwirtschaft: Beweidung von stark geneigten Flächen mit schweren Tieren, Überweidung, Bildung von Lägerstellen und Trittwegen, Schädigung der Grasnarbe durch Frass und Tritt, Entmischung der natürlichen Artenzusammensetzung bei der Vegetation, Beweidung von Flächen mit geringem Deckungsgrad der Grasvegetation, Mangelnde/fehlende Behirtung und Weidepflege, nicht standortangepasste Beweidungsformen (Verteilung, Anzahl Weidegänge), Düngung von steilen Flächen, erosionsgefährdeten Flächen, Umwandlung von Mähwiesen in Beweidung, Nutzungsaufgabe	↑ Erosion ↑ Rutschungsanfälligkeit
Graslandwirtschaft: Regelmässige Beweidung, Weidemanagement, Weidepflege, ggf. langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen, Mischbeweidung mit verschiedenen Tierarten, ggf. Nachmahd zur Verhinderung von Langrasenteppichen, Regelmässiger Wechsel von Zufütterungsplätzen und Tränken, Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse nach Nutzungsaufgabe	↓ Oberflächenabfluss ↓ Erosion ↓ Rutschungsanfälligkeit

Schneegleiten

Im Gegensatz zu den Lawinen kann die Landwirtschaft das Vorkommen und die Intensität von Schneegleiten beeinflussen. Eine der entscheidenden Bedingungen für das Zustandekommen des Schneegleitens ist das Vorhandensein einer verhältnismässig glatten Bodenoberfläche oder Vegetationsdecke. Mit der Abnahme der Oberflächenrauigkeit durch Planierungen, Geländeeinebnungen oder nach einer Aufgabe einer regelmässigen Beweidung oder Mahd wird eine Zunahme der Gleitgeschwindigkeit beobachtet (Tasser et al. 2005). Das Aufgeben der Mahd und der Beweidung führt zum Aufkommen von langhalmigen Grasbeständen, die sich auf den Boden legen und damit wie eine glatte Gleitfläche für die Schneedecke wirken. Tasser et al. (2001) haben eine Erhöhung der Gleitwege von über 500% nach einer Bewirtschaftungsaufgabe von Weiden oder

Mähwiesen festgestellt. Die Erhöhung der Gleitrate führt zu einer Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Gleitschneerutschen und Gleitschneelawinen (Leitinger et al. 2003, Neweseley et al. 2000). Auf beweideten Hängen mit deutlichem Viehtritt und höhenlinienparallelen Trittsuren ist die Oberflächenrauigkeit erhöht, auf diesen Flächen ist das Schneegleiten deutlich vermindert. Eine zweite wichtige Bedingung für das Auftreten von Schneegleiten ist die Bildung einer Nassschnee-Grenzschicht oder eines Wasserfilms an der Basis der Schneedecke. Eine Zunahme des Wassergehalts in der Schneedecke oder an der Bodenoberfläche führt zum Übergang von trockener Gleitreibung zu nasser Gleitreibung und damit zu einer sprunghaften Zunahme der Gleitrate. Die Bildung von Nassschneesichten durch Schmelzprozesse kann durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht beeinflusst werden, diese sind im Wesentlichen ein Resultat der Witterung. Ein dichter Wurzelfilz und ein dichter Grasfilz an der Bodenoberfläche verringert unter ungünstigen Umständen die Einsickerung des Schmelzwassers aus der Schneedecke und fördert damit das Schneegleiten. Das Aufkommen von horstbildenden Grasbeständen und starrwüchsigen Pflanzengesellschaften auf Wiesen und Weiden kann bei geringen Schneemächtigkeiten das Schneegleiten verringern, bei grossen Schneemächtigkeiten kann es sein, dass diese in die Schneedecke einfrieren und bei Schneegleiten aus dem Boden gerissen werden. Damit werden die Ausgangspunkte für Erosionsphänomene geschaffen. Die intensive Düngung auf Flächen mit topographisch bedingter Disposition für Schneegleiten führt zu einer Reduktion der Durchwurzelungsdichte und -tiefe und damit zu einer Verringerung der stabilisierenden Durchwurzelung von Grasbeständen. Dies fördert das Aufreissen der Bodenbedeckung durch Schneegleiten (Schneesurf). Schneegleiten kommt häufig auch bei hofnahen Mähwiesen vor. In diesen Fällen und bei aussergewöhnlichen nivometeorologischen Verhältnissen kann dies zu einer Beschädigung von Gebäuden und bei spontanem Abreissen der Schneedecke zur Verschüttung von Personen führen. Insbesondere das ländliche Wegenetz ist den Gleitschneerutschen ausgesetzt. Eine regelmässige Beweidung von Dauerweiden mindert das Aufkommen von starrwüchsigen Zwergsträuchern und damit das Einfrieren der Vegetation sowie das Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten und damit eine Bildung von Narbenschäden. Auf Weiden kann eine Nachmahd im Herbst das Einfrieren der Vegetation sowie das Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten verhindern. Eine naturbedingt gegebene hohe Geländerauigkeit ist beizubehalten, Planierungen in Geländebereichen mit topographisch und klimatisch gegebener Disposition für Schneegleiten sind zu vermeiden. Eine regelmässige Pflege oder Mahd der Grasnarbe verringert die Angriffspunkte für Schneesurf.

VERKETTUNG VON FAKTOREN UND INDIREKTE WIRKUNGEN

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass die landwirtschaftliche Bewirtschaftung selten direkte Auswirkungen auf die Naturgefahren haben. Die einzelnen Faktoren können auch nicht isoliert betrachtet werden, zwischen ihnen bestehen vielfältige Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Dabei müssen v.a. die Standorteigenschaften und die Lage der jeweiligen Flächen zum Gerinne berücksichtigt werden. Als Betrachtungsebene für eine zusammenfassende Darstellung der Wirkungsketten ergeben sich im Wesentlichen die folgenden Standorttypen:

- a) Hangbereiche mit durch Massenbewegungsgefahren bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen, entweder im Hangbereich selbst oder am Hangfuss lokalisiert
- b) Alpine Wildbacheinzugsgebiete und Wildbacheinzugsgebiete im Alpenvorland mit von Hochwasser- und Wildbachprozessen bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen
- c) Grossräumige Einzugsgebiete von Flüssen mit durch Hochwassergefahren bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen

Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann an **Hang- und Hangfussbereichen** sowohl über Oberflächenabflussprozesse, über Erosionsprozesse, über flachgründige Bodenrutschungen als auch über Schneegleiten die betrachteten Naturgefahren beeinflussen.

Über die landwirtschaftliche Bewirtschaftung werden die Pflanzensammensetzung und damit die Durchwurzelungseigenschaften der Pflanzendecke und der Bodenbedeckungsgrad beeinflusst. Bei Verarmung der Artenvielfalt vereinheitlicht sich der Wurzelhorizont, es können flachgründige

Bodenrutschungen entstehen. Diese können sich bei dafür geeigneten Hangformen zu Hangmuren entwickeln. Rutschungen und Hangmuren stellen durch ihr abruptes und unvorhersehbares Auftreten ein Gefährdungspotential für Personen dar. Ausserdem können Hangmuren und „mud flows“ zu erheblichen Schäden im Siedlungsbereich und zu einer Unterbrechung von Strassen führen (siehe Fig. 1). Positive Rückkoppelungseffekte ergeben sich auch zwischen Schneegleiten und Erosion. Durch das Aufreissen der Grasnarbe nimmt der Bodenbedeckungsgrad ab, es kommt zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses. Der Oberflächenabfluss auf diesen durch Schneeschurf freigelegten Böden kann die Abtragungsempfindlichkeit erhöhen und damit zu einer Ausdehnung der Flächen durch Erosion führen. Schäden an der Grasnarbe können ausserdem Ansatzpunkte für Bodenrutschungen bilden.

In **Wildbacheinzugsgebieten** mit einem höheren Flächenanteil von landwirtschaftlichen Nutzflächen im Vergleich zu Wald spielt der Oberflächenabfluss generell eine Rolle für den Spitzenabfluss. Ein hoher Oberflächenabfluss führt im Allgemeinen zu einer höheren Transportkapazität und zu einer höheren Sohlen- und Seitenerosion. In zentralalpinen steilen Wildbacheinzugsgebieten kann die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Wesentlichen nur sehr lokal und standortspezifisch die Gefährdung von Siedlungen und Infrastrukturen durch Wildbachprozesse beeinflussen, wie beispielsweise die boden- und vegetationsschonende Beweidung in Bacheinhängen. In beweideten, stark geneigten Bacheinhängen kann es bei ungünstiger geologischer und geomorphologischer Ausstattung durch Ableiten von Tränkwasser oder durch intensive Beweidung mit für den Standort zu schweren Tieren zur Initiierung von Erosionsprozessen und zur Freilegung der Bodenoberfläche kommen. Durch die fehlende Pflanzendecke kann sich die erodierte Fläche zu Gully-Erosion weiterentwickeln, damit wird die Seitenerosion durch den Wildbach erleichtert (Fig. 2). Kommt es zu ausgedehnten Erosionsformen und flachgründigen Rutschungen im bachnahen Bereich, können diese zu einem erhöhten Geschiebeeintrag während eines Niederschlagsereignisses führen. Im Vergleich zu den möglichen Abtrags- und Erosionsraten im Bachbett von steilen Wildbacheinzugsgebieten selbst sind die Volumina dieser Phänomene geringer. Die Gefahr von Murgängen kann durch die Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung deshalb nicht direkt beeinflusst werden.

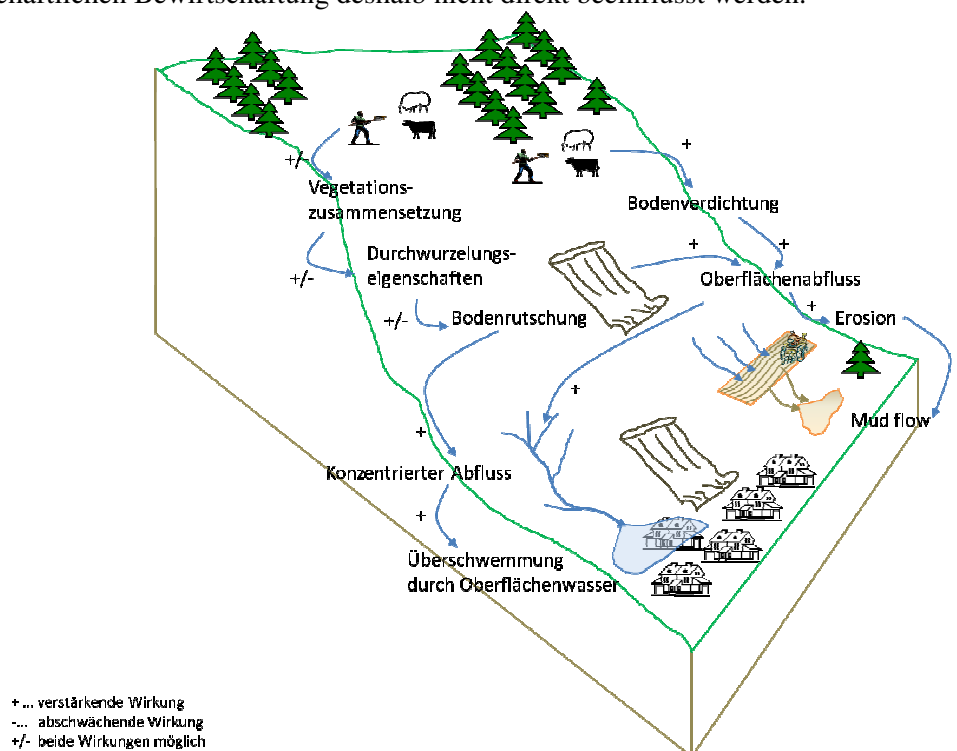


Fig. 1 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Hang- und Hangfussbereichen

Fig. 1 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in slope areas

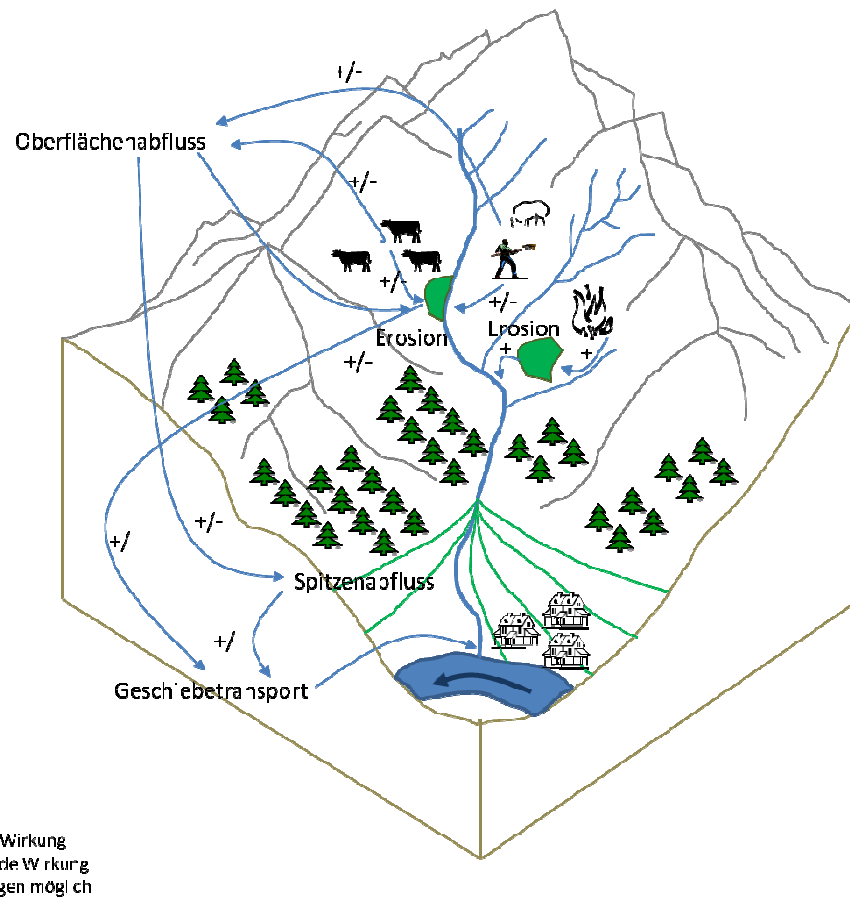


Fig. 2 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten
Fig. 2 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in torrent catchments

Im zentralalpinen Bereich beeinflussen in den subalpinen Höhenlagen die Winderosion und das Schneegleiten die Erosion. Schneegleiten kann bei Festfrieren der Schneedecke an langhalmigen Grasbeständen und starrwüchsigen Zwergsträuchern das Aufreißen der Vegetationsbedeckung verursachen. Eine Zunahme der Fläche mit fehlender Bodenbedeckung führt zu einer Erhöhung des Oberflächenabflusses. Dies führt wiederum zur Zunahme der Erosion. Zwischen diesen Faktoren besteht ein positiver Rückkoppelungseffekt. Eine Zunahme des Spitzenaflusses im Einzugsgebiet führt zu einer Zunahme der Geschiebetransportkapazität und damit möglicherweise zu einer Erhöhung der Gefahr durch Hochwasser mit Geschiebeführung oder durch Murgänge. Inwieweit hangparallele Trittschäden durch die Beweidung eher den Oberflächenabfluss durch die Erhöhung der Bodenrauhigkeit und durch die Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten im mikrotopographischen Bereich mindert, den Oberflächenabfluss durch Bodenverdichtung erhöht oder Erosion und flachgründige Rutschungen fördert, ist nicht abschliessend untersucht. Das Auftreten von Flurbrand kann ebenso zu Erosionsphänomenen führen, die in gerinnenahen Flächen die leichtere Erodierbarkeit der Bacheinhänge oder die Bereitstellung von Geschiebepotenzial für den Wildbach zur Folge haben. Der Abfluss in **Flüssen** bei Niederschlagsereignissen ist die Summe aller Abflussvorgänge im oberhalb liegenden Einzugsgebiet (Fig. 3). Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann in Einzugsgebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen die Abflussspitze und das Abflussvolumen während Hochwasserereignissen beeinflussen.

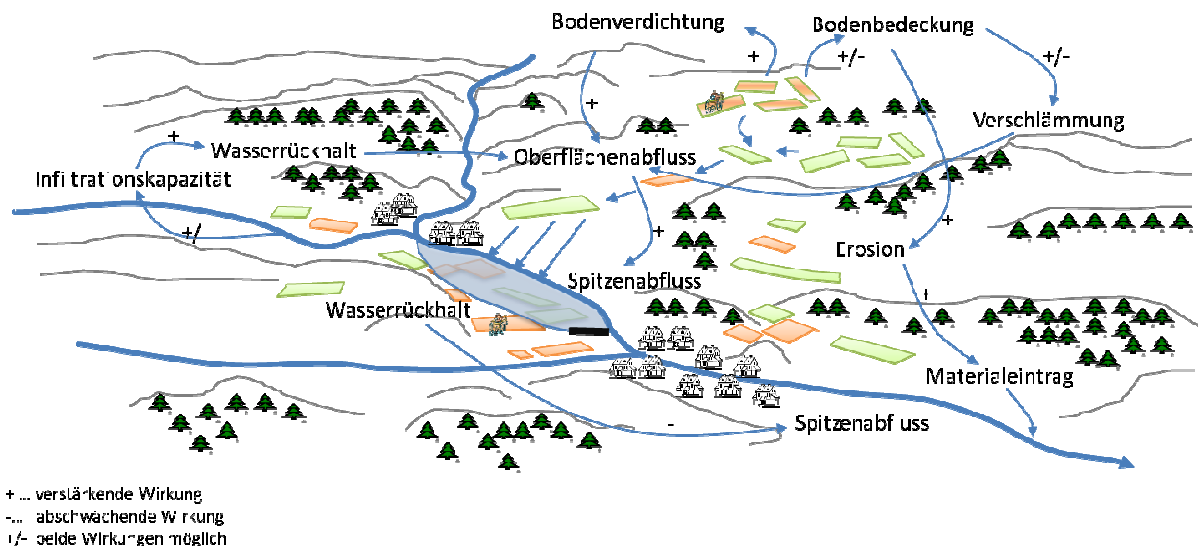


Fig. 3 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in grossräumigen Flusseinzugsgebieten im Mittelland und im Alpenvorland
Fig. 3 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in river basins

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass Naturgefahrenereignisse durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht verhindert werden können, die Landwirtschaft aber einige Möglichkeiten hat, die Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren zu verringern oder zu erhöhen. Eine nicht dem Standort angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftung oder unsensibel angelegte Infrastrukturanlagen können zu einer Verschärfung einer bestehenden Naturgefahrensituation führen. Insbesondere eine mögliche Verkettung von verschiedenen Prozessen führt zu einer Erhöhung einer bestehenden Disposition zu Naturgefahren. Zu erwähnen sind hierbei die Verstärkung von Erosionsprozessen durch Schneegleiten oder die Zunahme von Erosion mit der Zunahme des Oberflächenabflusses.

Die Landwirtschaft kann situationsbezogen aber auch zur vorbeugenden Gefahrenminderung und Schadenreduktion beitragen und leistet bereits heute einen Beitrag dazu. Die Beiträge zur Gefahrenprävention reichen von der Optimierung des Hochwasserrückhalts in der Fläche, der Vermeidung von Erosion und Rutschungen bis hin zur Verminderung von Schneegleiten. Zu einem wesentlichen Teil tragen die bestehenden landwirtschaftlichen Fördersysteme bereits heute zu einer naturgefahren-angepassten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bei.

Vor allem Massnahmen zur Verbesserung der Infiltrationskapazität und des Wasserrückhalts im Boden können die Handlungsoptionen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wesentlich erweitern. Sowohl durch eine Veränderung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung als auch durch die Anpassung der landwirtschaftlichen Strukturen (Anlage von Strukturelementen und Disposition von Infrastrukturmassnahmen) kann das Volumen wie auch die Spitze des Hochwasserabflusses in Flüssen während Niederschlagsereignissen in spezifischen Fällen um bis zu 15% reduziert werden. Bodenschonende und konservierende Bodenbearbeitungsverfahren und die Vermeidung von Bodenverdichtung erhalten die natürliche Wasserspeicherkapazität des Bodens und führen damit zu einer Verringerung des Oberflächenabflusses. In bestimmten Fällen lassen sich Hochwasserrisiken durch gezielte Notfallentlastungen in Überflutungsräume oder Flutkorridoren vermindern. In diesen Fällen kann die Landwirtschaft durch die Bereitschaft, Flächen für diesen Zweck im Hochwasserfall zur Verfügung zu stellen und mit dem Instrument der Gesamtmelioration gezielt zuzuteilen, zur Gefahrenprävention beitragen.

Als Fazit in Bezug auf die landwirtschaftliche Infrastruktur kann erwähnt werden, dass die Instrumente des modernen Meliorationswesens, der Gesamtmelioration, der Entwässerungs- oder Wasserableitungskonzepte und des modernen Landmanagement wirksame Handlungsoptionen zur

Steuerung des hydrologischen Verhaltens der Flächen und damit ein Potenzial für die Reduktion des Beitrags an der Hochwasserentstehung darstellen. Die Nutzung dieser Instrumente erlaubt die Verfolgung mehrerer Ziele, sowohl aus Sicht der Landwirtschaft als auch aus Sicht der Naturgefahrenprävention.

Die Massnahmen zur Anpassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an die Naturgefahrensituation sollten in die Konzepte des integralen Risikomanagements, der Multifunktionalität der Landwirtschaft und des integralen Einzugsgebietsmanagements integriert werden. Eine auf die Naturgefahren ausgerichtete Bewirtschaftung müsste sich dabei am Ziel einer standortgerechten Landwirtschaft orientieren.

AUSBLICK

Die Förderung von gefahrenvermeidenden und -vermindernden Bewirtschaftungsformen fügt sich in die Strategie „Nachhaltige Landwirtschaft und Ernährung 2025“ ein, insbesondere in die Schwerpunkte nachhaltige Ressourcennutzung und Förderung der Attraktivität des ländlichen Raumes. Ein offensichtlich enger Bezug besteht zur Klimastrategie Landwirtschaft, welche zur Zeit vom Bundesamt für Landwirtschaft entwickelt wird. Eine besondere Bedeutung erhält dabei die bodenschonende und gefügefördernde Bewirtschaftung. Gesunde, erosionsresistente und speicherfähige Böden in genügender Quantität sind Voraussetzung für eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion und Ernährung. Die Resultate der Untersuchung zeigen auch, welchen Einfluss landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Infrastrukturen auf den Wasserhaushalt eines ganzen Einzugsgebiets haben. Es liegt daher auf der Hand, dass im Rahmen des integralen Einzugsgebietsmanagements auch die quantitativen Aspekte der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bezüglich Wasserressourcen, Gewässer und Wasserinfrastrukturen berücksichtigt werden.

LITERATUR

- Akkermann M. (2004). Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss. Dissertation. Univ. Hannover.
- Hellebart S. (2006). Almwirtschaft und Schutzfunktion. ALP Austria, Klagenfurt.
- Konz N., Baenninger D., Konz M., Nearing M., Alewell C. (2010). Process identification of soil erosion in steep mountain regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 675–686
- Leitinger G., Höller P., Tasser E., Walde J., Tappeiner U. (2008). Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling* 211[3-4], 363-374.
- Newesely C., Tasser E., Spadinger P., Cernusca A. (2000). Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 1: 61-67.
- PLANAT (2004). Sicherheit vor Naturgefahren. Vision und Strategie. Bern.
- Scherrer S. (1997). Abflussbildung bei Starkniederschlägen. Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. *VAW Mitteilungen* 147. Zürich.
- Schmidlin J. (2008). Direktzahlungen für die Schweizer Landwirtschaft; Ungelöste Probleme in den Bereichen Umwelt, Natur und Landschaft. *Pro Natura*.
- Schmidt W., Zimmerling O., Nitzsche O., Krück S. (2001). Conservation Tillage - a new strategy in flood control. In: J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman, H. Sieker (eds). *Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls*. Nato Science Series, pp. 287-293.
- Sieker F. (2002). Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Massnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neisse. DBU Projekt AZ 15877, Endbericht . DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt).
- Tasser E., Mader M., Tappeiner U. (2005). Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Blaiknabildung im Gebirge. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 72: 25.
- Tasser E., Tappeiner U., Cernusca A. (2001). Südtirols Almen im Wandel - Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen. *Athesia, Bozen*.
- Troxler J. (2007). Schonende Graslandnutzung im Berggebiet mit minimaler Bodenerosion. *Bodenerosion in den Alpen*, 13.9.2007.

- Weiss A. (2009). Beitrag unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bewirtschaftungsformen der Landwirtschaft zur Reduzierung des Hochwasserabflusses. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen; Heft 17.
- Zimmermann M., Mani P., Gamma P. (1997). Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Zürich.
- Zischg A., Flury C., Costa R., Huber B., Berger S. (2011). Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren. Schlussbericht Einzelprojekt B 11, PLANAT Aktionsplan 2009-2011. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
(http://www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/planat_pdf/alle/R1362d.pdf)

Intervention and recovery

ESTIMATION DU VOLUME ET DE LA NATURE DES DÉCHETS PRODUITS PAR UNE INONDATION

ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION POUR L'ÉLABORATION D'UNE MÉTHODOLOGIE

Hélène Beraud¹, Julien Jadot², Bruno Barroca³, Gilles Hubert⁴ et Nicolas Bauduceau⁵

RÉSUMÉ

Les acteurs de la gestion des déchets et les gestionnaires du territoire commencent à appréhender la problématique des déchets post inondation et expriment le besoin d'une meilleure sensibilisation et d'outils adaptés. Dans cet objectif, la question de l'estimation du volume des déchets est un point central. Elle permet en effet d'anticiper, d'organiser et de planifier la gestion des déchets post inondation, mais également de mobiliser les décideurs sur cette problématique. Or, contrairement à d'autres pays, il n'existe pas actuellement de méthode de quantification de ces déchets en France, et les méthodes existantes ne semblent pas convenir aux attentes des gestionnaires des déchets et du territoire. Ces derniers souhaitent en effet un outil leur permettant, d'une part, de quantifier par type de déchets post inondation, mais également, de prendre en compte les questions de spatialisation et de temporalité de la production. Aboutir à une telle précision soulève des enjeux méthodologiques.

Mots-clés: déchets post inondation, quantification, qualification, France

ABSTRACT

The stakeholders of waste management and the territory managers begin to show interest for the problems of waste flood. They express the need of being better sensitized and of having adapted tools. Following this objective, there is a central question: how to estimate quantities of these waste? It is necessary for anticipation, organization and planning the management of these flood induced waste, as well as to mobilize decision-makers on this topic. Unlike in others countries, in France, quantification and characterization method currently not exists. Existing methods seem not reaching the expectations of waste and territory managers. Indeed, they expect a tool allowing them to make quantities estimation by type of waste, in one hand, and in the other hand, to take in consideration the spatial repartition and time line of waste production by floods. To reach such accuracy imposes to consider methodological stakes.

Keywords: waste flood, quantity estimation, characterization, France

INTRODUCTION

Une inondation génère des déchets en quantité extrêmement importante et de nature nouvelle. Matériaux de construction, branchages, mobiliers, stocks d'entreprises, d'exploitations agricoles ou de supermarchés, boues, gravats, cadavres d'animaux se retrouvent mouillés, mélangés, voire pollués par des hydrocarbures et des substances toxiques. J. Bonnemains définit ces déchets comme « tous les matériaux, matières, objets et dépôts qui à la suite d'une catastrophe naturelle ou technologique sont impropres à la consommation, inutilisables en l'état, susceptibles d'avoir un impact sur

¹ Doctorante, LEESU équipe Génie urbain, Université Paris Est Marne-la-Vallée (e-mail: helene.beraud@univ-mlv.fr)

² Chargé de mission au Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI)

³ Maître de conférence, LEESU équipe Génie urbain, Université Paris Est Marne-la-Vallée

⁴ Professeur, LEESU équipe Génie urbain, Université Paris Est Marne-la-Vallée

⁵ Directeur scientifique et technique du Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI)

l'environnement, la santé humaine, la salubrité publique ou de porter atteinte à la biodiversité » (Bonnemains, 2009). Outre les questions de salubrité et de santé publique qu'ils posent, leur élimination est un enjeu de la gestion globale de la crise. En effet, qu'il s'agisse de la circulation des secours, des personnes, de la libération des moyens de production, de la réintégration dans les habitations et les entreprises ou de la remise en service des réseaux, les déchets post inondation peuvent perturber fortement le retour à la normale d'un territoire. Après une catastrophe de grande ampleur, leur gestion nécessite souvent plusieurs années, comme cela fût le cas à la Nouvelle-Orléans suite au passage de l'ouragan Katrina et à l'inondation due aux ruptures des digues du lac Ponchartrain. S. H. Duncan (cité par Hassett et Handley, 2006) estimait en 2005 que la gestion des déchets post Katrina (plus de 76 millions de m³ de déchets générés, soit l'équivalent d'un an et demi de production en période normale (Luther, 2008) prendrait au moins cinq ans. Il ne s'était pas trompé. En outre, le coût de cette gestion n'est pas négligeable. Dans le Var, la gestion des déchets produits par les inondations qui ont touché la Dracénie en juin 2010 a coûté 4,5 millions d'euros (Liquet, 2011). La FEMA a estimé, en 2007, que ce coût équivalait à un peu plus d'un quart du coût total des opérations de redémarrage du territoire (Brown et al., 2011). La place de la gestion des déchets dans le redémarrage du territoire suite à une catastrophe ne doit donc pas être négligée.

Or, la prise en compte de cette question est relativement récente. Nous sommes passés, en quelques années, d'un sujet marginal auquel très peu de gestionnaires du territoire étaient sensibilisés à un sujet émergent qui gagne l'intérêt des collectivités et des services de l'État. Ainsi, différents travaux ont été lancés sur cette question ces dernières années. Également signe de cette évolution, le décret précisant l'ordonnance de transposition de la directive européenne impose désormais aux plans départementaux et régionaux de gestion et de prévention des déchets non dangereux et dangereux, de fixer « la description de l'organisation à mettre en place pour assurer la gestion des déchets en situation exceptionnelle risquant d'affecter l'organisation normale de la collecte et du traitement des déchets, notamment en cas de pandémie ou de catastrophe naturelle et l'identification des zones à affecter aux activités de traitement des déchets dans de telles situations » (Articles 10 et 11 du décret n° 2011-828 du 11 juillet 2011 portant diverses dispositions relatives à la prévention et à la gestion des déchets). Les acteurs de la gestion des déchets et les gestionnaires du territoire commencent donc à appréhender cette « nouvelle » problématique et expriment le besoin d'une meilleure sensibilisation et d'outils adaptés.

Dans cet objectif, l'estimation du volume des déchets est une des questions centrales. Pour pouvoir anticiper, organiser et planifier la gestion des déchets post inondation, l'estimation des quantités et de la nature des déchets produits est un préalable nécessaire. Cette estimation permet également de mobiliser les décideurs, les politiques, sur cette question. Contrairement à d'autres pays (Etats-Unis, Japon, Chine, notamment), il n'existe pas actuellement de méthodes de quantification et de qualification des déchets en France. Les acteurs de la gestion des déchets semblent réellement démunis sur cette question. Il apparaît donc stratégique de s'intéresser à la possibilité de transposer ces méthodes au cas français, et si ça n'était pas possible, de réfléchir à l'opportunité d'en réaliser une spécifique au territoire français⁶. Cet article présente les résultats de cette réflexion.

A cet effet, un état de l'art des méthodes existantes sera présenté dans une première partie. Les résultats de cette analyse seront ensuite comparés aux attentes des gestionnaires français en matière de description du gisement de déchets afin de mesurer la nécessité de travailler à l'élaboration d'une nouvelle méthode. Enfin, dans une troisième partie, les enjeux méthodologiques soulevés par la réalisation d'une telle méthode seront présentés.

⁶ Cette réflexion est menée dans le cadre du projet de recherche MECaDéPI (Méthode d'Estimation et de Caractérisation des Déchets Post Inondation), réalisé par le département Génie urbain de l'université Paris Est – Marne la Vallée et le CEPRI (le Centre européen de prévention du risque d'inondation). Il est financé par l'Etablissement Public Loire et le FEDER dans le cadre du Plan Loire. Succinctement, il s'agit de mettre en place une méthode permettant aux gestionnaires de déchets et de crise d'avoir, pour leur territoire, une estimation du volume et de la qualité du gisement de déchets que pourrait générer une inondation.

DES OUTILS DE QUANTIFICATION GLOBALE À DESTINATION DES GESTIONNAIRES : ÉTAT DE L'ART DES MÉTHODOLOGIES EXISTANTES.

PRÉSENTATION DU CORPUS DE TEXTE

Un corpus de 7 textes a été réuni sur la question précise de la quantification des déchets post catastrophe parmi une trentaine de références bibliographiques traitant des déchets post catastrophe (Tab. 1, p.3). Nous avons fait le choix de retenir toutes les méthodes de quantification, indépendamment de la nature de l'aléa qu'elles concernaient. En effet, d'une part, les méthodes portant exclusivement sur les inondations sont peu nombreuses (Chen et al., 2006, Hirayama et al., 2010). D'autre part, nous avons estimé que, même si la méthode ne pouvait être directement reproduite du fait d'une nature d'aléa différente (deux aléas de nature différente ne produisent en effet pas les mêmes déchets (Brown et al., 2011), sa philosophie générale pourrait être reprise.

Tab. 1 Corpus des textes analysés

Tab. 1 Corpus of analyzed documents

ID	Référence	Type	Zone d'étude	Description détaillée
1	Chen et al., 2006	Article scientifique	Taiwan	Oui
2	City of New Orleans, 2008	Guide opérationnel	Nouvelle-Orléans (Etats-Unis)	Non
3	Fema, N.C.	Guide méthodologique	Etats-Unis	Non
4	Hirayama et al., 2010	Article scientifique	Japon	Oui
5	Office of Emergency Services California, 2005	Guide opérationnel	Californie (Etats-Unis)	Non
6	Tansel et al., 1994	Article scientifique	Floride (Etats-Unis)	Oui
7	Umpierre et Margoles, 2005	Article scientifique	Floride (Etats-Unis)	Non

Ces textes présentent chacun, de manière plus ou moins détaillée, une méthode de quantification des déchets post catastrophe. Malgré leur nature différente (article scientifique, guide opérationnel, guide méthodologique), ils ont tous une même visée opérationnelle. Toutes ces méthodes ont en effet comme objectif d'être facilement utilisables par les gestionnaires des déchets et les autorités publiques, en période de crise (City of New Orleans, 2008, Hirayama et al., 2010, Office of Emergency Services California, 2005, Tansel et al., 1994) ou de manière anticipée (Chen et al., 2006, Fema, N.C., Hirayama et al., 2010, Umpierre et Margoles, 2005).

CARACTÉRISTIQUES DES MÉTHODES

Chaque méthode a été analysée suivant une grille de lecture permettant de mesurer leur adaptabilité (Tab. 2, p.4). A deux exceptions près sur lesquelles nous reviendrons ensuite (Office of Emergency Services California, 2005, Umpierre et Margoles, 2005), ces méthodes ne permettent pas d'avoir une vision précise des différents types de déchets pouvant être produits sur un territoire. Lorsqu'une caractérisation du gisement est faite, elle concerne uniquement les déchets du bâtiment (Fema, N.C., Hirayama et al., 2010, Tansel et al., 1994), parfois détaillés en sous catégories (« building finishes, structural components & foundation materials » (Fema, N.C.)). Ce choix peut s'expliquer par le fait que ces déchets sont probablement les plus simples à quantifier. Une littérature nombreuse existe en effet sur la question (Cochran et al., 2007, Hsiao et al., 2002, etc.). En outre, ce gisement est réputé comme le plus important en termes de volume. Ainsi B. Dubey *et al.* estime que la moitié des déchets produits suite au passage de l'ouragan Katrina était constituée de déchets de la construction (Dubey et al., 2007). Sa gestion apparaît donc comme problématique et doit être anticipée. Parallèlement à ces méthodes de quantification globale du gisement, deux références se démarquent. La première, le guide de gestion des déchets réalisé par l'Agence californienne de gestion de crise (Office of Emergency Services California, 2005), propose des ratios de production de déchets pour quelques catégories de gisements (les affaires personnelles, les mobiles homes). La seconde, l'article de D. Umpierre et G. Margoles (Umpierre et Margoles, 2005) décrit un modèle permettant de quantifier les déchets de

construction et de démolition, les déchets verts et les sédiments potentiellement produits par un cyclone (ou l'inondation en découlant). Cependant, ces deux articles ne présentent pas le détail des calculs utilisés.

Tab. 2 Analyse des méthodes de quantification des déchets post catastrophe

Tab. 2 Analyze of disaster waste's quantification methods

ID	Description de la quantification		Aléa		Nature de la méthode	Unité des données en sortie
	Qualité de la quantification	Gisements décrits	Type d'aléa	Variation des paramètres		
1	Globale		Inondation pluviale (Typhon)	Oui	Déterministe	Volume
2	Globale		Cyclone	Oui	Probabiliste	Volume
3	Semi-détaillée	Bâti	Inondation	Oui	Déterministe	Poids
4	Globale	Bâti	Séisme et inondation	Oui	Déterministe	Poids et volume
5	Semi-détaillée	Bâti, affaires personnelles et mobil-home	Tous types	Non	Probabiliste	Volume
6	Semi-détaillée	Bâti	Cyclone	Non	Déterministe	Poids
7	Semi-détaillée	Bâti et végétation	Cyclone et inondation (cyclone)	Oui	Déterministe	Volume

La majorité de ces méthodes a été réalisée pour une nature d'aléa bien précise. Trois méthodes considèrent néanmoins plusieurs aléas. Celles réalisées par Umpierre D. et Margoles G. et par Hirayama N., Shimaoka T. et Fujiwara T. s'intéressent chacune à deux aléas (cyclones et inondations pour la première, tremblement de terre et inondation pour la seconde). Cependant, cette capacité est à nuancer. En effet, la première méthode ne traite que des inondations induites par le cyclone, et non d'inondations au sens large⁷. Quant à la seconde méthode, si elle est similaire pour quantifier les déchets au niveau de la forme, les ratios utilisés sont quant à eux différents. Le modèle n'est donc pas le même. En revanche, l'Agence californienne de gestion de crise propose une méthodologie d'estimation des déchets assez large pour concerner plusieurs aléas différents. Un même calcul permet d'estimer les déchets générés par une inondation, un tremblement de terre ou un incendie. En outre, certaines de ces méthodes permettent de faire varier les caractéristiques ou l'intensité de l'aléa, induisant ainsi des estimations différentes de quantités de déchets potentiellement produits, adaptées à l'intensité du phénomène générateur (Chen et al., 2006, City of New Orleans, 2008, Fema, N.C., Hirayama et al., 2010, Umpierre et Margoles, 2005).

Enfin, les méthodes analysées se caractérisent d'une part, par une dissemblance quant à leur construction, mais une relative similarité au niveau des données qu'elles mobilisent.

La construction des méthodes peut être de deux natures : déterministe ou probabiliste. Dans le premier cas, le modèle ainsi élaboré repose sur une relation issue d'un groupe de variables explicatives. Il permet de connaître l'état d'un objet à un instant t+n, à partir de son état à l'instant t. En revanche, une méthode probabiliste introduit une incertitude, une fluctuation. Le modèle repose alors sur des probabilités, un élément aléatoire (Durand-Dastès, 1992). Parmi les méthodes analysées, celles de Chen *et al.*, du FEMA, d'Hirayama *et al.*, de Tansel *et al.* et d'Umpierre et Margoles sont de type déterministe. La méthode développée par Chen *et al.* mise à part, elles proposent toutes une quantification, en fonction des paramètres de l'aléa, se basant sur le croisement entre un taux de production de déchets par unité de type d'enjeux et le nombre de ces enjeux. Celle de Chen *et al.* s'appuie quant à elle sur un corpus de données de production de déchets très importantes, permettant de calculer un coefficient de corrélation entre ces données quantitatives et des facteurs explicatifs (caractéristiques de l'aléa, densité de population et surface de la zone inondable) (Chen et al., 2006). A l'inverse, les méthodes développées par la Ville de la Nouvelle-Orléans et l'Agence californienne de gestion de crise sont de type probabiliste.

⁷ Dans le premier cas, le cyclone est l'aléa principal. L'inondation n'est alors qu'un paramètre permettant de décrire le phénomène. Dans le second cas, l'inondation est l'aléa principal. Il peut être décrit à travers différents paramètres comme la hauteur, la durée, la vitesse ou la turbidité.

S'il y a une dichotomie dans la nature de construction des modèles, il existe une certaine similarité dans les données mobilisées pour quantifier les déchets. Ces données d'entrée se rangent en trois catégories : nature de l'aléa, caractéristiques des habitations et occupation du sol (Tab. 3, p. 5)

Tab. 3 Nature des données mobilisées par les différentes méthodes (ID mentionné entre parenthèses)

Tab. 3 Nature of data mobilized by the different methods (ID indicated between parenthesis)

Nature de l'aléa	Caractéristiques des habitations	Occupation du sol
Intensité des précipitations (1, 2)	Surface des bâtiments (3, 5)	Densité de population (1)
Surface de la zone inondable (1, 4)	Type de fondation et présence de sous-sol (3)	Nombre d'habitants (2)
Catégorie du cyclone (2)	Éléments de fragilité des constructions (4)	Surfaces et caractéristiques du couvert végétal (2, 5)
Hauteur d'eau (3, 4, 7)	Matériaux de construction (6)	Densité des industries / commerces (2)
Intensité du séisme (4)	Type d'habitat (6)	Type d'occupation des sols (5, 7)
Force du vent (7)		

Il y a donc une catégorie pour l'aléa et deux catégories pour les enjeux. Faire apparaître les paramètres de l'aléa est incontournable puisqu'il s'agit de la prise en compte de l'élément générateur de déchets à travers ses caractéristiques principales. Concernant les enjeux il y a deux niveaux de lecture : un, à grande échelle, qui décrit l'occupation du territoire et permet, soit de déterminer les enjeux (nature et quantité) qu'il porte, soit d'apporter une notion quantitative globale sur les enjeux présents. Et un autre, plus précis, concernant l'enjeu principal utilisé par les différentes méthodes : les habitations, le bâti. Ces méthodes ont pour objectif de quantifier globalement et facilement les déchets post catastrophe. Elles doivent donc mobiliser des données aisées à trouver et à utiliser (densité de population, nombre d'habitants ou type d'occupation du sol, par exemple, qui peuvent être accessibles à travers un simple recensement), ce qui explique leur similarité quant aux données mobilisées. On observe néanmoins une certaine variabilité au sein des méthodes dans la qualité et la précision des données requises. Ainsi, dans un certain nombre de modèles, pour un facteur donné, seul un ordre de grandeur est demandé (exemple des caractéristiques du couvert végétal dans les méthodes présentées par la Ville de la Nouvelle-Orléans (City of New Orleans, 2008) ou l'État de Californie (Office of Emergency Services California, 2005)). Un modèle est ainsi construit avec des données de précision extrêmement variable. Cette variation est souvent due à la source des données. Ainsi certaines peuvent provenir de relevés de terrain (Chen et al., 2006, Tansel et al., 1994), de données statistiques (Chen et al., 2006, Hirayama et al., 2010, Umpierre et Margoles, 2005), d'observations cartographiques (Hirayama et al., 2010) ou, encore, de dires d'expert (Umpierre et Margoles, 2005). Cette analyse des références bibliographiques existantes sur la question des méthodes de quantification des déchets post catastrophe a permis de mettre en évidence un certain nombre de caractéristiques. Les méthodes réalisées jusqu'à présent ont pour objectif premier la quantification globale des déchets. Peu d'entre elles proposent une caractérisation, un découpage de ces quantités par type de déchets. Cet objectif influence par là même la nature des données mobilisées qui sont souvent réduites aux questions de l'habitat et de l'occupation du sol au sens général. Il apparaît également que les méthodes de quantification des déchets sont généralement mono aléa. Quelques incertitudes demeurent néanmoins sur leur opérationnalité et leur transposition. En effet, à la date de rédaction des articles consultés, la plupart de ces méthodes n'ont pas été testées sur un cas concret. Or, un tel exercice aurait permis de mettre en évidence leurs limites, les difficultés rencontrées ou leurs réussites. Plus largement, ces méthodes ne sont pas assez décrites dans la littérature pour s'en faire une idée précise. Un approfondissement à travers des entretiens avec leur auteur aurait été pertinent. Cependant, ce travail n'a pu être mené pour l'instant. Ces méthodes doivent donc être utilisées avec précaution.

Une fois ces recommandations faites, il s'agit de s'interroger sur la possibilité de les transposer en partie sur le cas français. En partie seulement, car cette transposition, si elle s'avère pertinente, nécessitera quelques précautions. En effet, l'ensemble des méthodes sont spécifiques à un type particulier d'aléa et / ou à un mode de construction. Elles ne peuvent donc être utilisées qu'avec précaution sur d'autres territoires et / ou avec un autre aléa. En effet, d'une part, comme cela a été démontré précédemment, deux aléas de nature différente ne produisent pas les mêmes déchets. D'autre part, l'endommagement n'étant pas le même suivant les modes de construction (fondations, type de structure, matériaux de construction, structure du toit, etc.), le volume du gisement potentiel de déchets, mais également, et surtout, sa nature ne seront probablement pas les mêmes. Il conviendra

donc, si leur utilisation semble pertinente de vérifier dans quelle mesure des parallèles peuvent être faits entre l'aléa et / ou les modes de construction.

DE LA NÉCESSITÉ DE CRÉER UNE NOUVELLE MÉTHODE : ANALYSE DES ATTENTES DES GESTIONNAIRES EN MATIÈRE DE QUANTIFICATION

La réalisation d'une méthode de quantification des déchets post inondation doit s'appuyer sur les besoins des gestionnaires du territoire et des gestionnaires des déchets. Pour pouvoir cerner ces besoins, six acteurs techniques issus de structures de gestion variées (commune, structures intercommunales, Conseil général, Conseil régional, association regroupant des acteurs de la gestion des déchets) ont été interrogés dans le cadre d'entretiens semi-directifs. Les quelques lignes suivantes en présentent les résultats. Ces résultats permettront, dans un second temps, de mesurer l'écart entre les attentes des gestionnaires du territoire français et les résultats des méthodes existantes et ainsi la possibilité ou non d'utiliser ces méthodes, avec les précautions d'usage que nous avons signalées au-dessus.

UNE VOLONTÉ DE PLANIFICATION DE LA GESTION DES DÉCHETS POST INONDATION

Les interlocuteurs rencontrés considèrent la gestion des déchets post inondation comme étant un problème réel, qu'ils y aient déjà été confrontés ou non. Il est cependant souvent fait remarquer que c'est une problématique peu connue et non prioritaire à l'échelle de leur collectivité, notamment au niveau politique. La question de la quantification des déchets post inondation les intéresse néanmoins quelque soit leur compétence en matière de gestion des déchets. En effet, ils voient dans cet outil deux usages possibles : (1) la possibilité d'obtenir les informations nécessaires pour anticiper et planifier la gestion des déchets en période de post crise, et ainsi de répondre à certaines de leurs obligations réglementaires, compléter leur dispositif de gestion de crise et de diminuer la vulnérabilité de leur territoire face au risque inondation ; (2) la possibilité de mobiliser, à l'aide des informations produites, leurs élus autour de cette thématique. En l'absence de ces données, il est généralement difficile de percevoir son importance. La question des déchets post inondation peut alors apparaître comme abstraite aux élus. En outre, anticiper la gestion des déchets post inondation nécessite des données permettant également de déterminer les moyens matériels et humains nécessaires, ainsi que le temps de mobilisation, de dimensionner les zones de stockage, de contacter les entreprises prestataires de traitement qui pourraient être sollicitées en fonction des types de déchets à gérer, etc. Enfin, les gestionnaires ont exprimé leur intérêt pour une méthode qui s'adapte à la zone, à la taille de leur territoire de travail. Il peut s'agir d'une entité administrative comme une région, un département, une commune ou un regroupement intercommunal, ou d'un territoire physique, comme un tronçon de bassin versant déterminé en fonction de sa cohérence hydraulique au regard du fonctionnement et de l'impact des inondations.

Pour permettre cela, la qualification des déchets quantifiés apparaît nécessaire. Si dans l'absolu les gestionnaires sont intéressés pour que l'outil prenne en compte un maximum de catégories de déchets, ils s'accordent sur le fait que, pragmatiquement, deux facteurs limitant sont à considérer dans le choix de ces déchets : la possibilité de trier les déchets et les exutoires dans lesquels ces déchets seront envoyés. En ce qui concerne le tri, les gestionnaires sont sensibles au fait que, au moment de la gestion de crise, tous les déchets ne peuvent raisonnablement être triés. Ainsi, il paraît difficile de mettre en place des procédures de tri des piles, du verre ou des médicaments qui pourtant bénéficient chacun d'une filière de gestion spécifique. L'existence de filières de gestion, d'un dispositif de « Responsabilité élargie du producteur⁸ » ou, du moins, de techniques de traitement constituent un autre facteur de choix des gisements de déchets à quantifier. Pour certains gestionnaires, il n'est en effet pas nécessaire d'avoir plus de détail que ce que les opérationnels pourront réellement gérer en

⁸ La responsabilité élargie du producteur consiste en la prise en charge par les fabricants nationaux, les importateurs et les distributeurs de produits spécifiques, de la collecte puis du recyclage ou du traitement des déchets issus de ces produits. Pour cela, ils peuvent se réunir dans le cadre d'un éco-organisme. Dans ce cas, ils adhèrent à une société souvent agréée par les pouvoirs publics, à laquelle ils versent une contribution financière.

fonctionnant en mode dégradé⁹. D'autres critères de choix des déchets ont également été cités. Ainsi, les risques générés par les déchets et donc l'urgence de leurs collecte et traitement apparaissent, pour certains, comme une question à prendre en compte. Les déchets mous, mousses et textiles, une fois gorgés d'eau sont le substrat du développement de moisissures potentiellement dangereuses pour la santé des populations. Ils demandent donc une collecte et un traitement rapide afin d'éviter d'accroître les risques sanitaires. Bien qu'une fois mouillés ils ne disposent plus de filières de gestion spécifiques et sont envoyés directement en enfouissement, une quantification de ces déchets apparaît cependant nécessaire. A l'inverse les déchets qui, comme les déchets verts, seraient produits en quantités peu importantes ne nécessitent pas forcément d'être pris en compte.

Tab. 4 Types de déchets nécessitant d'être quantifiés selon les personnes interrogées

Tab. 4 Cited types of waste requiring quantification

Types de déchets	Syndicat mixte départemental	Agglomération	Conseil Régional	Conseil Général	Total
Déchets dangereux (DD)	x	x	x	x	4
Véhicule hors d'usage (VHU)		x	x	x	3
Déchets ménagers (dont déchets putrescibles) (DM)	x	x		x	3
Déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE)	x	x	x		3
Déchets mous		x			1
Cadavres d'animaux		x			1
Déchets de soins				x	1
Déchets de la construction		x			1
Bois	x				1
Ferraille	x				1

De prime abord, et idéalement, les acteurs souhaiteraient que tous les déchets soient quantifiés afin de leur laisser le plus de choix possible dans l'organisation de la gestion en période de crise. Puis, plus prosaïquement, ils recensent les déchets cités dans le tableau ci-dessus (Tab. 4, p.7). Seules les réponses des gestionnaires ayant cité d'eux même des catégories de déchets sont prises en compte, soit 4 sur 6. Il est intéressant de noter que les déchets le plus souvent cités sont ceux qui présentent les risques sanitaires et environnementaux les plus importants (déchets dangereux, VHU, déchets putrescibles et les DEEE). Ce sont également, à l'exception des déchets putrescibles, des déchets pour lesquels des filières de gestion à travers une responsabilité élargie du producteur existent (VHU et DEEE) ou sont en préparation (déchets dangereux). En outre, il apparaît que les déchets de la construction intéressent peu les personnes interrogées alors que, dans les méthodes étrangères, ils bénéficient d'une large couverture. Cela peut s'expliquer, d'une part, par le fait que les acteurs interrogés ne sont, pour leur majorité, pas compétents sur ces déchets, et d'autre part, par le fait que la gestion de ces déchets ne s'inscrit pas dans l'urgence. En effet, les déchets du bâtiment, sont généralement la dernière catégorie à être prise en compte en tant que flux. Cela peut s'expliquer par le fait que, d'une part, les travaux de démolition et reconstruction du bâti interviennent généralement qu'après l'enlèvement de tous les autres déchets du fait d'un problème d'accessibilité (Robin Des Bois, 2010), et d'autre part, leur gestion apparaît moins urgente que d'autres déchets pouvant générer des risques sanitaires et environnementaux (déchets en grande partie inertes, donc non dégradables, relativement stables).

Pour dimensionner les moyens de collecte, les exutoires et les filières de traitement ainsi que pour mesurer leur fonctionnement, l'unité habituellement utilisée par les gestionnaires de déchets est la tonne. Cependant, pour gérer la crise et déterminer les surfaces nécessaires au stockage temporaire, des données exprimées en volume seraient nécessaires. Il semble donc important pour permettre une bonne compréhension de chacun et s'assurer de la praticité des données produites par la méthode, de fournir les données à la fois en volume et en poids. Par ailleurs, à l'exception d'un gestionnaire, la précision des données n'apparaît pas comme une absolue nécessité. Les acteurs interrogés déclarent

⁹ Suite à une inondation, une partie du personnel ne pourra peut-être pas se rendre sur son lieu de travail, l'outil et les moyens de travail peuvent être indisponibles pendant parfois plusieurs mois (déplacements, communication, électricité, eau, assainissement, fournisseurs, etc.).

en effet qu'avoir des données quantifiées sur le gisement potentiel de déchets post inondation est déjà une telle avancée qu'un ordre de grandeur serait suffisant.

Enfin, ces entretiens ont également mis en avant une autre préoccupation des acteurs concernant la temporalité et la spatialisation de la production de déchets par l'inondation. A travers l'ajout de ces deux notions, les gestionnaires cherchent à répondre à deux questions : « Par où vais-je commencer à collecter ? » et « Quelle va être la variation au cours du temps et dans l'espace de la nature des déchets ? ». La première question fait appel à la notion de « temps-espace » et permettra de déterminer un plan de collecte. La seconde question fait appel aux notions de « temps-nature des déchets » et d'« espace-nature des déchets » dont la prise en compte doit permettre de prévoir l'évolution dans le temps et dans l'espace des besoins en terme de moyens à mettre en œuvre (engins de ramassage et de transport des déchets par exemple), d'espaces de stockage spécifique (pour les DEEE ou les déchets dangereux par exemple) et de filières de traitement à mobiliser en fonction de la progression de la collecte et de la « libération » du territoire.

A travers ces entretiens, les gestionnaires de déchets montrent une forte attente en matière de quantification des déchets et surtout, de qualification. Cette précision du type de déchets apparaît comme essentielle car c'est elle qui permettra de réellement anticiper la gestion de la crise. En effet, une estimation globale est davantage perçue comme un outil de communication et de mobilisation des élus. Mais elle n'apparaît pas comme suffisante pour mettre en place une stratégie préventive de gestion des déchets. Or, c'est ce qu'attendent les gestionnaires. L'autre apport conséquent de ces entretiens est la question de la temporalité et de la spatialisation des déchets. Elles montrent une volonté des gestionnaires d'anticiper le plus possible la gestion de la crise.

EN QUOI CES ATTENTES NÉCESSITENT DE RÉALISER UNE NOUVELLE MÉTHODE ?

Au vu de ces résultats, il apparaît que les méthodes existantes ne répondent pas complètement aux attentes des gestionnaires du territoire et des déchets. Si avoir une quantification globale sans caractérisation leur semble intéressant (pour sensibiliser à la problématique notamment), cela ne leur apparaît pas suffisant pour réaliser une planification pertinente. Or, comme nous l'avons montré précédemment, les méthodes existantes ne présentent en général pas de catégorisation des déchets ou, lorsqu'elles le font, les catégories choisies (déchets de la construction ou mobile home par exemple) ne correspondent pas aux critères et aux besoins des gestionnaires du territoire et des déchets français. En outre, aucune des méthodes analysées ne propose de données sur la temporalité de la crise et les flux de déchets. Or, cette question apparaît comme stratégique dans une réflexion autour de l'anticipation et de la planification de la gestion des déchets post inondation. En faire l'impasse serait donc dommage. La réalisation d'une nouvelle méthode de quantification des déchets post catastrophe, centrée sur la question des inondations, et prenant en considération les exigences de qualification et de temporalité, se révèle donc nécessaire.

Il ne s'agit cependant pas de négliger les méthodes existantes sous prétexte qu'elles ne prennent pas en compte les questions de qualification, de temporalité ou de spatialisation et qu'elles ne sont pas complètement adaptées au territoire français (aléa et type d'occupation des sols). Il est en effet possible de s'inspirer de la philosophie des méthodes existantes, c'est-à-dire de la démarche mise en place (sur les données – sources, nature, précision -, sur la nature – probabiliste, déterministe-, etc.) et de leur relative simplicité.

LES ENJEUX D'UNE QUANTIFICATION PAR TYPE DE DÉCHETS POST INONDATION

Bien que bénéficiant des travaux existants, la construction d'une telle méthode ne sera pas simple. Au-delà de la quantification globale du volume de déchets générés sur un territoire à l'aide de quelques critères, il s'agit désormais de travailler sur différents types de déchets. Cette précision n'est pas sans conséquence car elle induit de prendre en compte l'ensemble des caractéristiques de chaque gisement. Ainsi, il est fort possible que la méthode utilisée pour quantifier les déchets mous sera probablement fort différente de celle développée pour les déchets de la construction, du fait de la nature du gisement, mais également des informations disponibles. En outre, le souci d'opérationnalité de la méthode exige d'utiliser, autant que possible, des données déjà existantes, faciles d'utilisation et

de compréhension. De ce fait, la construction d'une telle méthode soulève des enjeux méthodologiques prégnants relatifs notamment à la diversité des données disponibles.

DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DES DONNÉES À LEUR DISPONIBILITÉ

Les données sont un enjeu essentiel de la construction d'une méthode de quantification. Leur disponibilité, leur nature, leur qualité vont influencer fortement les résultats auxquels il sera possible d'arriver. Pour s'en rendre compte, appuyons nous sur les gisements qui ont été cités par les gestionnaires rencontrés lors des entretiens. Pour chacun de ces gisements, l'existence de méthodes de quantification a été précisée et les données disponibles ont été recensées (**Tab. 5**, p. 9). Ce tableau n'a pas vocation à être exhaustif, mais simplement à présenter la diversité des situations entre gisements, et ainsi à mettre en évidence les difficultés qui pourraient être rencontrées.

Tab. 5 Informations disponibles pour quelques catégories de déchets

Tab. 5 Available information for some categories of waste

Type de déchets	Méthode de quantification des déchets		Étude sur l'endommagement suite à une inondation ?	Données sur le gisement		
	Post catastrophe	Période normale		Source	Échelle	Précision
Déchets de la construction	(Tansel et al., 1994), (Fema, N.C.), (Office of Emergency Services California, 2005)	(Cochran et al., 2007), (Hsiao et al., 2002), Etc.	(Kelman et Spence, 2004), (Cepri, 2010), Etc.	Experts de la construction.	Bâtiment	Bonne
DD	Non	Oui (REP)	Non	Non		
VHU	Non	Oui (REP)	Non	Données statistiques sur l'équipement des ménages.	Ménage	Faible
DM	Non	Oui (MODECOM ¹⁰)	Non	Non		
DEEE	Non	Oui (REP)	Non	Enquête INSEE sur budget des familles.	Ménage	Faible
Déchets mous	Non	Oui en partie, (MODECOM)	Non	Enquête INSEE sur l'ameublement.	Ménage	Faible
Cadavres d'animaux	Non	Non	Non	Animaux de compagnie : enquête INSEE sur conditions de vie. Animaux domestiques : Recensement agricole.	Ménage Commune	Faible Faible
Déchets de soins	Non	Oui (REP)	Non	Non		
Déchets verts	(Umpierre et Margoles, 2005)	Non	(Kozlowski, 1984)	(Schneider et Le Bozec, 1995)	Commune	Faible

Pour quantifier les gisements, le choix a été fait de s'appuyer sur des données déjà existantes (enquêtes menées par l'INSEE, études, etc.) qui seront ensuite travaillées afin de construire un modèle ou une méthode permettant, en fonction d'un nombre d'enjeux en zone inondable (nombre d'habitants, de ménages, d'habitations, d'entreprises, etc.), d'estimer facilement les déchets potentiels.

Tous les gisements ne disposent pas d'informations suffisamment précises pour aboutir facilement à ce résultat. En effet, certains « objets » sont plus difficiles à quantifier car ils ne bénéficient pas d'un recensement de la consommation et/ou ne correspondent pas réellement à une catégorie de déchets préexistante. En outre, s'il existe des études concernant la production des déchets en période normale, ces quantités doivent être retravaillées. Une production annuelle de déchets verts, par exemple, ne correspond pas à la production liée à une inondation. Des choix devront donc probablement être faits parmi les déchets que nous souhaitons quantifier en fonction de la disponibilité des données et de la faisabilité d'une méthode.

¹⁰ La campagne MODECOM est une campagne de caractérisation des ordures ménagères lancée régulièrement par l'ADEME (l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). Elle permet de déterminer les caractéristiques physiques et qualitatives des gisements de déchets et d'évaluer le gisement de matières recyclables, notamment par type d'habitat. Elle consiste en une analyse des poubelles d'un panel de ménages tiré au sort.

Outre ces difficultés liées à la disponibilité des données, naviguer entre une variabilité d'échelle d'application et de précision peut être complexe. Si la précision est généralement faible, exceptée pour les déchets de la construction, les échelles d'application des données sur les gisements identifiés sont quant à elles variables (de la commune au ménage, en passant par le bâtiment). Cette hétérogénéité peut être également présente au sein même d'une catégorie de déchets (cadavres d'animaux). Sa prise en compte ne sera donc pas aisée.

PRENDRE EN COMPTE LA SPÉCIFICITÉ DES TERRITOIRES ET LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ALÉA

Comme cela a été montré précédemment, les méthodes de quantification sont en grande partie liées, d'une part au territoire et, d'autre part à l'aléa pour lequel elles ont été construites.

Ainsi, de manière simpliste, une méthode qui aurait été construite pour des territoires urbains ne prendra probablement pas en compte des déchets provenant des activités agricoles (cadavres d'animaux, déchets dangereux des exploitations agricoles, déchets verts, plastiques, etc.). Elle serait donc difficilement transposable sur un territoire ayant une occupation du sol à dominante agricole. D'autre part, les données nécessaires (et leur précision) ne seront pas les mêmes en fonction de l'échelle d'application de la méthode c'est-à-dire si elle est destinée à donner des quantités à l'échelle d'un quartier, d'une rue (comme cela est souhaité par certains gestionnaires) ou à l'échelle de la ville, ou plus largement d'un bassin versant. La question de la destination de la méthode en terme d'échelle et de type de territoire est donc tout à fait prégnante.

En outre, les déchets générés par un aléa peuvent être très variables en fonction de ses caractéristiques. Ainsi, il existe des fluctuations en terme de qualité et de quantité de la production de déchets en fonction des caractéristiques de l'inondation. (**Tab.** p. 10).

Tab. 6 Influence des caractéristiques de l'inondation sur la production de déchets

Tab. 6 Influence of flood parameters on waste production

Caractéristiques	Influence potentielle sur la production de déchets	
	Qualité	Quantité
Hauteur d'eau		X
Durée	X	X
Vitesse		X
Délai d'alerte		X
Turbidité / salinité	X	X

Afin de rendre la méthode la plus opérationnelle possible, l'ensemble de ces caractéristiques doivent donc être prises en compte. Une inondation telle celle que les gestionnaires des déchets vendéens ont connue en février 2010 (eau salée, pas de délai d'alerte, vitesse importante, durée importante) ne produit pas les mêmes déchets qu'une crue de la Seine en Île-de-France (délai d'alerte de plusieurs jours, eau douce, vitesse relativement faible, durée importante). Il est donc essentiel que la méthode puisse faire varier, pour l'ensemble des gisements, ces caractéristiques de l'inondation, ce qui nécessitera probablement la détermination de seuils au cours de l'analyse et permettra de prendre en compte les principaux types d'inondation. Si pour certains déchets la tâche s'avère faisable (déchets de la construction), pour d'autres elle pourra être plus ardue.

DIVERSITÉ DES MODÈLES DE QUANTIFICATION DES DÉCHETS UTILISÉS.

Au vu des enjeux précédents, tous les déchets ne seront probablement pas quantifiés de la même manière (méthode, précision, fiabilité). Une des principales difficultés sera donc de faire face à cette diversité de méthodes. Par exemple, si le développement d'une méthode déterministe apparaît possible pour les déchets de la construction en raison de la précision des données qui semblent être disponibles et de l'existence de méthodes de quantification (**Tab. 5** p. 9), cela semble plus compliqué pour les déchets ménagers. Ainsi, pour chaque catégorie de déchets qui aura été désignée comme nécessitant une quantification, il est fort possible qu'une méthode spécifique soit mise en œuvre. Dans ce contexte, le calcul d'une quantité globale de déchets post inondation doit être mené avec précaution. La précision des résultats obtenus pour chaque gisement, l'échelle de calcul ou même l'unité dans laquelle les quantités ont été calculées peuvent varier et rendre une agrégation délicate.

Une telle méthode a pour objectif une quantification par type, et non une quantification globale. Il est donc nécessaire de s'interroger sur la précision et la fiabilité que les gestionnaires peuvent en attendre. Allier opérationnalité, précision en terme de qualification du gisement et précision en termes de résultats apparaît aujourd'hui difficilement réalisable. Certains gisements pourront en effet être quantifiés précisément, mais cela ne semble pas atteignable pour l'ensemble des gisements. Il est donc essentiel que les gestionnaires soient conscients des limites d'une méthode qu'ils souhaitent facilement utilisable.

Malgré ces difficultés, la réalisation d'une méthode de quantification et de qualification des déchets post inondation semble faisable. Pour cela, les types de déchets à quantifier, l'aléa et le territoire concernés devront être définis afin de borner le champ d'application de la méthode et de limiter les incohérences. Ces limites sont la condition pour la réalisation d'une méthode novatrice.

CONCLUSION

A l'heure où la gestion des déchets post inondation commence à intéresser les gestionnaires de déchets et du territoire, la question de la quantification de ces déchets est encore sans réponse. Contrairement à d'autres pays, il n'existe pas de méthode d'estimation du gisement reconnue en France. Or, les gestionnaires ont une réelle attente en la matière. Ils souhaitent disposer d'une méthode leur permettant d'obtenir les informations nécessaires pour anticiper et planifier la gestion des déchets en période de post crise, mais également de mobiliser, à l'aide des informations produites, leurs élus autour de cette thématique. Pour aboutir à ces objectifs, la seule quantification globale du gisement de déchets post inondation n'est pas suffisante. Des données plus détaillées en terme de gisements sont nécessaires. Or, au vu de l'analyse des méthodes existantes, un tel outil n'existe pas. Elles ne proposent en effet qu'une quantification globale, ou lorsqu'il y a une qualification, les seuls déchets concernés sont ceux de la construction. Il convient donc d'élaborer une nouvelle méthode répondant aux attentes des gestionnaires. Elle se construira sur la base de retours d'expérience et de dires d'experts ainsi qu'avec une implication, aux phases clefs, des gestionnaires du territoire et des gestionnaires des déchets.

Cette nouvelle méthode aura pour ambition de quantifier un certain nombre de gisements comme les déchets dangereux, les DEEE, les déchets ménagers, les VHU, les déchets de la construction, mais également d'apporter des pistes de réflexion en matière de temporalité et de spatialisation de la production des déchets post inondation. La réalisation d'une telle méthode n'est pas sans difficultés méthodologiques. Il s'agira notamment de faire face à une diversité des méthodes développées pour chaque type de gisement de déchets qui rendra probablement difficile une quantification globale par sommation. De ce fait, en plus d'une méthode détaillée, il apparaît nécessaire de mettre en place une méthode globale, peut-être moins précise, plus aisée d'utilisation ayant comme objectif, simple mais essentiel, la sensibilisation des élus et des gestionnaires à la question, à travers une quantification globale du gisement de déchets post inondation.

BIBLIOGRAPHIE

- Bonnemains J. (2009). Les déchets post catastrophe. Anticiper pour mieux gérer., TSM, n° 3, p. 60-69.
- Brown C., Milke M. et Seville E. (2011). Disaster management: A review article, Waste management, vol. 31, Iss. 6, p. 1085-1098.
- Cepri (2010). Le bâtiment face à l'inondation. Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité., Orléans, CEPRI, 56 p.
- Chen J.-R., Tsai H.-Y., Hsu P.-C. et Shen C.-C. (2006). Estimation of waste generation from floods., Waste management, n°27, p. 1717-1724.
- City of New Orleans (2008). Disaster debris management plan, City of New Orleans, p.
- Cochran K., Townsend T., Reinhart D. et Heck H. (2007). Estimation of regional building-related C&D debris generation and compostion: Case study for Florida, US, Waste management, n° 27, p. 921-931.

- Dubey B., Solo-Gabriele H.M. et Townsend T. (2007). Quantities of arsenic-treated wood in demolition debris generated by hurricane Katrina, *Environmental science & technology*, Vol. 41, n°5, p. 1533-1536.
- Durand-Dastès F. (1992). Les modèles en géographie, in A. Bailly, R. Ferras and D. Pumain *Encyclopédie de Géographie*, Paris, Economica, p. 311-327.
- Fema N.C. Multi-hazard loss estimation methodology. Flood model. Hazus - MH MR5. Technical Manual., Washington, FEMA, 499 p.
- Hassett W.L. et Handley D.M. (2006). Hurricane Katrina: Mississippi's Response, *Public works management policy*, Vol. 10, n° 4, p. 295-305.
- Hirayama N., Shimaoka T. et Fujiwara T. (2010). Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps. , *Waste management and the Environment V*, vol 140, 167-178.
- Hsiao T.Y., Huang Y.T., Yu Y.H. et Wernick I.K. (2002). Modeling materials flow of waste concrete from construction and demolition wastes in Taiwan, *Resources policy*, n°28, p. 39-47.
- Joannier J. (2011). Solder le coût des inondations et poursuivre l'investissement, *Var-Matin*, le 19 février 2011,
- Kelman I. et Spence R. (2004). An overview of flood actions on buildings, *Engineering Geology*, 73, 3-4, p. 297-309.
- Kozlowski T.T. (1984). *Flooding and plant growth*, Orlando, Academic Press, 356 p.
- Liquet V. (2011). Les territoires face au risque inondation : la résilience n'est pas secondaire, *INTERCOMMunalités*, n°157, p. 20
- Luther L. (2008). Disaster debris removal after Hurricane Katrina: status and associated issues, Washington, C. R. S. C. r. f. congress, 21 p.
- Office of Emergency Services California (2005). Training manual. Debris management in disaster recovery., State of California, Rapport du Governor's Office of Emergency Services, 118 p.
- Robin Des Bois (2010). Les déchets de la tempête Xynthia, http://www.robendesbois.org/dossiers/XYNTHIA_Robin_des_Bois_30sept10.pdf, 110 p.
- Schneider P. et Le Bozec A. (1995). La production des déchets végétaux des espaces verts publics, Anthony, CEMAGREF, 111 p.
- Tansel B., Whelan M. et Barrera S. (1994). Building performance and structural waste generation by hurricane Andrew, *International journal for housing science and its application*, vol. 18, p. 69-77.
- Umpierre D. et Margoles G. (2005). Broward county's web-based hurricane debris estimation tool (HurDET), <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc05/papers/pap2200.pdf>, 12 p.

L'EXPERTISE DES RISQUES D'AVALANCHE POUR LA PREVISION LOCALISEE ET L'APPUI A LA GESTION DE CRISE

L'EXPERIENCE DES SERVICES RTM

Roland Claudet¹ et Philippe Bouvet²

RESUME

Disposer de prévisions localisées des risques avalanche est aujourd'hui indispensable aux gestionnaires d'enjeux importants (axes routiers, lieux habités ...). Pour de telles expertises, les services RTM ont acquis une expérience solide et développé une méthode et une organisation adaptées. La bonne exploitation des connaissances préalables (fonctionnement des couloirs, événements historiques, écoute des experts locaux) est essentielle. Elle conditionne ensuite, lors des chutes de neige, la réussite du travail en temps réel fondé sur 4 étapes : analyse des prévisions météorologiques et du risque avalanche par massif; collecte d'informations à l'échelle de chaque couloir; quantification des facteurs locaux susceptibles d'aggraver ou atténuer le risque ; émission de bulletins avec évaluation des niveaux de risque et propositions de déclenchement. En situations d'urgence, dans des crises peu préparées, confronté à des pressions de toutes parts, l'expert doit rester méthodique, suivre les mêmes étapes et se concentrer sur une bonne évaluation des menaces. Dans tous les cas, la traçabilité des avis est indispensable pour faciliter les retours d'expérience et les améliorations.

Mots-clés: avalanches, prévision localisée, risques naturels, expertise, gestion de crise

ABSTRACT

Nowadays, for stakeholder managers who deal with road networks or inhabited areas, implementing local forecasts about avalanche risk assessment is essential. For this kind of expertise, the RTM department has been getting some experience and developed adapted methods and organization. This paper presents the details of the methodology. In first, a good use of existing knowledge: functioning mode of avalanche areas, historical events, local expert hearings. Then work in real-time, with 4 steps: weather analysis and avalanche risk prevention bulletins for each massif; data collection in the environment of each site; comparison of the factors which are likely to aggravate or attenuate the risk; finally, emission of bulletins with evaluation of the risk levels and proposals for preventive snow release. In emergency situations, especially in the case of the unprepared crisis, confronted with human pressures, the article submits proposals: a methodical behavior, to follow all the steps and keep focusing on a good threat evaluation. In every case, the opinions traceability is vital to provide experience feedbacks and improvements.

Keywords: avalanches, local forecast, natural hazard, expert assessment, crisis management

¹ Office National des Forêts – Service de Restauration des Terrains en Montagne des Pyrénées-Orientales, France, (e-mail : roland.claudet@onf.fr)

² Office National des Forêts – Service de Restauration des Terrains en Montagne des Hautes-Alpes, France, (e-mail : philippe.bouvet@onf.fr)

INTRODUCTION

Dans les vallées de montagne, où se situent la majorité des habitats et des voies de circulation, des besoins d'expertise du risque avalancheux apparaissent lors des fortes chutes de neige. C'est un préalable à la prise de décisions pour assurer la sécurité des populations. Complétant l'estimation des risques d'avalanche faite à l'échelle des massifs, par les services météorologiques, l'expertise pour la prévision localisée s'inspire et s'enrichit de l'expérience des domaines skiables pour gérer le manteau neigeux. Elle valorise les connaissances et les savoir-faire locaux, rarement écrits ou structurés, avec des objectifs et des moyens spécifiques.

Des modes d'organisation variés se mettent en place : parfois peu élaborés, par des évaluations individuelles et ponctuelles au sein de cellules de crise, parfois plus élaborées par des missions pérennes confiées à des prestataires spécialisés pour l'observation, la prévision et la gestion du risque. Le travail des experts est délicat et génère des questions. Quels sont les méthodes et outils à disposition? Comment communiquer ses conclusions? Doit-on quantifier le niveau de risques? Selon les enjeux quels sont les risques résiduels acceptables? Comment travailler dans l'urgence en prenant le temps de bien analyser? Jusqu'où va son rôle, au milieu des autres acteurs?

Du fait de leur expérience dans le domaine des avalanches et de leur implantation territoriale, les services RTM de l'Office National des Forêts sont régulièrement appelés pour de telles expertises. Ils ont récemment clarifié les modalités d'intervention de leurs experts dans ces situations:

1. soit en missions organisées et pérennes de prévision localisée du risque avalanche (PLRA)
2. soit en interventions ponctuelles lors de crises peu préparées.

En voici les points de repère essentiels et principaux éléments de méthode.

UNE MISSION ORGANISEE DE PREVISION LOCALISEE DU RISQUE AVALANCHE (PLRA) : L'EXEMPLE DES ROUTES NATIONALES DE L'EST DES PYRENEES

La mise en sécurité du réseau routier national pyrénéen (accès à la Cerdagne et à l'Andorre) est d'importance stratégique. Elle est encadrée, en ce qui concerne le risque d'avalanche, par une convention entre l'Etat - DIRSO (Direction interdépartementale des routes du sud-ouest) et le service RTM. Elle met en œuvre 4 phases principales:

1. le suivi des conditions nivo-météorologiques qui contribuent au risque d'avalanche, notamment au travers de la veille d'indicateurs
2. la phase d'expertise lorsque des indicateurs dépassent des valeurs limites préétablies, avec évaluation des niveaux de risques
3. l'activation éventuelle de déclenchement préventif des couloirs d'avalanche équipés
4. enfin, sous la responsabilité du gestionnaire routier et si nécessité, la restriction des conditions de circulation routière

Les enjeux: des axes routiers stratégiques

Au centre d'un vaste territoire, le plateau de Cerdagne s'ouvre vers 5 directions majeures : l'Andorre, l'Ariège (avec, au nord, la métropole toulousaine), l'Aude, le Roussillon (Perpignan) et l'Espagne (la métropole de Barcelone n'est qu'à une centaine de kilomètres). Le tourisme hivernal y est très développé. Une dizaine de stations de ski sont réparties sur les massifs environnants, Capcir, Cambre d'Aze, Puigmal, Puymorens, sans oublier le Pas de la Case en Andorre.

Le réseau de routes nationales qui dessert et relie tous ces territoires, exploité par la DIRSO, est formé de la RN 116 (axe Perpignan / Bourg-Madame), de la RN 20 (axe Espagne / Ariège) et de la RN 22 vers l'Andorre. Le col du Puymorens (1915 m), secteur de confrontation entre les influences

océaniques et méditerranéennes, se franchit à l'air libre par la RN 320 et en souterrain par la RN 20 via le tunnel de Puymorens (4,5 km de longueur).

Un préalable à la prévision : la connaissance renforcée des couloirs d'avalanches

Bien connaître les couloirs en cause est indispensable. C'est le but des monographies entreprises pour chacun des couloirs faisant l'objet de la surveillance [figures 1 et 2], comprenant une analyse complète des caractéristiques physiques et de l'historique des événements mais aussi intégrant le savoir des experts locaux (techniciens des stations de ski, des communes, de l'enquête permanente avalanches ...). Ces experts, grâce à leur expérience, ont une capacité de «lecture des couloirs» et connaissent, chacun dans son massif, les particularités, similitudes ou différences de comportement.

Ainsi, en massif du Puymorens, généralement très venté, l'orientation des vents par rapport à l'orientation des couloirs joue un grand rôle dans les processus d'accumulation de la neige. Un vent violent transversal au couloir (> 60-80 km/h) balayera la neige et sera un facteur atténuant alors qu'un vent présentant peu d'angle avec la tête du couloir aura tendance (par neige froide) à provoquer de grosses accumulations, générer des corniches et être favorables à la formation de plaques à vent.

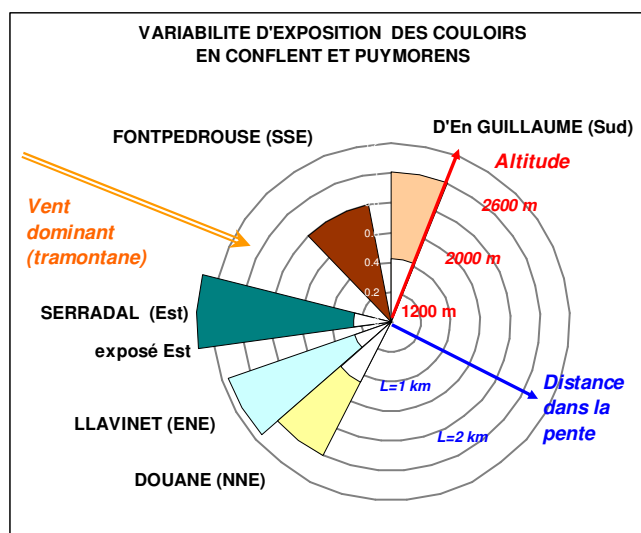


Fig. 1 Monographie PLRA. Variabilité d'exposition des couloirs et de prise au vent dominant (zones de départ en périphérie du graphique et zones d'arrivée au centre).

Fig. 1 PLRA monograph. Exposure and prevailing windward side variability (start area in chart outside and arrival in center).

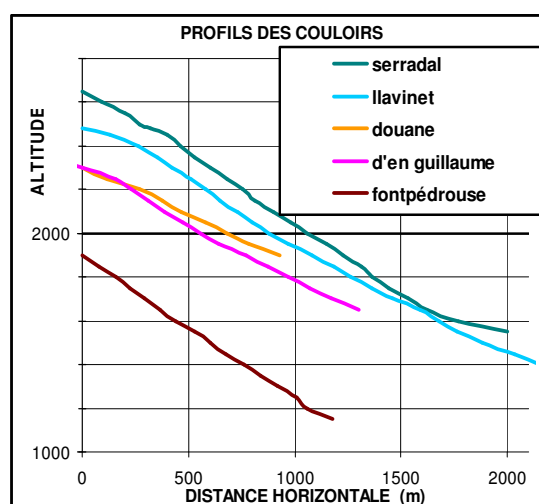


Fig. 2 Monographie PLRA. Variabilité de pentes et distances aux enjeux aval dans les couloirs surveillés en Puymorens et Conflent.

Fig. 2 Variability of lead angles and distances [start areas / downhill stakes] in supervised corridors in Puymorens and Conflent.

Les points majeurs facilitant la prévision par couloir: les données locales

Pour une PLRA fiable et reproductible, la confrontation de points de vue entre experts locaux a conduit à la nécessité de recueillir en temps quasi réel les données et informations ci-dessous, dont le recueil nécessite une bonne visibilité et un temps suffisamment clair :

- les accumulations de neige en tête de couloir et les phénomènes aggravants (corniches, plaques à vent, ...)
- le taux de remplissage des couloirs, de la zone de départ à la zone d'arrivée (pour une meilleure analyse du risque d'arrivée d'une avalanche près des enjeux aval). Les indices de remplissage des couloirs sont des repères locaux aussi objectifs que possible (émergence de rochers, niveaux de neige aux ouvrages paravalanches, emprise autour des boisements ...).

- les déclenchements naturels de couloirs voisins aux comportements semblables.

L'outil indispensable de communication du niveau de risque: le bulletin d'expertise PLRA

L'époque des avis transmis oralement, pas si lointaine que cela, est révolue. Aujourd'hui, un bulletin d'expertise écrit (et transmis sans perte de temps par messagerie aux gestionnaires et autorités) détaille le niveau de risque pour chaque couloir. Il permet au représentant de l'Etat (Préfet) et au gestionnaire de la route (DIRSO) de prendre les décisions adaptées et d'enclencher, si besoin, d'éventuelles mesures de restriction ou d'interdiction du trafic. Le bulletin propose également, si nécessité, de recourir au déclenchement préventif des avalanches (Gazex pour trois couloirs sur Porta et Porté et Catex pour les couloirs de l'Hospitalet).

La méthode choisie pour la PLRA : utiliser les données massif et les données locales, expliciter les éléments clefs de l'expertise

Elle est dite intégrée et explicite. Intégrée parce qu'il y a combinaison de l'approche par massif (avec les prévisions de Météo-France) et de l'approche par couloir (avec les données acquises localement). Explicite parce que tous les paramètres nécessaires à l'expertise (dans les limites bien sûr des connaissances et réflexions développées jusqu'à maintenant) sont renseignés en temps peu différé et font partie du bulletin PLRA diffusé.

Dès lors, l'analyse et la décision s'articulent autour de trois étapes importantes :

1. Une pleine valorisation des bulletins météorologiques et de prévision du risque avalanche par massif (BRA), produits par Météo-France.
2. Une collecte spécifique de données et informations dans l'environnement de chaque couloir. Quand cela est possible et notamment dans les situations incertaines, des sondages du manteau neigeux viennent enrichir l'analyse.
3. Ensuite, le bulletin dresse un bilan nivo-météorologique intégrant un suivi de données sur une échelle de temps de J-3 à J +3 [Tableau 1] avant de former le diagnostic par couloir, par comparaison qualitative et rigoureuse des facteurs susceptibles soit d'aggraver soit d'atténuer le risque. Cela conduit à l'évaluation du niveau de risque PLRA et aux préconisations de déclenchement préventif pour les couloirs équipés [Tableau 2].

Tab. 1 Extrait d'un bulletin PLRA (RTM 66).

Tab. 1 PLRA Bulletin Extract

Sous-couche		H (cm)	Fragilité (O/N)	
		1 m	N	
Neige fraîche		3 jours avant J₃ à J₋₁	Ce jour J₀	Prévisions <<< 72 h J₁ à J₃
Hauteurs		40 cm	<5 cm	10 cm
Cumuls			45 cm	
H totale manteau neigeux		1.4 m	1,45 m	1,55 m
Limite pluie-neige (altitude)		600 m	900 m	1000 m
Neige froide ou humide		froide	Froide	froide
Vent	Origine	N à NO	N à NO	NO
	Vitesse (km/h)	50 km/h	30 à 40 km/h	< 40 km/h

Une organisation avec au moins 2 personnes et d'étroites relations avec les gestionnaires des domaines skiables

Ces expertises sont réalisées par au moins deux personnes. L'une est chargée de la collecte des données, de l'analyse et du pré diagnostic, l'autre est chargée de la coordination externe et de la validation finale du bulletin. Le plus souvent et a fortiori dans les cas difficiles, une troisième personne est mobilisée pour se rendre sur site en vue de bien évaluer les caractéristiques locales d'enneigement et de repérer les déclenchements naturels dans les couloirs les plus proches.

Les gestionnaires de stations de ski sont aussi des appuis précieux. Leurs informations donnent une très bonne idée de la dynamique des épisodes neigeux, de la variabilité spatiale des chutes de neige et des risques dans chacune des stations. Pour les couloirs qui peuvent impacter l'accès aux domaines skiables, leur avis est sollicité très tôt, avant même la formalisation définitive des bulletins.

Du diagnostic à la décision: transparence et traçabilité

En cohérence avec l'échelle européenne du risque avalanche et le bulletin BRA de Météo France, le bulletin PLRA conclut à un niveau de risque entre 1 et 5 et aux préconisations de tirs.

Tab. 2 Exemple de la partie conclusive d'un bulletin PLRA (RTM 66).

Tab. 2 Conclusive PLRA Bulletin.

Enjeu	RN 22	RN 320	RN 20		RN 116	Commentaires
	Douane	En Guillaume	Serra dal	Llavinet	Fontpédrouse	
Niveau de risque par couloir (1 à 5)	3	3	3	3	2	Risque modéré
Préconisation de tir préventif	non	Oui	Non	Oui	non	Tirs de précaution
Evolution prévisible	La neige a évolué favorablement avant l'épisode neigeux. Des départs spontanés pourraient se produire du fait des quantités importantes de neige tombées. Une analyse des tirs et des couloirs sera réalisée dans la matinée de demain (09/03/2010) pour définir les risques résiduels sur l'ensemble des couloirs.					

Ainsi l'expertise aboutit à un bulletin final écrit, régulièrement mis à jour. Voulu pour assurer la transparence et la traçabilité de l'expertise, il est le vecteur de communication auprès du gestionnaire.

Précisons que l'expert ne prend en aucun cas la place du gestionnaire de l'infrastructure routière, à qui reviennent les décisions relatives au trafic. Néanmoins, dans la majorité des cas, la correspondance suivante sert de guide: si niveau de risque entre 2 et 3 => vigilance; si niveau de risque entre 4 et 5 => restriction ou interruption du trafic, selon la menace et le contexte.



Fig. 3 Sécurisation RN 20 à PORTA - Llavinet (66) : déclenchement puis déneigement (photos RTM 66)

Fig. 3 Securing of road RN 20 in Porta-Llavinet (66): release then snow clearance.

Des améliorations méthodologiques à envisager

Pour rendre ces expertises et cette PLRA encore plus fiables, 2 pistes sont à approfondir :

- affiner le diagnostic, avec d'autres caractéristiques ou des mesures plus précises concernant les facteurs aggravant ou atténuant le risque (pour diminuer la subjectivité lors des prises d'informations locales)
- mieux comprendre et mieux tirer parti des anciens événements avalanches majeurs. A cet égard, la recherche des conditions nivo météorologiques au moment de leur déclenchement, sera déterminante même si l'on sait déjà que les informations sont rares et peu exploitables pour les événements les plus anciens.

UN RETOUR SUR DES INTERVENTIONS D'EXPERTS EN AVALANCHES LORS DE CRISES PEU PREPAREES

Partout où des enjeux peuvent être menacés par des avalanches, une PLRA semble un préalable indispensable pour adapter, au mieux et à chaque instant, les décisions et les mesures à prendre pour assurer la sécurité. Malheureusement, à ce jour et hors des domaines skiabiles, peu de sites dans les vallées (habitations, routes, ...) bénéficient d'une véritable PLRA. Les périodes avec de fortes chutes de neige sont souvent traitées comme des crises ou des situations d'urgence auxquelles il faut bien faire face, au mieux.

Des experts en avalanches sont régulièrement appelés pour intervenir dans de telles situations d'urgence. Au-delà des qualités premières qu'il faut démontrer en ces circonstances (réactivité, adaptation voire improvisation), des éléments communs à de nombreuses crises avalanches permettent de mettre en évidence quelques points de repères sur le rôle à tenir par les experts et sur les prestations minimales qu'ils peuvent alors assurer.

Les appréciations et commentaires d'un tribunal sur la gestion de crise de février 1999 (Chamonix, avalanche de Montroc)

Extraits du jugement n°654/2003 (tribunal de grande instance de Bonneville), à propos de l'avalanche de Montroc (1999) :

« ... Le 20 décembre 1995, Monsieur ... qui était déjà maire de CHAMONIX, a créé par arrêté, le Comité Consultatif "Sécurité avalanches et risques naturels". Celui-ci a pour raison d'être "la nécessité pour le maire de s'entourer d'avis de personnes compétentes pour prendre toutes décisions utiles en matière de sécurité des biens et des personnes au regard des risques naturels"; il est "chargé de proposer toutes mesures utiles pour la sécurité des biens et des personnes".

... a déclaré que "le danger était tellement là qu'il fallait être présent pour prendre sans arrêt les dispositions nécessaires" "c'était une situation exceptionnelle que je n'avais jamais connue dans le passé": cette appréciation de la situation doit être prise au sérieux pour mesurer l'inquiétude qui régnait dans le comité quand on sait que Monsieur ... né en à CHAMONIX a une telle expérience de la montagne et de ses risques que tous les membres du comité ont unanimement reconnu qu'ils se fiaient quasiment aveuglément à son jugement et à ses recommandations.

... a déclaré pour la réunion du 9 février au matin que "ce matin là comme à chaque comité consultatif, il n'y a pas eu d'analyse sur carte, secteur par secteur pour déterminer les zones à risques. La méthode d'analyse était plus empirique et fondée sur l'expérience des plus anciens que réalisée de manière rationnelle à partir de la carte de localisation et prévision des avalanches".

... La divergence et l'imprécision de ces témoignages permet à tout le moins de dire que la CLPA n'était pas l'outil de travail privilégié du comité consultatif et que sa consultation était épisodique.

... Plusieurs membres du comité consultatif qui ont assisté aux réunions qui ont précédé la catastrophe (Messieurs ...) et bien que certains aient été beaucoup moins affirmatifs dans leurs déclarations à l'audience, ont déclaré avoir eu le sentiment d'une part que la gravité de la situation n'était pas complètement mesurée par le comité de sécurité et d'autre part ne pas avoir été bien compris dans leurs prises de position alarmistes sans doute à cause de leur jeune âge et de leur inexpérience. Cependant, nul ne conteste que, comme à l'habitude, les décisions ont été prises à l'unanimité et personne n'a témoigné de ce qu'il y ait eu des divergences dans les discussions. »

Intervenir dans une crise peu préparée : quelques questionnements ou points de repère fondamentaux

La crise nécessite souvent des interventions rapides pour aller au plus vite, vers des décisions opérationnelles. Mais, comme les autres intervenants, l'expert en avalanches doit aussi « garder son sang froid », éviter de tomber dans le piège de la précipitation et veiller à rester dans son rôle. A tout moment, il doit être capable de prendre un peu de recul et de répondre à ces quelques questions :

- Quelle est ma position parmi les acteurs, qui sont les autres acteurs, qui décide ?
- A quelle étape sommes nous dans la gestion de cette crise ?
- Quel est mon rôle, qu'est-ce qui est attendu de moi et dans quels délais ?
- Quelles sont les informations à ma disposition, quelle est leur fiabilité ?
- Comment communiquer mes conclusions et le niveau d'incertitude associé ?
- Le message que je voulais (ou devais) faire passer a-t-il été bien compris ?

Trouver sa bonne place parmi les acteurs de la crise

L'expert doit trouver toute sa place mais rien que sa place au milieu des acteurs de la crise. Il doit s'adapter à des situations variables.

L'expert n'est pas le décideur

La direction des opérations de secours repose sur le maire au titre de ses pouvoirs de police (ou, dans quelques cas particuliers, sur le préfet). L'expert, comme chaque membre de la cellule de crise, est bien là pour fournir des informations et formuler des avis à destination du décideur (maire ou préfet).

L'expert est rarement seul et doit savoir organiser les échanges

L'expert intervenant dans une situation d'urgence ou de crise n'a pas forcément à sa disposition ni le temps, ni les moyens ni les méthodes qu'il peut souhaiter. Mais il est rarement seul. Dans une cellule de crise, il est important de repérer très vite les autres personnes qui peuvent aussi, soit fournir des renseignements fiables, soit fournir une expertise en matière d'avalanche (pisteurs en particulier, guides, secouristes, habitant connaissant bien les couloirs et leur historique, ...). En fait, souvent, il pourra échanger avec d'autres experts (en interne comme en externe) pour confronter informations et analyses et communiquer aux décideurs un avis conforté et partagé.

Mais il faut aussi savoir dialoguer entre experts. Pour cela, chaque expert doit être capable de détailler les informations principales et les différentes étapes qui conduisent à son évaluation des menaces. Pas d'expertise et pas de partage des expertises sans une démarche construite, explicable et expliquée.

Moduler ses interventions en fonction du moment

L'entrée dans la crise et la nécessité de réagir vite

Quand elles ne sont pas assez préparées, la gestion des crises avalancheuses commence souvent quand les précipitations neigeuses sont déjà importantes. Les décisions à prendre deviennent vite :

évacuations ou confinement? Fermetures de routes? Les délais (pour les analyses, les prises de décision et leur mise en œuvre) sont souvent très brefs (de l'ordre d'une à quelques heures). Et les informations fiables à disposition de l'expert sont encore rares.

C'est souvent la période de l'entrée en crise qui est la plus difficile pour l'expert.

La sortie de crise et la possibilité de prendre plus de temps

Les décisions à prendre deviennent plutôt: réintégrations des bâtiments? Réouverture des routes?

En entrée de crise, l'expert, comme tous les autres intervenants, a été obligé de s'adapter à l'urgence imposée par les chutes de neige. Mais, en sortie de crise, l'urgence est souvent moins impérieuse. Face à des demandes d'avis trop précipitées, l'expert garde la possibilité d'imposer des délais (raisonnablement) plus longs, pour une meilleure recherche d'informations et une meilleure analyse. C'est un atout qu'il doit savoir utiliser.

Assumer son rôle d'expert

La priorité reste de formuler un véritable avis d'expert

Il est important de distinguer les trois types d'informations ou de conclusions qu'un expert peut être amené à communiquer à une cellule de crise.

Les informations factuelles

Il s'agit en particulier d'informations sur la période en cours: mesures ou données recueillies, enneigement observé, liste commentée des avalanches descendues, ... Il s'agit aussi d'informations « plus fondamentales »: carte des avalanches (CLPA, PPR, ...), historique des couloirs, études utiles, ... Ces informations factuelles peuvent être apportées par l'expert mais aussi par d'autres personnes. L'expert en avalanche veillera à ce que les membres de la cellule de crise et le décideur aient bien accès aux informations qui leur sont nécessaires. Par exemple, et le tribunal de Bonneville l'a rappelé lors du jugement sur Montroc, l'affichage et la référence à des cartes (CLPA, PPR, ...) apparaissent importants pour que les membres de la cellule de crise aient une bonne information: précise à l'échelle de chaque couloir et suffisamment exhaustive sur toute l'étendue du territoire à gérer.

L'avis d'expert

Usuellement, ce devrait être une évaluation des menaces. Par exemple, l'avis d'expert peut être synthétisé sous forme d'un indice correspondant à son évaluation de la probabilité que tel ou tel enjeu soit atteint par une avalanche dans les heures (ou les jours) à venir (une telle évaluation combinant probabilité de départ et probabilité de propagation jusqu'aux enjeux).

Les propositions de décision opérationnelle

Il s'agit de propositions pour les questions très concrètes qui se posent en cellule de crise: évacuer ou pas, fermer ou pas une route, réintégrer les bâtiments et rouvrir les routes, ... Très logiquement, les membres de la cellule de crise et le décideur attendent d'abord et surtout des réponses à ces questions simples. Mais, en prenant l'exemple d'une route, il faut, entre l'avis d'expert (l'évaluation de la menace) et la décision de fermer ou de garder la route ouverte, intégrer aussi des notions et des éléments variés: importance du trafic, importance pour les secours, importance pour pouvoir mettre en œuvre d'éventuelles décisions d'évacuation, autres alternatives (organisation de convois, autres routes utilisables, ...), ... Les arbitrages entre toutes ces contraintes contradictoires ne relèvent pas de l'expert en avalanche. Dans des cas simples, usuels ou récurrents, l'expert peut quand même accepter de formuler, lui aussi et parmi d'autres, des propositions de décision opérationnelle.

L'expert ne doit pas forcément rester dans le seul cadre des questions posées

En priorité, l'expert doit bien évidemment s'efforcer de répondre aux préoccupations légitimes des décideurs et aux questions qui lui sont posées. Mais il est aussi un acteur important et autonome de la cellule de crise, devant prendre des initiatives. Si nécessaire, il lui faut savoir sortir du cadre trop restreint dans lequel il peut parfois se trouver enfermé (du fait de l'urgence, de la pression de l'événement ou de certains membres de la cellule de crise, de questions mal posées, de questions qui ne sont pas traitées, ..).

D'abord, il ne répondra aux questions posées que s'il estime pouvoir le faire et avoir assez d'éléments pour cela (tout en gardant à l'esprit qu'il doit toujours chercher à apporter une plus-value dans la gestion de la crise et que, même avec des éléments insuffisants, il devra s'efforcer d'apporter au moins des réponses partielles ou des éléments nouveaux).

Ensuite, l'expert ne doit pas hésiter à reformuler des questions mal posées :

- ne pas accepter une demande du type : « *pour rouvrir les routes, on attend que vous nous confirmiez qu'il n'y a plus aucun risque* »
- même si les décideurs ne demandent que des propositions de décision opérationnelle (évacuer ou pas, fermer ou pas, ...), l'expert ne répondra d'abord que par un avis d'expert (avec, dans une 2ème temps et seulement s'il l'estime possible, la proposition de décision opérationnelle attendue).

Enfin, l'expert doit aussi intervenir et attirer l'attention sur des problèmes qu'il est le seul à soulever (couloirs d'avalanche non examinés, hameaux ou routes non évoqués dans la cellule de crise, ...).

Quelques éléments de méthode

Les informations utilisables

Des informations de toutes origines vont progressivement arriver au cours du déroulement de la crise. Il est important d'en organiser la collecte, la diffusion aux personnes intéressées et le classement. Il faut rester très critique sur leur fiabilité. Il faut surtout faire confiance aux données recoupées et aux témoins professionnels ou connus. Il faut aussi inciter tous les intervenants et tous les témoins à utiliser la même cartographie de référence. En France, ce sera la CLPA. Il faut utiliser en priorité les numéros de la CLPA plutôt que n'importe quelle autre référence, nom de lieu dit ou de couloir, ... Il faut aussi garder à l'esprit que de nombreux témoins n'ont pas l'habitude d'utiliser des cartes avec un fond topographique et peuvent faire de grosses erreurs de localisation.

Tab. 3 Tableau des informations les plus importantes en gestion de crise.

Tab. 3 Table with the most important information in crisis management.

	Informations spécifiques à la période en cours	Données de référence pérennes
Informations les plus urgentes à avoir à disposition	<ul style="list-style-type: none">• Prévisions météorologiques• BRA (bulletin d'estimation des risques d'avalanches)	<ul style="list-style-type: none">• CLPA• PPR ou autres cartes de risques ou d'aléas
Informations à rechercher et enrichir dès que possible	<ul style="list-style-type: none">• Liste précise des avalanches déjà descendues, avec leurs caractéristiques et comportement	<ul style="list-style-type: none">• Historique des couloirs
Autres informations à recueillir aussi souvent que possible	<ul style="list-style-type: none">• Témoignages professionnels• Autres témoignages• Échanges entre collègues• Observations directes• Mesures et données des instruments• Résultats de déclenchements preventives	<ul style="list-style-type: none">• Etudes ou expertises antérieures utiles (recensements, études sur les enjeux vulnérables, ...)• Profil en long des couloirs menaçants

Les moyens, les outils ou les méthodes disponibles

Il est bien évident que l'expert n'a à sa disposition que très peu de méthodes ou d'outils adaptés à la gestion des crises peu préparées. Nous fournissons ci dessous quelques éléments disparates mais qui peuvent aider les experts dans une partie de leurs réflexions ou raisonnements.

Regrouper les couloirs par similitude

Lors de ces crises, il faut fréquemment gérer une zone vaste avec plusieurs (voire de nombreux) couloirs d'avalanches menaçants. Avant les expertises détaillées de chaque couloir, il apparaît souhaitable de rechercher des informations à une échelle plus vaste ou pas immédiatement liées à la période en cours.

Il faut d'abord apprécier la topographie et la situation des couloirs : exposition, altitude, dénivelée, importance des zone de départ, sensibilité aux transports de neige par le vent (compte tenu des vents dominants des derniers jours), ...

Il faut ensuite grouper les couloirs :

- A - Par fonctionnement « similaire » (altitude, exposition, ...)
- B - Par la distance aux enjeux :
 - B1 - Ceux qui atteignent facilement les enjeux
 - B2 - Ceux qui ne peuvent les atteindre que par un phénomène majeur (mais déjà connu)
 - B3 - Ceux qui ne peuvent les atteindre que par un phénomène dépassant les emprises connues (propagation plus en aval, emprise plus large, changement de trajectoire, ...)

De tels regroupements par similitudes peuvent permettre de mieux valoriser les informations disponibles (BRA, avalanches déjà descendues, ...) et de structurer les raisonnements de l'expert. Ces raisonnements sont complexes, mais, grossièrement, les regroupements :

- de type A (par fonctionnement similaire) doivent surtout aider à apprécier les probabilités de déclenchement des avalanches
- de type B (par distance aux enjeux) doivent surtout aider à apprécier les probabilités de propagation jusqu'aux enjeux.

Même en urgence (entrée dans la crise notamment), l'expert peut rapidement procéder à de tels regroupements. Quelques minutes d'observation de la carte des avalanches (CLPA) et des annotations avec une palette de couleurs adaptée apportent une plus-value indéniable aux réflexions de l'expert et à l'information des membres de la cellule de crise. Il faudra plus de temps (et d'expertise) pour localiser les avalanches du groupe B3 et les enjeux associés. Pour les habitations : elles sont rarement concernées par les groupes d'avalanches de type B1. Pour les routes : la distinction ente les groupes B1 et B2 prend toute son importance pour hiérarchiser les menaces.

Rechercher et valoriser les informations sur les avalanches déjà descendues

Il est rare d'avoir rapidement des informations précises sur les avalanches qui descendent. Mais toute information fiable obtenue rapidement sur les avalanches déjà descendues (type, comportement, volumes, distances parcourues) est très précieuse, soit pour confirmer ou corriger les analyses soit pour anticiper des comportements similaires dans les heures qui suivent. Même s'ils ne sont pas les seuls que l'expert doit tenir, les raisonnements par similitude nous paraissent incontournables dans ces situations. Ils seront facilités par les regroupements décrits au chapitre précédent. Ces renseignements seront aussi très précieux pour la sortie de crise et pour concentrer les analyses sur les

couloirs non purgés. Et, pendant la durée de la crise, tout créneau météorologique favorable à l'observation des zones de départ sera utilisé au mieux pour recenser précisément les couloirs déjà purgés (survol en hélicoptère si possible, observateurs professionnels et fiables, ...).

La communication des conclusions

Le plus souvent possible, il faut chercher à communiquer les conclusions sous forme écrite. Un bulletin peut être rapidement rédigé, même en situation d'urgence. Nous conseillons de s'inspirer du bulletin détaillé en 1^{ère} partie de cet article (pour la PLRA). Il présente l'avantage de reprendre les 3 types d'informations qu'un expert peut être amené à communiquer : informations factuelles + avis d'expert (sous forme d'un indice synthétisant l'évaluation du risque) + proposition de décisions opérationnelles. Un tel bulletin présente d'autres avantages importants : traçabilité des avis formulés, beaucoup moins de risques de mauvaise compréhension et possibilité de diffusion élargie.

Chaque couloir d'avalanche (ou à défaut, chaque groupe de couloirs très similaires) doit faire l'objet d'un bulletin.

Veiller à la bonne compréhension et intégration des avis d'expert par les décideurs

Nous rappelons que, au moment de l'avalanche de Montroc, « *plusieurs membres du comité consultatif ... ont déclaré avoir eu le sentiment d'une part que la gravité de la situation n'était pas complètement mesurée par le comité de sécurité et d'autre part ne pas avoir été bien compris dans leurs prises de position alarmistes sans doute à cause de leur jeune âge et de leur inexpérience* ». Il paraît évident que l'expert doit veiller à être bien compris, d'une part au sein de la cellule de crise, d'autre part par le décideur. Bien que cela ne règle pas tout, un avis écrit aura moins de chances d'être mal compris (voire négligé) que des interventions seulement orales. Ensuite, c'est bien au décideur de prendre les décisions qui lui semblent les plus opportunes, compte tenu des informations, des avis et des contraintes qu'il doit gérer. Il est légitime (voire fréquent) que le décideur ne puisse pas suivre tous les avis qui lui remontent.

CONCLUSION

Nombreux sont les points de convergences entre les 2 approches détaillées dans cet article (une mission de PLRA bien organisée et des interventions peu préparées lors de crises) :

- Valoriser au mieux les données du site et les informations historiques sur chaque couloir
- Organiser une collecte d'informations détaillées sur les conditions du moment
- Structurer au moins une partie des raisonnements experts, notamment par le regroupement des couloirs en familles homogènes
- Rechercher, organiser les échanges entre experts pour partager les analyses et les conclusions
- Diffuser les informations source et utiles aux décideurs pour qu'ils comprennent les points clefs du raisonnement expert
- Assumer pleinement son rôle d'expert, en communiquant aux décideurs une évaluation des menaces sur les enjeux
- Veiller à la bonne compréhension, diffusion et traçabilité des avis (la rédaction d'un bulletin écrit étant, à ce titre, particulièrement souhaitable)
- Rester vigilant et autonome et prendre les initiatives qui s'imposent pour que toutes les menaces soient appréhendées et traitées.

Il faut garder à l'esprit que, partout où des menaces d'avalanches existent, une prévision localisée des avalanches bien organisée est particulièrement souhaitable. Mais quand la PLRA n'est pas en place et qu'il faut quand même faire face aux situations d'urgence, tous les repères ne disparaissent pas.

Quelques points clefs ou éléments de méthode permettent encore aux experts en avalanche des interventions maîtrisées, partagées et porteuses de progrès.

REFERENCES

- Institut des risques majeurs (2003 - 2008). "Organisation de la sécurité civile en France, fiche DGa1", <http://www.mementodumaire.net/03dispositions/DGa1.htm>
- Steinle-Feuerbach M.-F. "AVALANCHE DE MONTROC : condamnation symbolique du maire ", <http://www.fenvac.com/Les-jugements-d-accidents.html>
- Cassayre Y., Laurens D. (2010). "Mission de retour d'expérience sur les avalanches de l'hiver 2008-2009" produit par le Conseil général de l'environnement et du développement durable à la demande du MEEDDM, n° 006966-01- 41 pages.
- ANENA (2010). "Le Bulletin du Risque d'Avalanche – BRA". Revue "Neige et Avalanches", n° 130, juillet

LOKALE NATURGEFAHRENBERATER FÜR ZIVILE FÜHRUNGSORGANE

Martin Buser¹, Gian Reto Bezzola², Wanda Wicki³ und Peter Mani⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewältigung von Naturereignissen ist eine Aufgabe, welche in der Schweiz den lokalen beziehungsweise regionalen Behörden obliegt. Dabei sind zivile Führungsorgane und Einsatzkräfte unter anderem auch auf Beratung vor Ort im Bereich der Naturgefahren angewiesen. Diese Beratung ist notwendig, um im Ereignisfall die lokale Situation und deren Entwicklung umfassend zu beurteilen sowie daraus die richtigen Entscheide fällen zu können. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde in der Schweiz ein Konzept für lokale Naturgefahrenberater entwickelt. Dieses beinhaltet ein Ausbildungsprogramm für Naturgefahrenberater, welches den lokalen Gegebenheiten Rechnung trägt. Analog den bewährten Strukturen des Lawinenwarndienstes liegt die Hauptaufgabe der Naturgefahrenberater darin, die lokalen beziehungsweise regionalen Führungsorgane und Einsatzkräfte mit ihrem Fachwissen vor Ort zu beraten und zu unterstützen. Die Naturgefahrenberater sind vorzugsweise als Spezialisten in die Struktur der zivilen Führungsorgane integriert. Durch den Bund wurden 2010 Ausbildungsunterlagen erstellt und 2011 an die Kantone weitergeleitet. Als erster Kanton begann Bern 2011 mit der Ausbildung lokaler Naturgefahrenberater.

Schlüsselworte: Naturgefahrenberater, Integrales Risikomanagement, Bevölkerungsschutz, ziviles Führungsorgan, Ausbildung im „Kaskadenprinzip“

ABSTRACT

Coping with natural hazards in the emergency case is a task, which has to be faced on site. In such situations, civil staff units and intervention forces have to rely – amongst other – on local expertise on natural hazards. Such expertise is necessary for a comprehensive assessment of the local hazards situation, its further evolution and to take the right decisions. Based on these conclusions, the concept of local natural hazard advisors was developed. A training programme for local natural hazard advisors who are familiar with local conditions is currently set up in Switzerland. Analogue to the case of the tried-and-tested structures in the avalanche services, the main aim pursued with these advisors is to provide specialist support for civil staff units and intervention forces at the local or regional level. These local natural hazard advisors are integrated in the civil staff units. In 2010 the Swiss Confederation developed the training documentation and distributed it to the cantons in 2011. In the same year, the Canton of Berne was the first to begin with the training of local natural hazard advisors.

Keywords: Natural Hazard Advisor, Integrated Risk Management, Civil Protection, Civil Staff Units, Training by „Cascade Principle“

¹ Martin Buser. Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern, (e-mail: martin.buser@bafu.admin.ch)

² Gian Reto Bezzola. Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, Schweiz

³ Wanda Wicki. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Geschäftsstelle, Schweiz

⁴ Peter Mani. geo7, geowissenschaftliches Büro, Schweiz

EINLEITUNG

Die Schweiz als Alpenland ist einer Vielfalt von Naturgefahren ausgesetzt. So bringt der Winter mit seinen Schneemassen jährlich Lawinenniedergänge unterschiedlicher Intensität mit sich. Im Frühling werden die Schneemassen, kombiniert mit erheblicher Erwärmung und aufkommendem Regen, zum Ursprung grossflächiger Überschwemmungen, die von geologischen Massenbewegungen begleitet werden können. Aber auch Trockenheit mit anschliessender Waldbrandgefahr können im Frühling und Sommer auftreten. Zum Teil heftige Gewitter mit Hagel und orkanartigen Böen begleiten die Sommermonate. Wie die Ereignisse im August 2005 und 2007 zeigen (Bezzola und Hegg 2007, Bezzola und Ruf 2009), treten je nach den meteorologischen Verhältnissen vermehrt langanhaltende, kräftige Niederschläge auf, die ihrerseits zu Hochwassern, Rutschungen und Hangmuren führen. Der Herbst kann hinsichtlich der Naturgefahren als eine eher ruhigere Jahreszeit bezeichnet werden, obwohl einzelne heftige Windstürme nicht ausgeschlossen werden können. Da die Schweiz nur am Rande einer Erdbebenzone liegt, sind seismische Aktivitäten zwar eine Seltenheit, können aber mitunter auch ein grösseres Ausmass annehmen. Dies beweisen beispielsweise die Ereignisse von Basel 1356 mit einer geschätzten Magnitude auf der Richterskala zwischen 6.7 und 7.1 (M 6.7 – M 7.1), Zentralschweiz 1601 (M 6.2), Visp 1855 (M 6.5) oder Siders-Chippis 1946 (M 6.1).

Um mit all diesen Naturgefahren umgehen zu können, bedient sich die Schweiz des Integralen Risikomanagements (IRM), welches in der Figur 1 schematisch, in Form eines Kreislaufs dargestellt ist. Den drei Phasen dieses Kreislaufs – Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration – liegt eine gründliche Gefahren- und Risikobeurteilung zugrunde. Da ein hundertprozentiger Schutz nicht gewährleistet werden kann, gilt es durch präventive Massnahmen die Verletzlichkeit zu verringern und für den Fall, dass ein Ereignis sich abzeichnet beziehungsweise eintritt, durch optimale Vorbereitungen und frühzeitige Warnung Schäden auf ein vertretbares Ausmass zu begrenzen.

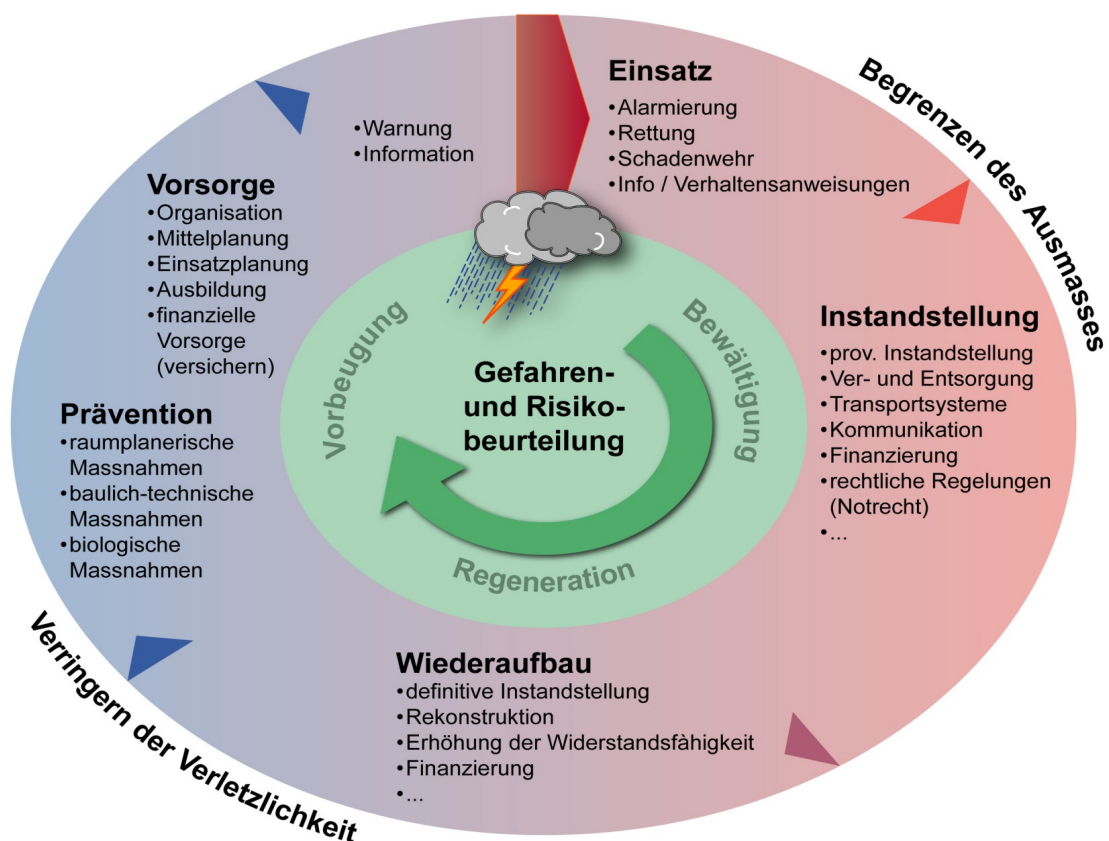


Fig. 1 Der Kreislauf des Integralen Risikomanagements IRM (Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, 2003).

Fig. 1 The circle of the integrated risk management IRM (Federal Office for Civil Protection FOCP, 2003).

DER BEVÖLKERUNGSSCHUTZ IM RAHMEN DES IRM

Als eine der Massnahmen zur Umsetzung des Integralen Risikomanagements wurde auf den 1. Januar 2004 das Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz BZG in Kraft gesetzt. Der Auftrag des Bevölkerungsschutzes ist es, die Bevölkerung und ihre Lebensgrundlagen bei Katastrophen und in Notlagen sowie im Fall eines bewaffneten Konflikts zu schützen. Er stellt Führung, Schutz, Rettung und Hilfe zur Bewältigung solcher Ereignisse sicher und trägt dazu bei, Schäden zu verhindern, zu begrenzen und zu bewältigen. Die politische Behörde trägt die Verantwortung für den Bevölkerungsschutz, überlässt die Umsetzung jedoch einem zivilen Führungsorgan, welches sich aus Führungs- und Fachspezialisten zusammensetzt. Der Bevölkerungsschutz ist ein Verbundsystem und stellt die Koordination und die Zusammenarbeit der fünf Partnerorganisationen Polizei, Feuerwehr, Gesundheitswesen, technische Betriebe und Zivilschutz sicher. Bei Bedarf können weitere Institutionen, private Organisationen und Unternehmen sowie die Armee zur Unterstützung beigezogen werden (Schweizerischer Bundesrat 2001).

Die Zuständigkeit für den Bevölkerungsschutz im Zusammenhang mit Naturgefahren obliegt den Kantonen. Der Bund unterstützt sie einerseits im Bereich der Führung, indem er auf Antrag eines oder mehrerer Kantone die Führung und die Koordination bei einem Ereignis von nationaler Bedeutung übernehmen kann, und andererseits mit Fachkompetenz für den Umgang mit Naturgefahren. Bezogen auf den Kreislauf des Integralen Risikomanagements ist der Bevölkerungsschutz im Vorfeld eines Ereignisses für die Vorsorge und beim Eintreten eines Ereignisses für den Einsatz und die Instandstellung zuständig. Bei langfristigen Aufgaben wie Wiederaufbau und Prävention steht er bei Bedarf in beratender Funktion den Behörden zur Verfügung.

Die Organisation des Bevölkerungsschutzes ist abhängig von Grösse und Topografie jedes einzelnen Kantons. Kleine Kantone organisieren sich eher zentral auf kantonaler Ebene, grössere Kantone überlassen die Organisation den Gemeinden beziehungsweise den Bevölkerungsschutzregionen, wenn sich mehrere, meist kleinere Gemeinden für die Organisation zusammenschliessen.

FACHWISSEN AUF LOKALER EBENE

Auf allen drei politischen Ebenen – Bund, Kantone und Gemeinden – sind die Behörden und die zivilen Führungsorgane von der Vorsorge bis zur Instandstellung auf entsprechende Fachberatung angewiesen. Auf Bundesebene existieren die erforderlichen Fachämter und mit dem derzeitigen Aufbau eines Bundesstabes für die Bewältigung von atomaren, biologischen, chemischen und naturgefahrenbedingten Ereignisse von nationaler Tragweite (BST ABCN) wird eine bedeutende Lücke geschlossen. Auf der kantonalen Ebene sind Führungs- und Fachbereiche etabliert. Es gilt nun deren Zusammenarbeit zu festigen. Auf regionaler bzw. kommunaler Ebene ist schweizweit ein sehr unterschiedlicher Aufbaustand feststellbar. Namentlich der Fachbereich Naturgefahren weist grössere Lücken auf.

Die Auswertung des Hochwassers vom August 2005 im Rahmen des Projekts „Optimierung von Warnung und Alarmierung OWARNA“ (Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, 2007) sowie die Ereignisanalysen der Hochwasser vom August 2005 (Bezzola und Hegg 2007, 2008) und August 2007 (Bezzola und Ruf 2009) zeigen das grosse Potenzial der Vorsorge und Intervention zur Reduktion des Schadenausmasses bei Naturereignissen auf. Dieses Potenzial gilt es im Hinblick auf künftige Ereignisse konsequent zu nutzen.

Neue Entwicklungen zur Vorhersage von aussergewöhnlichen Naturereignissen ermöglichen Interventionen bereits vor dem Eintritt eines Ereignisses. Die zeitgerechte Auslösung von Interventionsmassnahmen bedingt vor Ort nebst umfassenden Vorbereitungen entsprechendes Fachwissen, um die Vorhersagen, Messdaten und Beobachtungen beurteilen und im lokalen Kontext interpretieren zu können. Als ein Beispiel zeigt die Figur 2 Beaverschläuche, deren Aufbau zwingend vor dem Überlaufen eines Flusses geschehen muss. Demzufolge sind die entsprechenden Einsatzkräfte auf verlässliche Vorhersagen und deren Interpretation im lokalen Kontext (Beurteilung vor Ort) angewiesen, damit sie zeitgerecht die geplanten mobilen Interventionsmassnahmen umsetzen können.



Fig. 2 Beaverschläuche als mobile Interventionsmassnahme im Mattequartier in Bern (Foto: Berufsfeuerwehr der Stadt Bern, 2007).

Fig. 2 Beaver tubes as a mobile measure of intervention in the quarter of the “Matte” in the city of Berne (Photo: Professional fire brigade of the city of Berne, 2007).

Für den Aufbau und die Aufrechterhaltung dieses Fachwissens vor Ort hat der Bundesrat im Rahmen des OWARNA-Folgeberichts (Schweizerische Eidgenossenschaft 2010) die Einführung und Ausbildung von lokalen Naturgefahrenberatern beschlossen, die nach dem „Kaskadenprinzip“ ausgebildet und in die jeweiligen zivilen Führungsorgane integriert werden.

KONZEPT DES LOKALEN NATURGEFAHRENBERATERS

In der Meteo- und Lawinenwarnung bestehen auf Bundesebene bereits gut entwickelte Vorhersage- und Warnsysteme sowie ein Meldesystem nach Erdbeben. Das Hochwasserereignis 2005 zeigte aber, dass insbesondere bei der Hochwasservorhersage und -warnung grosse Lücken bestehen. Die Erkenntnisse aus den Projekten OWARNA und „Ereignisanalyse Hochwasser 2005“ veranlassten den Bund rasch zu handeln. Die aus dem Hochwasser 2005 gezogenen Lehren wurden durch das Hochwasser vom August 2007 bestätigt.

Eine weitere Lücke, die sich beim Hochwasser 2005 vielerorts gezeigt hat, ist die Verfügbarkeit von Fachwissen vor Ort. Führungsgremien und Interventionskräfte müssen sich darauf abstützen, um die Lage umfassend beurteilen und die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Alle im Rahmen der Ereignisanalyse 2005 befragten kantonalen Fachstellen wünschen sich deshalb in den Gemeinden bzw. Regionen Ansprechpartner, welche Informationen beschaffen und Fachwissen in die lokalen Führungsorgane einbringen können.

Auf Stufe Gemeinde beziehungsweise Region gilt es, lokales Wissen aufzubauen beziehungsweise zu erhalten, mit neuem Wissen zu ergänzen und besser verfügbar zu machen. Zu Gunsten der lokalen Führungs- und Interventionskräfte müssen die von den nationalen und kantonalen Fachstellen erarbeiteten Grundlagen (Gefahrenkarten, Messungen, Vorhersagen, Warnungen) zusammen mit Beobachtungen und Erfahrungen vor Ort sowie unter Einbezug weiterer Informationen bewertet und im lokalen Kontext interpretiert werden. Dies soll durch entsprechend ausgebildete lokale Naturgefahrenberater erfolgen.

Deshalb hat der Bund – in Analogie zum Bevölkerungsschutz und zum Bereich Lawinenwarnung – zu Händen der Kantone Unterlagen für die Ausbildung von lokalen Naturgefahrenberatern erarbeitet und eine Strategie zur Umsetzung der Ausbildung entwickelt.

Das Fachwissen vor Ort kann nicht flächendeckend durch vollamtliches Personal abgedeckt werden. Wie bei Führungs- und Interventionskräften gilt es deshalb, Rahmenbedingungen zu schaffen, damit der Grundsatz des Milizprinzips angewendet werden kann. Personen, welche bereit sind, sich in dieser Aufgabe zu engagieren, erhalten eine gezielte Ausbildung, die sie in die Lage versetzt, die von Bund und Kanton erhaltenen Informationen in ihren lokalen Kontext zu übertragen.

Der erfolgreiche Umgang mit Naturgefahren bedingt nicht nur entsprechendes Fachwissen auf allen Ebenen (Bund, Kantone und Gemeinden); dieses Fachwissen muss auch breit vernetzt sein. Die Figur 3 illustriert den Fachstellenverbund und die notwendige Koordination zwischen der Fach- und Führungsschiene. Der mit der roten Ellipse gekennzeichnete Kasten bezeichnet die Stellung des lokalen Naturgefahrenberaters

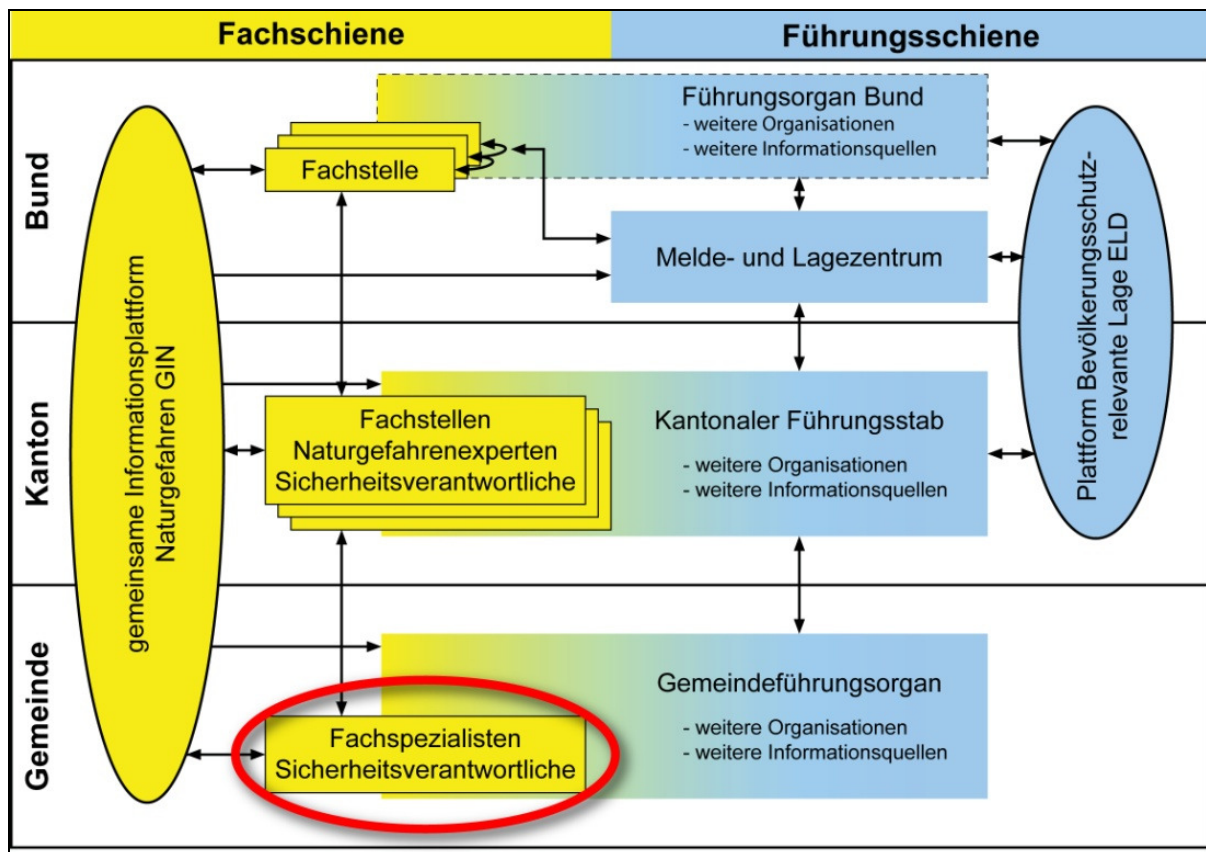


Fig. 3 Übersicht des Fachstellenverbundes (gelb) sowie dessen Vernetzung mit der Führung (blau) auf den Stufen Bund, Kantone und Gemeinden (Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, 2007).

Fig. 3 General view of compound of specialist departments (yellow) and their networking with the command and control (blue) on federal, cantonal and municipal level (Federal Office for Civil Protection, FOCP 2007).

Mit dem Leitbild Bevölkerungsschutz (Schweizerischer Bundesrat 2001) beziehungsweise mit dem in Kraft tretenden des Bevölkerungsschutz- und Zivilschutzgesetzes 2004 und der gleichzeitigen Verankerung der Zuständigkeit der Kantone für den Bevölkerungsschutz hat sich der Bund lediglich noch auf die Bewältigung von Ereignissen in seinem Zuständigkeitsbereich – KKW-Störfall, kriegerische Ereignisse, Pandemie und Tierseuchen – konzentriert. Seit Anfang 2011 wird mit dem Aufbau des Bundesstabes ABCN die Führungsschiene über alle drei Behördenebenen vervollständigt. Die Kommunikation zwischen den Kantonen und dem Bund wird mittels Melde- und Lagezentrum MLZ sowie der elektronische Lagedarstellung ELD sichergestellt. Mit der Ausbildung der Naturgefahrenberater und deren Integration in die regionalen beziehungsweise kommunalen Führungsorgane wird die anlässlich der Hochwasserereignissen 2005 und 2007 festgestellte Lücke, das fehlende Fachwissen vor Ort, geschlossen. Damit sind die Voraussetzungen für die Vernetzung der Fachschiene mit der Führungsschiene auf allen politischen Ebenen geschaffen.

Der lokale Naturgefahrenberater ist auf Stufe Gemeinde beziehungsweise Region tätig und ist in die lokale bzw. regionale Führung integriert. Sein fachlicher Ansprechpartner ist die kantonale Fachstelle. Die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN (Heil et al. 2010) ist eine zentrale Informationsquelle für die Ausübung seiner Tätigkeit.

AUFGABEN DES LOKALEN NATURGEFAHRENBERATERS

Die Hauptaufgaben des lokalen Naturgefahrenberaters sind:

> *im Ereignisfall:*

- Informationen zur **aktuellen Entwicklung** der Lage mit **Beobachtungen vor Ort** und den lokalen Erfahrungen **in Verbindung bringen**
- die Behörden **zeitgerecht warnen** und geeignete Massnahmen beantragen

> *bei den vorsorglichen Planungen:*

- die zivile Führung und die Einsatzkräfte bei **Notfallplanungen beraten/unterstützen**

Anhand der verfügbaren Informationen (u.a. aus der Gemeinsamen Informationsplattform Naturgefahren GIN) sowie deren Verbindung mit lokalen Beobachtungen und Erfahrungen verfolgt der Naturgefahrenberater die aktuelle Situation und beurteilt mögliche Entwicklungen der Fachlage. Aufgrund seiner Beurteilung kann er die Führungs- und Interventionskräfte zeitgerecht warnen und ihnen vor, während und nach Ereignissen geeignete Massnahmen beantragen. Der Naturgefahrenberater unterstützt und berät die zivile Führung und die Einsatzkräfte auch beim Erstellen beziehungsweise Überarbeiten der vorsorglichen Notfallplanung.

STELLUNG DES LOKALEN NATURGEFAHRENBERATERS

Um seine Beratertätigkeit optimal und zugunsten aller Beteiligten bei der Ereignisbewältigung ausüben zu können, bietet sich die Eingliederung des lokalen Naturgefahrenberaters im zivilen Führungsorgan an. Wie die Figur 4 darstellt, sieht das Bevölkerungsschutzleitbild die Eingliederung von Spezialisten bei Bedarf vor.

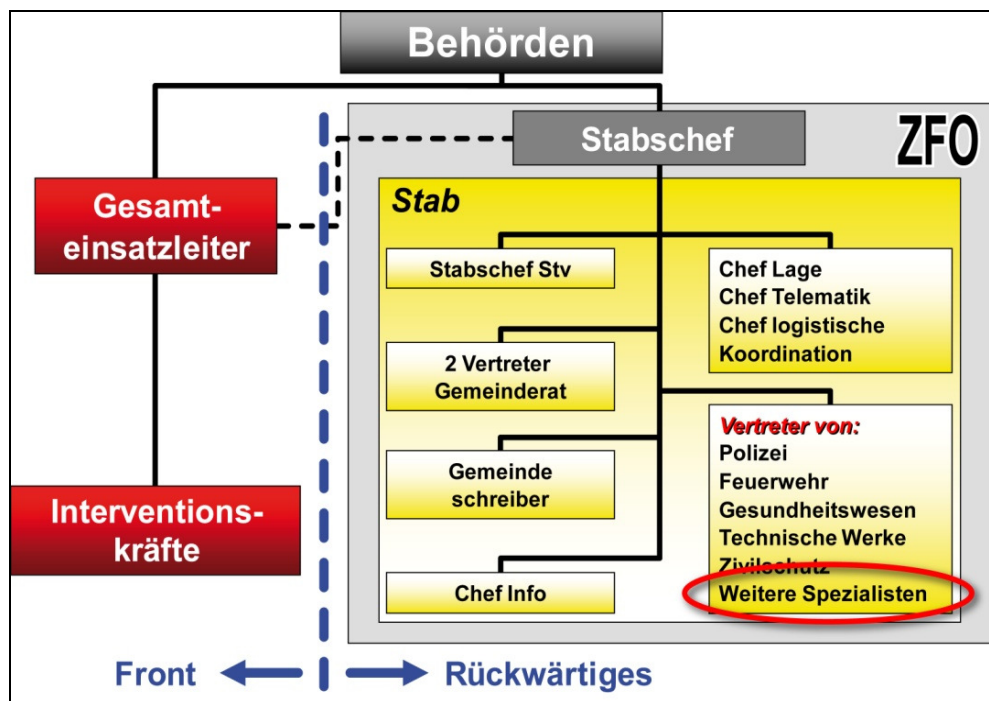


Fig. 4 Stellung des lokalen Naturgefahrenberaters als Spezialist im zivilen Führungsorgan ZFO (Schweizerischer Bundesrat 2001).

Fig. 4 Position of the local natural hazard advisor in the civil staff unit (Federal Council 2001).

RECHTLICHE STELLUNG DES LOKALEN NATURGEFAHRENBERATERS

Wird der Naturgefahrenberater durch den Gemeinderat gewählt und in das zivile Führungsorgan eingegliedert, so ist er Mitglied eines amtlichen Organs und untersteht somit bei der Ausübung seiner Funktion in Rechten und Pflichten dem Gemeindereglement.

ANFORDERUNGSPROFIL

Potenzielle Naturgefahrenberater sind Personen, die eine hohe Affinität gegenüber Naturgefahren haben und im Ereignisfall keine andere operative Aufgabe wahrnehmen müssen. In Frage kommen beispielsweise ehemalige Angehörige von Interventionskräften, Förster, Mitarbeitende aus lokal bzw. regional verankerten Büros, d.h. Personen, die mit den lokalen Gegebenheiten (Topografie, Infrastruktur, organisatorische Abläufe, Mittel) vertraut sind.

Nach erfolgter Ausbildung durch den Kanton verfügt der lokale Naturgefahrenberater über folgendes Wissen bzw. erfüllt folgende Anforderungen:

Grundwissen Naturprozesse

Der Naturgefahrenberater erkennt kritische Wetterlagen auf Grund der verfügbaren Meteoprognozen, seiner lokalen Beobachtungen und Erfahrungen. Er kennt die von geologischen Massenbewegungen ausgehenden Gefahren und die in seinem Gebiet vorhandenen Gefahrgrundlagen. Er versteht den Prozess der Abflussbildung und weiss, welche Dispositionen und Situationen verschärfend wirken können. Er kennt die bei Hochwasser ablaufenden Gerinneprozesse und die von ihnen ausgehenden Gefahren.

Grundwissen Hochwasserschutz

Der Naturgefahrenberater kennt die verschiedenen Hochwasserschutzmassnahmen und deren Wirkungsweise. Er kennt die von Schwachstellen ausgehenden Gefahren und kann potenzielle Problemstellen erkennen. Er kann aufgrund der verfügbaren Gefahrgrundlagen die im Überlastfall ablaufenden Prozesse beschreiben.

Grundwissen Gefahrgrundlagen

Der Naturgefahrenberater kann in seinem Wirkungsgebiet aufgrund der Gefahrenkarten (Gefahrenkarte, Intensitätskarten, technischer Bericht) sowie weiterer Gefahrgrundlagen (z.B. Gefahrenhinweiskarte, SilvaProtect) die bei verschiedenen Ereignisszenarien ablaufenden Prozesse beschreiben und im Ereignisfall erkennen, dass sich ein bestimmtes Ereignisszenario abzeichnet.

Aufgaben Vorsorge

Der Naturgefahrenberater kennt die in seinem Wirkungsgebiet vorhandene Notfallplanung sowie die Mittel der Einsatzkräfte in seinem Wirkungsgebiet. Er berät und unterstützt die zivile Führung und die Einsatzkräfte bei der Erarbeitung neuer oder bei der Überarbeitung bestehender Notfallplanungen.

Aufgaben Beurteilung der Fachsituation

Der Naturgefahrenberater kennt die verschiedenen Vorhersagen (Meteoprognozen, Abflussvorhersagen). Er hat Zugang zu den entsprechenden Informationen (GIN) und verfolgt diese laufend. Er führt regelmässig lokale Beobachtungen durch und intensiviert diese bei sich abzeichnenden Ereignissen (Organisation zusätzlicher Beobachtungen). Er kann die Informationen zur aktuellen Entwicklung der Lage mit Beobachtungen vor Ort und den lokalen Erfahrungen in Verbindung bringen und erkennt, wann er für seine Lagebeurteilung weitere fachliche Unterstützung braucht und kann diese organisieren. Er kann aufgrund seiner Beurteilung der Fachlage die Behörden zeitgerecht warnen und geeignete Massnahmen beantragen.

Grundlagen der Stabsarbeit

Der Naturgefahrenberater kennt Aufbau und Arbeitsweise eines zivilen Führungsorgans und kann die systematische Problemlösung anwenden. Er verfügt über eine Ausbildung als Mitarbeiter eines zivilen Führungsorgans und kann sich in das Gefüge eines Führungsstabes eingliedern.

Sicherheit und Nachbearbeitung

Der Naturgefahrenberater kann nach einem Ereignis rasch die neue Lage beurteilen und erkennt, wann er hierfür fachliche Unterstützung braucht. Er kennt Ziel, Zweck und Anforderungen an die Dokumentation von Ereignissen. kann selbständig Spuren sichern und festhalten beziehungsweise kann dies organisieren. Er kennt die einschlägigen Sicherheitsvorschriften, erkennt die für Personen kritischen Situationen und kann einfache Sicherheitsdispositive aufziehen.

AUSBILDUNGSKONZEPT

Damit die lokalen Naturgefahrenberater ihre Aufgabe optimal wahrnehmen können, sind Kenntnisse über die lokalen beziehungsweise regionalen Besonderheiten im Bereich Naturgefahren notwendig. Sie können diese mit ihren eigenen gemachten Erfahrungen, beispielsweise bezüglich Schwachstellen von hydraulischen Systemen, in die Beratung mit einbeziehen. Sie beschaffen zudem vom Bund und den Kantonen zur Verfügung gestellte Daten, analysieren diese bezogen auf ihre lokalen oder regionalen Bedürfnisse und verarbeiten diese zu Entscheidungsgrundlagen, welche sie den zivilen Führungsorganen und den Einsatzkräften für die Vorbereitung der Ereignisbewältigung, für den Einsatz als auch für die Auswertung des Ereignisses und dessen Bewältigung zukommen lassen. Da der Naturgefahrenberater grundsätzlich nicht als Fachexperte ausgebildet ist, wird dem Aufbau eines entsprechenden Netzwerkes im Bereich der Naturgefahren eine besondere Bedeutung beigemessen. In allen Situationen kann er sich zur persönlichen Fachberatung an die jeweiligen zuständigen kantonalen Stellen wenden.

Den oben erwähnten Tatsachen Rechnung tragend muss die Aus- und Weiterbildung für lokale Naturgefahrenberater entsprechend gestaltet werden. Die im Schweizerischen Bevölkerungsschutz übliche und bewährte Form des „Kaskadenprinzips“ (Figur 5) findet auch im Bereich der Naturgefahrenberater ihre Anwendung. Dabei teilen sich die drei Behördenstufen Bund, Kanton und Gemeinde diese Aufgabe. Ziel ist es, den zukünftigen Naturgefahrenberatern eine Ausbildung anzubieten, welche sich möglichst auf ihre Region beziehungsweise ihr zukünftiges Wirkungsgebiet bezieht. Dazu wird das Fachwissen von Bund und Kantonen auf Kantonsebene zusammengezogen und in Ausbildungsveranstaltungen den zukünftigen Naturgefahrenberatern vermittelt. In kleinen Kantonen werden diese Anlässe zentral durchgeführt. In grösseren Kantonen werden die auszubildenden Naturgefahrenberater in Regionen mit ähnlicher Voraussetzungen bezüglich Naturgefahren unterrichtet. Die Gemeinden beziehungsweise Regionen sind ihrerseits dafür besorgt, dass die ausgebildeten Naturgefahrenberater in die zivilen Führungsorgane integriert werden und die lokalen administrativen und organisatorischen Besonderheiten kennen lernen.

AUFGABENTEILUNG ZWISCHEN BUND, KANTONEN UND GEMEINDEN

Die in der Figur 5 dargestellte Aufgabenteilung zwischen Bund, Kanton und Gemeinde basiert auf der Schweizerischen Gesetzgebung über den Bevölkerungsschutz und den Wasserbau. Darauf abgestützt obliegen den drei Behördenebenen folgende Aufgaben:

Der Bund

- erarbeitet die Inhalte und die Unterlagen zu den einzelnen Ausbildungsmodulen,
- organisiert und führt Aus- und Weiterbildungskurse für die kantonalen Koordinatoren und Ausbilder durch,
- baut zugunsten der Kantone einen Referentenpool auf und bewirtschaftet diesen,
- fördert die Kantone bei der Umsetzung.

Die Kantone

- bezeichnen einen Ausbildungskordinator als Kontaktstelle zum Bund,
- passen die vom Bund zur Verfügung gestellten Unterlagen auf die kantonalen Gegebenheiten an,
- organisieren und führen Aus- und Weiterbildungskurse für die lokalen Naturgefahrenberater durch,
- unterstützen die Gemeinden bei der Umsetzung,
- führen eine Ausbildungskontrolle.

Die Gemeinden/Regionen

- rekrutieren die Naturgefahrenberater mit Unterstützung der Kantone,
- stellen deren Aus- und Weiterbildung sicher,
- integrieren sie in die lokalen beziehungsweise regionalen Führungsorgane.

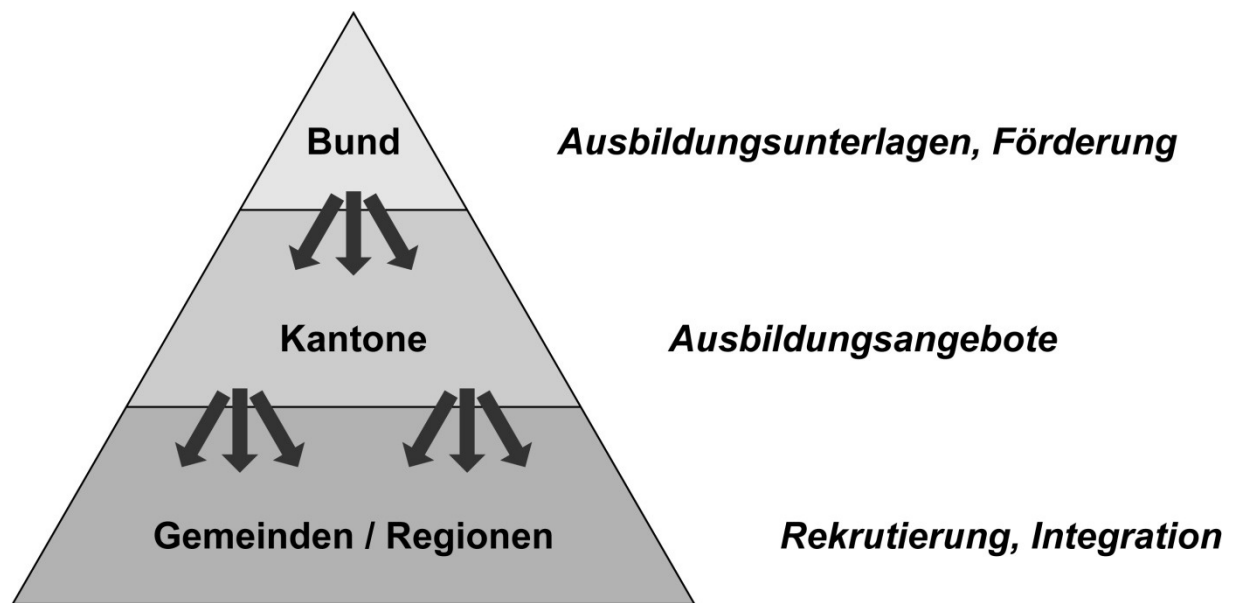


Fig. 5 Zuweisung der Aufgaben bezüglich Ausbildung von lokalen Naturgefahrenberatern für zivile Führungsorgane auf die drei Behördenstufen Bund, Kanton, Gemeinde (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2010).

Fig. 5 Allocation of tasks to the authorities at the federal, cantonal and municipal level concerning the training of local natural hazard advisors for civil staff units (Federal Office for the Environment FOEN, 2010).

AUSBILDUNGSINHALTE

Die Ausbildungsinhalte sind so ausgerichtet, dass der lokale Naturgefahrenberater nach erfolgter Ausbildung den gestellten Aufgaben gemäss Anforderungsprofil gerecht werden kann. Zwölf Ausbildungsmodule sind in sieben Ausbildungsblöcke zusammengefasst.

Der Ausbildungsblock 1 befasst sich mit dem Grundwissen Naturprozesse und umfasst folgende Ausbildungsmodule:

- *Gefährliche Wetterlagen*
wodurch und wie sie sich auszeichnen
- *Hanginstabilitäten*
wenn Regen und Schneeschmelze die Hänge ins Rutschen bringen
- *Abflussbildung*
wie aus den Niederschlägen Hochwasser entsteht
- *Hochwasser*
bestehen nicht aus Wasser allein

Der Ausbildungsblock 2 ist dem Grundwissen Hochwasserschutz gewidmet und besteht aus dem Modul:

- *Gefahrenprozesse und Schutzmassnahmen*
permanente und temporäre Schutzmassnahmen und deren Wirkung
potenzielle Problemstellen und Überlastsituationen

Der Ausbildungsblock 3 besteht aus einem Modul zum Grundwissen Gefahrengrundlagen

- *Gefahrenkarten*
wie sie zustande kommen und was sie zeigen

Der Ausbildungsblock 4 behandelt die Aufgaben in der Vorsorge

- *Notfallplanung*
worauf es ankommt, wenn Schutzbauten nicht mehr ausreichen

Der Ausbildungsblock 5 zeigt die Aufgaben bei der Beurteilung der Fachsituation auf

- *Aktuelle Gefahrensituation*
Prognosen und Beobachtungen:
woher sie kommen und wie man die gewonnene Informationen verarbeitet

Der Ausbildungsblock 6 befasst sich mit dem Modul Grundlagen der Stabsarbeit

- *Einsatz und Ereignisbewältigung*
wie Stäbe und ihre Angehörigen arbeiten

Der Ausbildungsblock 7 besteht aus drei Modulen zum Thema Sicherheit und Nachbearbeitung

- *Erste Gefahrenbeurteilung nach einem Ereignis*
Grundlagen zur Schaffung einer angemessenen minimalen Sicherheit
- *Ereignisdokumentation*
Spurensicherung für die Ereignisanalyse
- *Arbeitssicherheit im Einsatz*
was man bei einem Ereignis darf beziehungsweise unterlassen sollte

STAND DER UMSETZUNG ENDE 2011

In einer ersten Phase wurden Ende 2009 aus dem Ausbildungsblock 1, Grundwissen Naturprozesse die Module Gefährliche Wetterlagen, Abflussbildung und Hochwasser sowie aus dem Ausbildungsblock 5 das Modul aktuelle Gefahrensituation erarbeitet. Im ersten Quartal 2010 konnten in einem Pilotkurs die ersten zwölf Naturgefahrenberater aus der Region des Lyssbachverbands im Berner Seeland ausgebildet werden. Die daraus gezogenen Lehren und Erkenntnisse wurden in die bestehenden Ausbildungsunterlagen integriert.

Mit diesen bereinigten Unterlagen wurden Ende 2010 und Anfang 2011 unter Mitwirken von 22 Kantonen zwei Workshops veranstaltet, mit dem Ziel, die Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen zu definieren. Zwischen diesen beiden Workshops wurden die Kantonsregierungen gebeten, einen Koordinator für die Ausbildung der lokalen Naturgefahrenberater als Kontaktstelle zum Bund zu bezeichnen. Im zweiten Workshop Anfang 2011 konnten die offenen Fragen geklärt werden. So wurde vereinbart, welche Ausbildungsinhalte durch den Bund beziehungsweise durch den Kanton aufzubereiten und/oder zu vermitteln sind, wie und unter welchen Bedingungen die Kantone mit Fördermitteln rechnen können und welche Aus- beziehungsweise Weiterbildung der Bund für die kantonalen Koordinatoren und Ausbilder anbieten soll.

Mitte 2011 fand ein erster Grundkurs für kantonale Koordinatoren und Ausbilder statt. Ziel dieses Anlasses ist es, die Koordinatoren und Ausbilder auf ihre Aufgabe in den Kantonen vorzubereiten. Im Besonderen geht es in den Grundkursen darum, die zu vermittelnden Inhalte kennen zu lernen, den Anpassungsbedarf pro Modul, welches vom Bund zur Verfügung gestellt wird, auf die eigenen kantonalen Bedürfnisse zu erkennen und bereits gemachte Erfahrungen mit den anderen Kursteilnehmern auszutauschen.

Im Jahre 2011 werden die weiteren Module erarbeitet. Ein weiterer Schwerpunkt bildet die Übersetzung der Kursunterlagen in die französische Sprache. 2012 finden weitere Grundkurse für kantonale Koordinatoren und Ausbilder in deutscher und französischer Sprache statt.

ERSTE UMSETZUNG IM PILOTKANTON BERN

Da der Bund mit einer Region aus dem Berner Seeland die erarbeiteten Ausbildungsmodule testete, profitierten die Verantwortlichen des Kantons Bern und führten 2011 bereits vier Grundkurse für lokale Naturgefahrenberater durch. Dabei wurde den topografisch unterschiedlichen Regionen innerhalb des Kantons Rechnung getragen. So wurden die vom Bund zur Verfügung gestellten Module für das alpine Berner Oberland, das Voralpengebiet, das hügelige Mittelland und das flache Seeland unterschiedlich angepasst. Damit konnten sich die Kursteilnehmer optimal auf ihre topografischen Besonderheiten in Bezug auf die für ihre Region charakteristischen Naturgefahren vorbereiten. Mit ihren etablierten Lawinenwarndiensten in den gebirgigen Regionen können die Naturgefahrenberater teilweise auf bereits bestehende Strukturen zurückgreifen.

Für die Jahre 2012 und folgende haben bereits weitere Kantone die Durchführung von Veranstaltungen im Bezug auf die Ausbildung von lokalen Naturgefahrenberatern angekündigt.

REFERENZEN

- Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS (2003). Kreislauf des integralen Risikomanagements (<http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/themen/gefaehrdungen-risiken.html>, abgefragt am 10.01.2012).
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS (2007). Optimierung von Warnung und Alarmierung. Schlussbericht in Erfüllung des VBS-Auftrages 1/53 vom 1. November 2005, Bern. (<https://www.naz.ch/de/downloads/owarna-D.pdf>, abgefragt am 10.01.2012).
- Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) (2007). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707. 215 S. (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00044/index.html?lang=de>, abgefragt am 10.01.2012)
- Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S. (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00100/index.html?lang=de>, abgefragt am 10.01.2012).
- Bezzola G.R., Ruf W. (Ed.) (2009). Ereignisanalyse Hochwasser August 2007. Analyse der Meteor- und Abflussvorhersagen; vertiefte Analyse der Hochwasserregulierung der Jurarandgewässer. Umwelt-Wissen Nr. 0927. Bundesamt für Umwelt, Bern: 209 S. (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01073/index.html?lang=de>, abgefragt am 10.01.2012).
- Heil B., Petzold I., Romang H., Hess J. (2010). The common information platform for natural hazards in Switzerland. Natural Hazards (7 September 2010), pp. 1-15-15. doi:10.1007/s11069-010-9606-6
- Schweizerischer Bundesrat (2001). Leitbild Bevölkerungsschutz. Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung über die Konzeption des Bevölkerungsschutzes, Bern. (http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/dokumente/leitbild_bevoelkerungsschutz.parsys.0001.downloadList.67920.DownloadFile.tmp/leitbildbevoelkerungsschutzd.pdf, abgefragt am 10.01.2012).
- Schweizerische Eidgenossenschaft (2010). Optimierung der Warnung und Alarmierung OWARNA, Folgebericht mit Anträgen an den Bundesrat, Bern. (<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=33232>, abgefragt am 10.01.2012).

QUANTITATIVE VULNERABILITY FUNCTIONS FOR USE IN MOUNTAIN HAZARD RISK MANAGEMENT

THE CHALLENGE OF TRANSFER

Sven Fuchs¹, Ting-Chi Tsao² and Margreth Keiler³

ABSTRACT

In natural hazards research, risk is defined as a function of (1) the probability of occurrence of a hazardous process, and (2) the assessment of the related extent of damage, defined by the value of elements at risk exposed and their physical vulnerability. Until now, various works have been undertaken to determine vulnerability values for objects exposed to torrent processes. Yet, many studies only provide rough estimates for vulnerability values based on proxies for process intensities. However, the deduced vulnerability functions proposed in the literature show a high range, in particular with respect to medium and high process intensities. In our study, we compare vulnerability functions for torrent processes derived from studies in test sites located in the Austrian Alps and in Taiwan. Based on this comparison we address challenges for future research in order to enhance mountain hazard risk management with a particular focus on vulnerability on a catchment scale.

Keywords: Vulnerability, torrents, risk management, loss, Taiwan, Austria

INTRODUCTION

Major losses (world-wide, Keiler in press, as well as on the European level, Hübl et al. 2011) in mountain areas are associated with torrent events. The term torrent refers to steep rivers within a mountainous environment. Torrents are defined as constantly or temporarily flowing watercourses with strongly changing perennial or intermittent discharge and flow conditions (Aulitzky 1980; ONR 2009), originating within small catchment areas (Slaymaker 1988). At the outlet of these watersheds, torrent fans are developed which are used for settlement purpose since the beginning of the historical colonisation and commodification of the landscape. Therefore, torrent events are a main challenge for society in many countries, in particular due to the spatial overlap of these settlements with the potential deposition area in periods of extraordinary discharge.

The concept of risk has been introduced in natural hazard management since experiences from past years suggested that elements at risk and vulnerability should be increasingly considered within the framework of hazard management in order to reduce losses (e.g., Commission of the European Communities 2007; International Standards Organisation 2009). Following the axiom that natural hazard risk is a function of hazard and consequences, the ability to determine vulnerability quantitatively is an essential prerequisite for reducing these consequences and therefore natural hazard risk.

However, the review of the concept of risk for mountain areas resulted in gaps concerning appropriate tools for the assessment of vulnerability of elements at risk and of communities exposed (Papathoma-Köhle et al. 2011). To overcome these shortcomings, studies on vulnerability have been undertaken aiming at (1) the methodological development of loss functions with respect to buildings located in the run-out areas of torrent processes (Fuchs et al. 2007; Akbas et al. 2009; Tsao et al. 2010; Quan Luna et al. 2011; Totschnig et al. 2011); and (2) the conceptualisation of an overarching vulnerability

¹ Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria (e-mail: sven.fuchs@boku.ac.at)

² Ting-Chi Tsao, MSc. Sinotech Engineering Consultants Inc., Taipei, Taiwan (e-mail: tctsa@sinotech.org.tw)

³ Dr. Margreth Keiler. Institute of Geography, University of Bern, Switzerland (e-mail: margreth.keiler@giub.unibe.ch)

model including structural, economic, social and institutional vulnerability (Fuchs 2009). Apart from Tsao et al. (2010), whose work was related on the mountain areas of Taiwan (Republic of China), these studies were all focused on the quantification of vulnerability in the context of the European Alps. With the exception of Quana Luna et al. (2011), who used a numerical debris flow model to obtain vulnerability curves, these studies were rooted in an ex-post assessment of the event magnitude or intensity, the height of loss and the reinstatement value of the buildings at risk in order to obtain a damage ratio. By combining these three factors, vulnerability curves were deduced for both, debris flows (Fuchs et al. 2007; Akbas et al. 2009; Tsao et al. 2010) and fluvial sediment transport (Totschnig et al. 2011).

When comparing the results of those studies undertaken in the European Alps with the data assessed in Taiwan, considerable differences and methodological issues arise even if the authors claimed a universal applicability of their studies on mountain areas with a comparable environment. These aspects will be discussed in the following sections in order to provide an outlook of the challenges that come up when a method developed within the specific setting in one mountain region is transferred to another region of the world with a slightly different setting. The aim is to highlight possible pitfalls and shortcomings in order to contribute to the ongoing discussion on vulnerability to torrent events in mountain areas; therefore, (1) possible aspects of physical vulnerability will be discussed but also (2) the wider implications with respect to social vulnerability.

METHOD: QUANTIFICATION OF VULNERABILITY

The assessment of vulnerability requires an ability to both identify and understand the susceptibility of elements at risk and – in a broader sense – of the society to these hazards (Birkmann 2006). Studies related to vulnerability of human and natural systems to mountain hazards, and of the ability of these systems to adapt to changes in the functional chain of hazards, are a relatively recent field of research that brings together experts from a wide range of disciplines, including natural science, social science, disaster management, policy development and economics, to name only a few. Researchers from these fields bring their own conceptual models to study vulnerability and adaptation, models which often address similar problems and processes using different languages (Brooks 2003). However, apart from the overall discussion on linguistic placements and semantic dimensions of the term (Cutter 1996, 2003; Alexander 2005), vulnerability in the context of mountain natural hazards is, from a practitioner's side, such as the *Austrian Torrent and Avalanche Control Service* or the *Soil and Water Conservation Bureau* in Taiwan, usually defined as the physical impact of hazardous events on elements at risk. Accordingly, if quantitatively assessed, vulnerability is defined as the expected degree of loss for an element at risk due to the impact of a defined hazardous event within a defined period of time and a defined location. These events are themselves conditioned by a certain intensity, frequency and duration, all of which affect vulnerability. From this technical point of view, as a general rule, vulnerability assessment is based on the evaluation of parameters and factors such as building categories or types, construction materials and techniques, state of maintenance, presence of protection structures, and presence of warning systems (Fell et al. 2008). Nevertheless, many of these factors are usually not assessed, above all due to limitations in the assessment method and due to practical limitations of feasibility (Kappes et al. 2012). For this reason, vulnerability values are used to describe the susceptibility of elements at risk to damage, which is conceptualised by a damage ratio between loss and the value of affected elements at risk, facing different process types with different spatial and temporal distributions of process intensities (e.g., flow depths, accumulation heights, flow velocities and pressures).

The overall framework of the method applied is outlined in Fig. 1. The damage ratio is quantified using an economic approach by establishing a ratio between the loss and the reconstruction value of every individual element at risk exposed, if data on incurring losses is available (Austrian case study, compare Fuchs et al. 2007). Alternatively, a synthetic approach of loss assessment may be used by using e.g. averaged damage values empirically derived (Taiwanese case study, compare Lo et al. in press). In a second set of calculations, this ratio obtained for every individual element at risk is linked to the respective process intensities which are regularly documented ex-post by the respective authorities or their subcontractors. Otherwise, if such data is not available, process intensities may

result from modelling approaches. For such assessment information on the elements at risk exposed on the individual torrent fans is necessary, as well as data on the process intensities for the particular hazardous events. As a result, scatterplots can be developed linking process intensities to object vulnerability values (Fuchs et al. 2007). These data can be analysed using regression approaches in order to develop vulnerability functions which serve as a proxy for the structural resistance of buildings with respect to fluvial sediment transport processes or debris flows on the studied torrent fans.

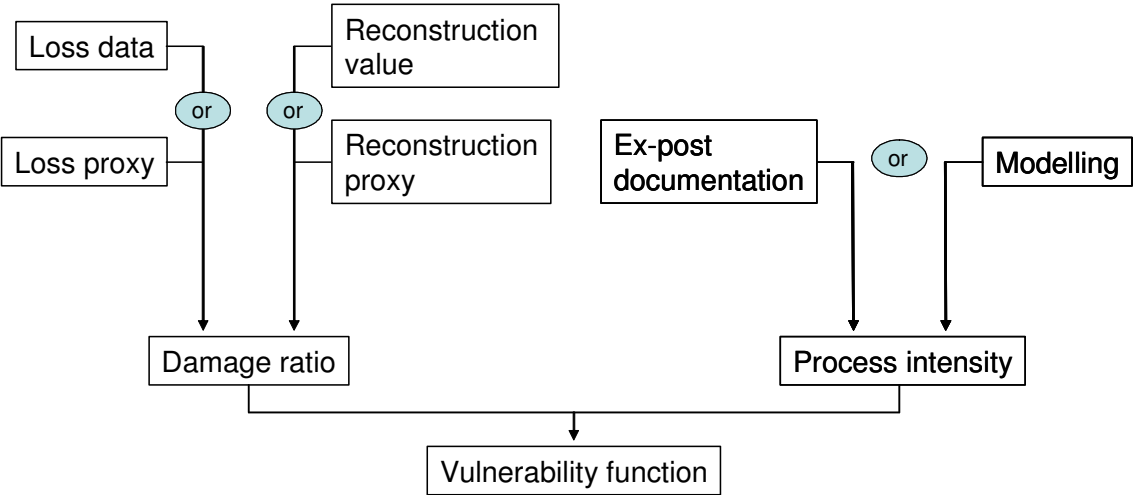


Fig. 1 Framework for the deduction of vulnerability functions for torrent events.

RESULTS FROM AUSTRIAN TEST SITES

Taking fluvial sediment transport as an example, Totschnig et al. (2011) presented a vulnerability function which was deduced from three well-documented events in the Austrian Alps. These events were triggered by extraordinary rainfall events and characterised by the mobilisation of high amounts of bedload leading to considerable damage to the settlements located on the torrent fans (Fuchs et al. in press). In total, 116 buildings were damaged in the three test sites, 67 of which were residential buildings and included in their study. The total damage of the considered houses amounted to approximately € 5.5 million while the individual loss was between € 438 and € 828,240. Because of different building sizes, the reconstruction values showed a wide range from about € 221,000 to € 1.34 million. These variations lead to individual vulnerabilities ranging from 0.001 to 1.0, whereas the mean vulnerability per exposed building was equal to 0.168. In Tab. 1, damage and property values, the range of vulnerability, and the mean vulnerability per exposed residential building for the individual test sites is shown.

Tab. 1 Number of buildings included in the study, reported loss, property value, range of vulnerability, and mean vulnerability for each test site in the Austrian Alps.

Test site (event)	Number of buildings [N]	Reported loss [€]	Property value [€]	Range in vulnerability	Mean vulnerability
Stubenbach (2005)	28	4,851,800	13,483,267	0.013-1.000	0.369
Schnannerbach (2005)	10	403,700	6,444,471	0.005-0.131	0.045
Vorderbergerbach (2003)	29	260,509	17,629,091	0.001-0.045	0.015

In Fig. 2 the resulting vulnerability curve is shown, based on absolute deposition heights as a proxy for process intensities in the affected area. The process intensity is plotted on the abscissa and the damage ratio is plotted on the ordinate. In general, vulnerability increases with increasing intensity. For low process intensities ($I < 1$ m) all distributions show a slow increase in vulnerability. For medium process intensities ($1 \text{ m} \leq I \leq 2.5$ m) the highest rate of increase in vulnerability is observed, following an almost linear shape. For high process intensities ($I > 2.5$ m) the observed rate of increase in vulnerability again decreases and the curves converge towards 1. Due to these specific shapes, the

effect of an increase in process intensity is different in all three sections of these curves; an increase in process intensity of 0.5 m causes as such more additional damage at medium process intensities if compared to low and high intensities. For the process intensity of 1.0 m to 1.5 m, the statistical spread of the vulnerability values is considerable, which can be attributed to a possible intrusion of material through building openings (Fuchs et al. 2007). The best-fitting function to describe the range in the analysed data (highest value of utility) is a modified Weibull distribution (Totschnig et al. 2011), which is highlighted in Fig. 2 by a bold graph.

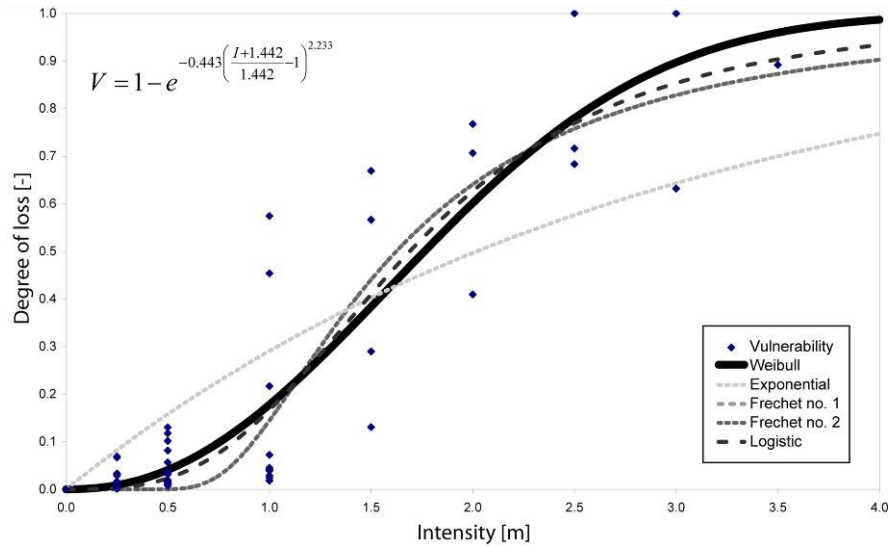


Fig. 2 Different vulnerability functions for residential buildings based on deposition height as a proxy for the process intensity. Vulnerability values originating from the study sites are indicated by dots. The best-fitting function to describe the range in the analysed data (highest value of utility; Weibull) is highlighted in bold, and is provided in terms of the mathematical notation (V = degree of loss, I = intensity, modified from Totschnig et al., 2011).

Physical susceptibility of elements at risk and thus vulnerability is strongly dependent on the construction material used. The developed vulnerability function is applicable to buildings which are constructed by using brick masonry and concrete, a typical design in post-1950s building craft in Alpine countries. Consequently, the adjusted function is applicable to this mixed construction type.

RESULTS FROM TEST SITES IN TAIWAN

Data from six counties were used in order to apply the method in mountain areas of Taiwan, almost all of them from torrent events that occurred as a result from one typhoon event. On 7 August 2009, typhoon Morakot hit Taiwan, resulting in more than 600 dead and approximately 70 missing persons, a temporary evacuation of almost 25,000 residents, and around € 3.6 billion economic loss (Central Emergency Operation Center 2009). For 39 buildings, the process intensity and the loss was recorded after the event with sufficient accuracy, these buildings with a damage ratio between 0.05 and 1.0 were included in our analysis (Tab. 2).

Tab. 2 Construction material, number of buildings considered, range in process intensity, range of vulnerability, and mean vulnerability for each construction type in the test sites in Taiwan.

Construction material	Number of buildings [N]	Range in process intensity [m]	Range in vulnerability	Mean vulnerability
Wood	3	1.0-3.0	-	1.00
Sheet metal	4	1.0-2.0	0.05-1.00	0.76
Brick	16	1.0-3.5	0.05-1.00	0.71
Reinforced brick	10	1.5-4.0	0.10-1.00	0.63
Reinforced concrete	6	1.6-5.0	0.20-1.00	0.73

The best fitting function was again a Weibull function, however, with a very low coefficient of determination ($R^2 = 0.172$). This is due to the wide range in process intensities observed (1.0-5.0 m),

which are clearly above intensities usually observed in European mountain regions. As a result, the mean vulnerability is also considerably higher than the mean values reported in Tab. 1 for the Austrian test sites. To give an example, four out of six buildings composed from reinforced concrete were affected a process intensities between 3.0 m and 5.0 m which obviously results in a high degree of loss and therefore also in a comparatively high mean vulnerability. Moreover, the study involved buildings with different construction material used, and therefore the resistance towards the impact of torrent processes is considerably different.

During the field work, 13 buildings were assessed with a process intensity between 1.0 and 2.0 m and a damage ratio of 100 %, which seems to be high compared to data presented for the European Alps (due to overlap only six data points are visible in Fig. 3). These buildings were composed from brick (7 buildings), wood (2 buildings), sheet-metal (3 buildings) and reinforced concrete (1 building). Only if these 13 buildings were excluded from the analysis, the Weibull function followed a similar shape as for the Austrian case study (Fig. 3), and the coefficient of determination was reasonable ($R^2 = 0.739$). Apparently, this is not the aim of a statistical treatment of data, since the exclusion of nearly one third of data from the population leads to considerable biases, and restricts the overall explanatory power.

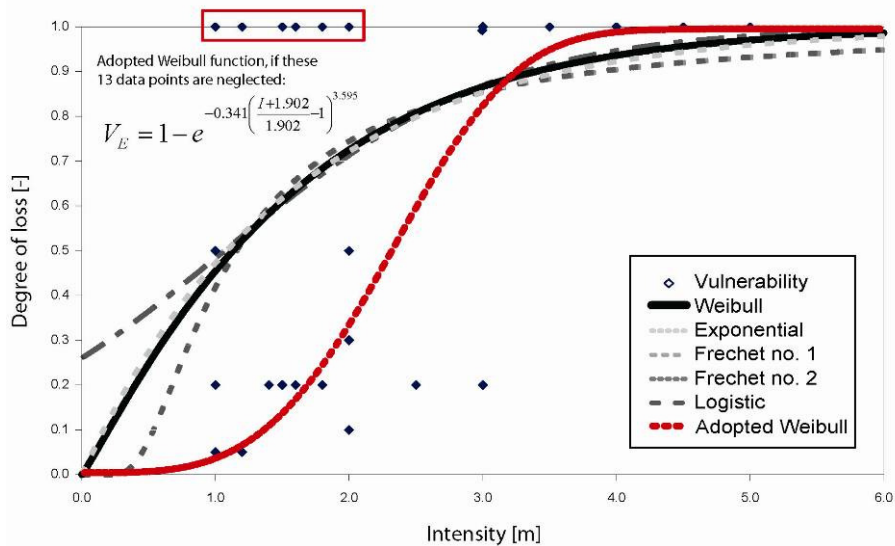


Fig. 3 Different vulnerability functions for buildings based on deposition height as a proxy for the process intensity. Vulnerability values originating from the study sites are indicated by dots. The best-fitting function to describe the range in the analysed data (highest value of utility; Weibull) is highlighted in bold. Since between 1.0 and 2.0 m process intensity, 13 buildings were assessed with a damage ratio of 1.0, the best fitting approach did not result in reasonable outcomes. If these data points were neglected in the statistical treatment, an adopted Weibull function results and is provided in terms of the mathematical notation (V = degree of loss, I = intensity).

DISCUSSION: LIMITATIONS OF TRANSFER

The application of a method developed in the context of the European Alps to another mountain environment clearly has some limitations.

- (1) The first shortcoming is that in environments affected by tropical cyclones much higher rainfall intensities are observed than in regions characterised by a warm-temperate maritime and continental climate sensu Lauer and Frankenberg (1988). As a result, the triggered torrent magnitudes and intensities are much higher.
- (2) Secondly, unlimited sediment supply – amplified by a multi-hazard situation such as translational landsliding of the slopes in the upper part of the torrent catchments (Kappes et al. 2010), which leads to a temporal channel blocking and a subsequent erosion with a high flood hydrograph (Chen et al. 2004) – may result in process patterns other than those observed in the European Alps so far.



Fig. 4 Typical damage patterns for buildings affected by torrent processes in Taiwan (top) and Austria (bottom). Upper left: Songhe community, Taiwan, event of August 2004, upper right: Min-Zu community, Taiwan, event of August 2009, lower left: Pfunds community, Austria, event of August 2005, lower right: Wartschensiedlung village, event of August 1997. Credits: upper left: S. Fuchs (27 August 2011), upper right: S. Fuchs (28 August 2011), lower left: Gebietsbauleitung 6.2 (23 August 2005), lower right: anonymous (event of 16 August 1997).

Putting these two aspects in a broader context, the application of the concept of frequency and magnitude to different mountain environments may be the explanation for these different system behaviours in Austria and Taiwan: Each process has internal threshold values or external trigger values at which the process becomes effective and is initiated, and sediment transport and landform change is mobilised (Brunsdon 2002). Since the work of Melton (1958) there have been many attempts to predict the frequency or magnitude of torrent processes based on basin variables (Johnson et al. 1991) in combination with geomorphic indicators (Jakob and Jordan 2001). Traditional approaches to determining frequency and magnitude have centred on fluvial processes (Wolman and Miller 1960) and have dealt with frequency in terms of discrete hydrological events and magnitude by measures of volume or mass of water and sediment associated with those events. They assume a direct relationship between the hydrological processes and the geomorphic response, such as the capacity of the water body to entrain and transport a certain amount of sediment in dependence of the exerted shear stress (combination of flow velocity and flow depth) and the grain size (Hjulstöm 1935). Therefore, these approaches have been empirically applied to a wide spectrum of geomorphic processes in recent decades (see e.g., Crozier and Glade 1999). With respect to torrent processes, such a frequency-magnitude approach (1) provides the rationale for extrapolating short-term measurements of episodic processes over longer periods, and (2) allows at a first glance the statistical identification of the most relevant work force operating within a system, thereby providing a key variable for

predicting other system qualities (Crozier 1999) such as vulnerability. Nevertheless, multi-hazard patterns – understood in terms of a hazard chain such as landsliding and subsequent channel blocking within a catchment – are not a priori identifiable with such an approach.

Focusing on the elements at risk exposed damage patterns observed vary considerably. Even if building materials used and construction techniques differ between the two case studies, buildings in Taiwan and in Austria are regularly filled with debris material which penetrated through building openings and damaged outer walls (Fig. 4). While in Taiwan these buildings are either reinforced brick based on a concrete frame or reinforced concrete (16 out of 39 studied buildings), often due to the earthquake-resistance building codes, the typical alpine building style is dominated by brick masonry and concrete baseplates. As a result, given the same impact pressure the buildings in Austria would collapse while the buildings in Taiwan still resist even if an economic total loss is evident, as shown in Fig. 4, upper right. In Taiwan buildings are regularly heavily damaged (damage ratio > 50 %, 25 out of 39 buildings), while in Austria only few buildings are a total loss (Totschnig et al. 2011). These differences are again a result of different impact towards elements at risk exposed, resulting from different process characteristics.

With respect to the losses recorded, some issues arise for a transfer of the method. In the Austrian case studies, loss data was collected using information derived from the individual administrative bodies on the Federal State level. Professional damage appraisers of these administrative bodies estimated the loss of any individual element at risk in monetary terms on an object level. Losses which can be attributed to the building envelope only were identified and prepared for the subsequent analysis. These monetary loss assessments were applied within this study for the calculation of the damage ratio of every individual element at risk, defined by the ratio between loss and reconstruction value. Principally the case studies in Taiwan were assessed similarly, however, if the claimant received compensation in terms of an alternative building supplied by the governmental administration, by public social aid or relief organisations, the loss ratio of the damaged building mandatory had to be assessed with 1.0 since a further economic use of the (partly) damaged structure is not allowed. This regulation necessarily leads to some biases during the economic assessment of the loss ratio, such as for the building shown in Fig 4, upper left: Even if the accumulated debris could be removed from the interior, and even if serious structural damage was not reported, the building had to be abundant and therefore the loss ratio equals the construction costs of the building. In contrast, if the claimant is not supplied with a new building in an alternative location, the governmental compensation in Taiwan is a lump sum independent from the damage height, while losses in Austria (if they are compensated, compare the discussion in Holub and Fuchs 2009) are in relation to the actual amount of damage.

CONCLUSION: FUTURE CHALLENGES

Two particular challenges were identified during the comparison of case studies carried out in Austria and in Taiwan. Firstly, event documentation is a requirement to precisely identify process patterns and to provide an accurate input into hazard modelling. Secondly, a legally prescribed land-use planning and associated building regulation are inevitably necessary if future losses due to torrent events should be reduced.

- (1) The fact that vulnerability is hazard-dependant should not be ignored (Papathoma-Köhle et al. 2011). Information regarding the properties of the hazardous phenomenon should be collected as well as information regarding the impact of past events on the built environment. Standardised event documentation is crucial which has been comprehensively discussed in the framework of the DIS-ALP project (Berger et al. 2007). Moreover, the vulnerability assessment method differs with the type of disaster and therefore, characteristics regarding its frequency and magnitude should be taken into consideration. For hazard analysis, the frequency of a torrent event may be described by several probability concepts and in different ways, such as the probability of the main triggering mechanism (e.g., recurrence interval of meteorological phenomena), or the probability to reach a defined point during run-out in the deposition area. The determination of frequency must be accompanied by an estimation of magnitude for the potential event, which is a matter of scale. Therefore, it is necessary to

explicitly define which probability value is used in the set of calculations. Several methods have been proposed to estimate the likelihood of debris flow occurrence in a particular torrent catchment (e.g., Nakamura 1980; Rickenmann and Zimmermann 1993; VanDine 1985). However, there are no rigorous methods that allow a strict determination of an exact probability or magnitude for any torrential process so far, neither based on physically measured characteristics of a catchment nor based on statistical analyses. The information available on past torrential events is often the most reliable indication (Rickenmann 1999). Therefore, a sound multi-scale event documentation on the catchment level, but also on the level of individual elements at risk exposed, is desirable, and is a particular challenge with respect to climate change (Keiler et al. 2010) and multi-hazard analyses (Kappes et al. 2012).

- (2) Legislation related to natural hazards is diverse in both countries studied. Due to the federal structure of the Republic of Austria, several articles at federal level are supplemented by various regulations on the level of the Federal States and even below at community level, in particular with respect to land use planning (Holub and Fuchs 2009). In Taiwan, the Disaster Prevention and Protection Act was issued in the year 2000. However, this act is less focused on regional development and land use planning than the Austrian regulations, it is rather centred on disaster response and recovery responsibilities of governmental agencies. A regulation or ordinance related to land development and land use zoning on a national scale is under development for almost two decades. On a regional scale, the Geology Act recently put into force regulates some development restrictions with respect to natural hazards, however, the enforcement with respect to hazard mapping and zoning will still take some years for a comprehensive implementation. Land use planning activities such as hazard maps are based on the concept of recurrence intervals of hazard processes. Since the hazard potential and thus the delimitation of hazard zones is subject to temporal changes, the resulting coping strategies in order to minimise risk have to be variable. From the point of view of spatial planning dealing with such changes is of particular difficulty since the required stability of the law restricts short-term modifications in land use planning regulations to a minimum. In particular building bans and re-zoning of already permitted land development activities remain an unsolved task since once enacted and approved by the regulatory authority additional prescriptions or prohibitions could hardly be accomplished. Hence, the overlap between hazard areas and areas used for settlement purpose and economic activities increasingly provokes conflicts of interest that need to be addressed in natural hazard risk management. Nevertheless, due diligence as legal obligation resulting in usage limitations and prohibitions executed during the individual construction process is inevitable, in particular with respect to the prescription of local structural protection.

WIDER IMPLICATIONS

Given the sharp rise in studies related to the quantification of vulnerability for buildings exposed to torrent processes (Fuchs et al. 2007; Akbas et al. 2009; Tsao et al. 2010; Quan Luna et al. 2011; Totschnig et al. 2011), a comparative analysis of data still remains vaguely proposed and fragmentary (see also Papatoma-Köhle et al., this volume). This is even more surprising if the limited amount of data, which is repeatedly stated in the conclusion sections of the above-cited papers, is taken into consideration. Within our study we combined data from Austrian test sites and data from Taiwan torrent fans in order to analyse similarities and differences with respect to the damage ratio and the process intensity. Moreover, methodological shortcomings and avoidable pitfalls were identified and discussed, aiming at a better applicability of the method and an in-depth understanding of vulnerability beyond economic quotients.

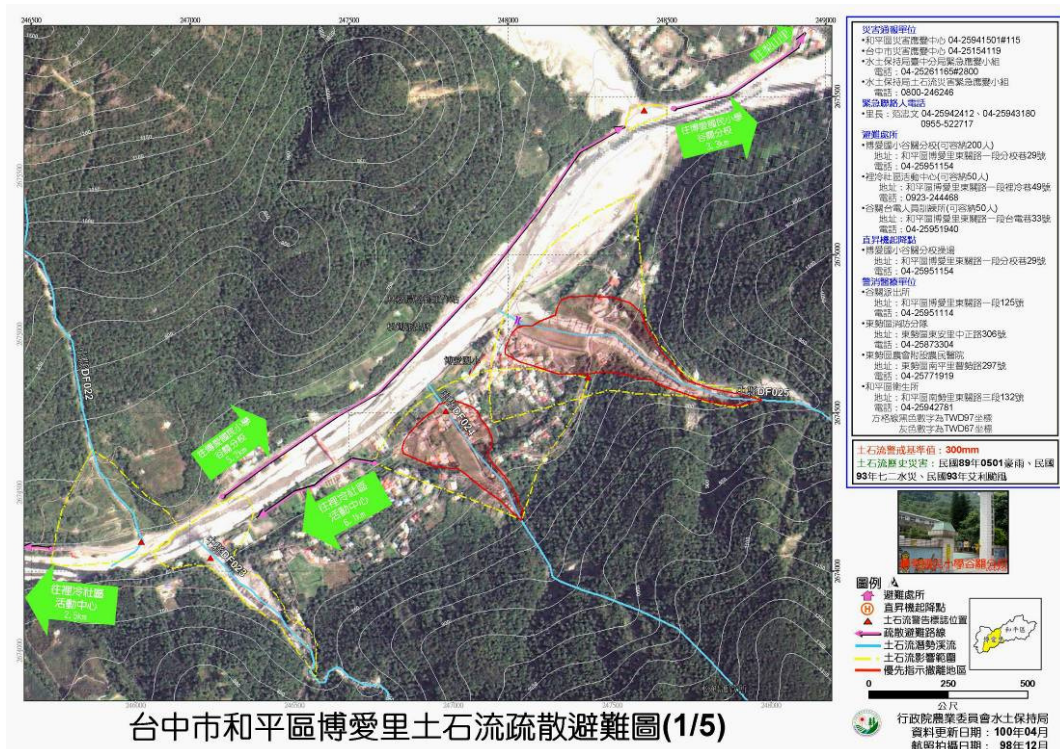


Fig. 5 Debris flow evacuation map for the Songhe community, Taiwan. Source: <http://246eng.swcb.gov.tw/debrispage/refugeimg.asp>, accessed 01 October 2011.



Fig. 6 Monitoring station of Qiang-Huang-Keng, catchment no. Tainan DF 048, Taiwan. Source: <http://246eng.swcb.gov.tw/information/monitoringstations.aspx>, accessed 01 October 2011.

Future needs concerning vulnerability research might include the temporal changes in vulnerability to natural hazards. During the past decades, European mountain regions as well as Taiwan experienced major transformations in population size, economic conditions, social characteristics and development patterns. As a result of this evolution in socio-economic activity, and an associated relative increase of

individual assets, vulnerability might have changed considerably (Fuchs et al. 2005; Keiler et al. 2006). To improve natural hazard risk management, these changes should be quantified according to arising institutional, economic, and social implications.

Apart from such academic concerns, methods to reduce vulnerability to natural hazards may include innovative approaches of risk sharing, as discussed in Holub and Fuchs (2009). These approaches are pillared by a mandatory insurance system against natural hazards, based on premiums which are commensurate with the risk. Thereby, legislation, loss compensation, and risk transfer are accompanied by the overall aim to increase risk awareness and to implement a sustainable and long-term land use planning. In order to achieve this goal, information on hazard and risk at a specific location should be communicated in a target-oriented way to the stakeholders involved in order to create risk awareness and to provide incentives for vulnerability-reducing behaviour. So far, in European mountain regions the focus is more on loss compensation, while in Taiwan the emphasis is put on evacuation. Therefore, in Taiwan evacuation maps and procedures are publicly available (Fig. 5), and real-time information disaster prevention information is available online for major catchments (Fig. 6), while in Austria such information is not yet available. It has been shown by Fuchs et al. (2009) how standardised guidelines for the visual representation of risk could be used to improve the dissemination of information accordingly. As a result, overall vulnerability to mountain hazards may decrease in the future.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors kindly acknowledge the financial support of the following institutions: The Austrian Science Fund (FWF: contract L535-N10) for supporting the analyses in the Austrian test sites, the European Union (7th Framework Programme, MOVE project: contract 211590) for insights gained with respect to the situation in the European Alps, and the Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan, for supporting the field work in Taiwan. Moreover, S. F. and M. K. kindly would like to thank the staff of the Geotechnical Engineering Research Centre, Sinotech Engineering Consultants, Taipei, Taiwan, for their warm hospitality and the inspiring discussions.

REFERENCES

- Akbas S.O., Blahut J., Sterlacchini S. (2009). Critical assessment of existing physical vulnerability estimation approaches for debris flows. In: Malet J., Remaître A., Bogaard T. (eds). *Landslide processes: from geomorphological mapping to dynamic modelling*. CERG Editions, Strasbourg, 229-233.
- Alexander D. (2005). Vulnerability to landslides. In: Glade T., Anderson M., Crozier M. (eds). *Landslide hazard and risk*. John Wiley & Sons, Chichester, 175-198.
- Aulitzky H. (1980). Preliminary two-fold classification of torrents. In: Aulitzky, H., Grubinger, H., Nemecek, E. (eds). *International Symposium Interpraevent – Bad Ischl*. Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt, 285-310.
- Berger E., Grisotto S., Hübl J., Kienholz H., Kollarits S., Leber D., Loipersberger A., Marchi L., Mazzorana B., Moser M., Nössing T., Riedler S., Scheidl C., Schmid F., Schnetzer I., Siegel H., Volk G. (2007). *DIS-ALP. Disaster information system of alpine regions. Final report*. www.dis-alp.org/modules/UpDownload/store_folder/DIS_ALP_final_report_v1_0.pdf, access 01 October 2011.
- Birkmann J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. In: Birkmann J. (ed). *Measuring vulnerability to natural hazards*. United Nations University Press, Tokyo, 9-54.
- Brooks N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38.
- Brunsdon D. (2002). Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into an old game. *Quarterly Journal of Engineering Geology Hydrogeology* 35, 101-142.
- Central Emergency Operation Center (2009). *Typhoon Morakot disaster responses reports from typhoon Morakot Central Emergency Operating Center 74th report*. www.nfa.gov.tw/upload/content/2009/20090909/2009998323063.pdf, access 01 October 2011.

- Chen C.-Y., Chen T.-C., Yu F.-C., Hung F.-Y. (2004). A landslide dam breach induced debris flow - a case study on downstream hazard areas delineation. *Environmental Geology* 47, 91-101.
- Commission of the European Communities (2007). Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of floods. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:en:pdf>, access 01 October 2011.
- Crozier M. (1999). The frequency and magnitude of geomorphic processes and landform behaviour. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.-Bd.* 115, 35-50.
- Crozier M., Glade T. (1999). Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.-Bd.* 115, 141-155.
- Cutter S. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20, 529-539.
- Cutter S. (2003). The vulnerability of science and the science of vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers* 93, 1-12.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102, 85-98.
- Fuchs S. (2009). Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria – Paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9, 337-352.
- Fuchs S., Heiss K., Hübl J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7, 495-506.
- Fuchs S., Keiler M., Zischg A., Bründl M. (2005). The long-term development of avalanche risk in settlements considering the temporal variability of damage potential. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, 893-901.
- Fuchs S., Ornetsmüller C., Totschnig R. (in press). Spatial scan statistics in vulnerability assessment – an application to mountain hazards. *Natural Hazards*.
- Fuchs S., Spachinger K., Dorner W., Rochman J., Serrhini K. (2009). Evaluating cartographic design in flood risk mapping. *Environmental Hazards* 8, 52-70.
- Hjulstöm F. (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute* 25, 221-527.
- Holub M., Fuchs S. (2009). Mitigating mountain hazards in Austria – Legislation, risk transfer, and awareness building. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9, 523-537.
- Hübl J., Fuchs S., Sitter F., Totschnig R. (2011). Towards a frequency-magnitude relationship for torrent events in Austria. In: Genevois R., Hamilton D., Prestininzi A. (eds). *Proceedings of the 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*. Casa Editrice Università La Sapienza, Padova, 895-902.
- International Standards Organisation (2009). ISO 31000:2009, Risk management – Principles and guidelines. ISO, Geneva.
- Jakob M., Jordan P. (2001). Design flood estimates in mountain streams – the need for a geomorphic approach. *Canadian Journal of Civil Engineering* 28, 425-439.
- Johnson P., McCuen R., Hromadka T. (1991). Magnitude and frequency of debris flows. *Journal of Hydrology* 123, 68-82.
- Kappes M., Keiler M., Glade T. (2010). From Single- to Multi-Hazard Risk Analyses: a concept addressing emerging challenges. In: Malet J.-P., Glade T., Casagli N. (eds). *Mountain risks: bringing science to society*. CERG, Strasbourg, 351-356.
- Kappes M., Papathoma-Köhle M., Keiler M. (2012). Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography* 32, 577-590.
- Keiler M. (in press) World-wide trends in natural disasters. In: Bobrowski P. (ed). *Encyclopedia of natural hazards*. Springer, Dordrecht.
- Keiler M., Knight J., Harrison S. (2010). Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 368, 2461-2479.
- Keiler M., Sailer R., Jörg P., Weber C., Fuchs S., Zischg A., Sauermoser S. (2006). Avalanche risk assessment – a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 637-651.
- Lauer W., Frankenberg P. (1988). Klimaklassifikation der Erde. *Geographische Rundschau* 40, 55-59.

- Lo W.-C., Tsao T.-C., Hsu C.-H. (in press). Building vulnerability to debris flows in Taiwan – a preliminary study. *Natural Hazards*.
- Melton M. (1958). Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology* 66, 442-460.
- Nakamura J. (1980). Investigation manual on prediction of occurrence of Dosekiryu [debris flows], delineation of dangerous zone affected by Dosekiryu and arrangement of warning and evacuation system in mountain torrents in Japan. In: In: Aulitzky, H., Grubinger, H., Nemecek, E. (eds). *International Symposium Interpraevent – Bad Ischl. Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt*, 41-81.
- ONR (2009). *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. ONR 24800. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.*
- Papathoma-Köhle M., Kappes M., Keiler M., Glade T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards* 58, 645-680.
- Quan Luna B., Blahut J., van Westen C., Sterlacchini S., van Asch T., Akbas S. (2011). The application of numerical debris flow modelling for the generation of physical vulnerability curves. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 2047-2060.
- Rickenmann D. (1999). Empirical relationships for debris flows. *Natural Hazards* 19, 47-77.
- Rickenmann D., Zimmermann M. (1993). The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. *Geomorphology* 8, 175-189.
- Slaymaker O. (1988) The distinctive attributes of debris torrents. *Hydrological Sciences Journal* 33, 567-573.
- Totschnig R., Sedlacek W., Fuchs S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. *Natural Hazards* 58, 681-703.
- Tsao T.-C., Hsu W.-K., Cheng C.-T., Lo W.-C., Chen C.-Y., Chang Y.-L., Ju J.-P. (2010). A preliminary study of debris flow risk estimation and management in Taiwan. In: Chen S.-C. (ed). *Internationales Symposium Interpraevent in the Pacific Rim – Taipei (26.-30. April). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt*, 930-939.
- VanDine D. (1985). Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. *Canadian Geotechnical Journal* 22, 44-68.
- Wolman M., Miller J. (1960). Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology* 68, 54-74.

NATURE HAZARD EMERGENCY PLANNING ON LOCAL LEVEL THE BOTTOM-UP APPROACH OF THE CANTON OF LUCERNE

René Graf¹

ABSTRACT

Emergency plans are developed to draft an intervention against nature hazards following several escalation phases. The plans serve the local fire brigade as a device for the management of operations. They are elaborated in close cooperation between the local fire brigades and natural hazard specialists. Teamwork is regarded as a crucial factor of success. During the planning process probable scenarios of an event are anticipated based on hazard maps and on the experience of the fire brigade. The documentation mainly consists of waterproof task sheets, which can be issued to the staff, and of intervention plans, which show all planned measures in an overview. For the actualisation of the plans a comfortable online-tool will be implemented.

Compared to losses, that can be avoided, and the training effect on the involved personnel there is no doubt, that an emergency plan is worth its costs of 20'000 – 40'000 Swiss Francs.

Keywords: emergency plan, intervention, crisis management, fire brigade, flood, local, bottom-up

ENHANCING EMERGENCY PLANNING – LESSON LEARNT FROM THE 2005 FLOOD

One of the lessons learnt from the flood event of August 2005 was to push disaster preparedness and intervention capacities, as these measures have proved to be effective and can be implemented promptly and at reasonable costs. BEZZOLA/HEGG (2008) state, that emergency planning is a basic prerequisite for a successful intervention. Further, they note that education and training of fire brigades increasingly must focus on interventions against natural hazards, e.g. by the handling of emergency plans.

ORGANISATION OF INTERVENTION IN THE CANTON OF LUCERNE

Interventions against natural hazards are a core task of fire brigades. During the last years fire brigades in the Canton of Lucerne were more often called on to fight natural hazards, mainly floods, than fires. The commander of the fire brigade in charge leads the intervention. In case of an escalation two more elements will be activated:

- A Catastrophe Commander (Katastrophen-Einsatzleiter KEL) will assist the commander in charge by; consulting with him, organising the Local Emergency Management Authority (LEMA), or even taking over the lead. These Catastrophe Commanders are organised and trained in a pool by the buildings insurance monopole of the Canton of Lucerne.
- A LEMA consists of representatives of partner organisations such as, police, civil defence and public health care service, local political councils, and specialists for relevant issues, e.g. natural hazards. The LEMA's task is to support the leader in charge, who himself stays responsible for the decision making.

All of the 61 fire brigades in the canton are organised in a militia system: Only about 15 of the more than 6'000 firemen and –women are professionals.

¹ René Graf, Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern, Naturgefahren, 6010 Kriens, Switzerland, (e-mail: rene.graf@lu.ch)

AIMS OF EMERGENCY PLANNING

The aim of natural hazard emergency planning is; to anticipate probable scenarios, to identify reasonable triggers for an intervention, to design appropriate interventions (tasks), and to document them in a way to enable efficient decision making and issuing orders. Another aim is to provide basic information for decision making in a standardised form. However, emergency plans do not restrain the commander's responsibility to make situational decisions, as an event probably will never occur exactly the predicted way. As floods are the main threat in the Canton of Lucerne and the occurrences of rock falls as well as landslides are difficult to locate, the natural hazard emergency plans put a strong focus on flood events.

Early warning systems are not an integrated topic of emergency plans. Separate projects are run to design and implement such systems. Though, interfaces are defined in the emergency plans including triggers for an intervention.

ESCALATION PHASES DEFINING THE STRUCTURE

The emergency plans are structured according to three escalation phases:

- Phase 1 ("yellow"): An event is threatening to take place in the near future, maybe a specific warning has been received. Fire brigade officers are mobilised to observe the further development of the situation and to prepare for intervention.
- Phase 2 ("orange"): Fire brigade staff is activated. Interventions take place to avoid or limit damages. The scenarios are mainly based on the intensity map for an event which occurs with a probability of once in 30 years. Intensity maps are specific elements of the hazard map showing the strength of the impact of an event with a defined period of recurrence. Also the experiences the fire brigade made in recent events are integrated.
- Phase 3 ("red"): The intervention aims to combat against a catastrophic event (scenario 1/300 years).

TASK INSTRUCTIONS AND INTERVENTION PLANS

The emergency plans consist of mainly three elements:

1. General instructions
2. Task sheets
3. Intervention plans

Further elements of an emergency plans are lists of the manpower and material, which are needed to realise all the planned tasks, and a short report documenting the process.

1. **General instructions:** These contain the definition/description of the trigger of the phases (Fig. 1) as well as brief instructions on a specified tactic to fight nature hazards.

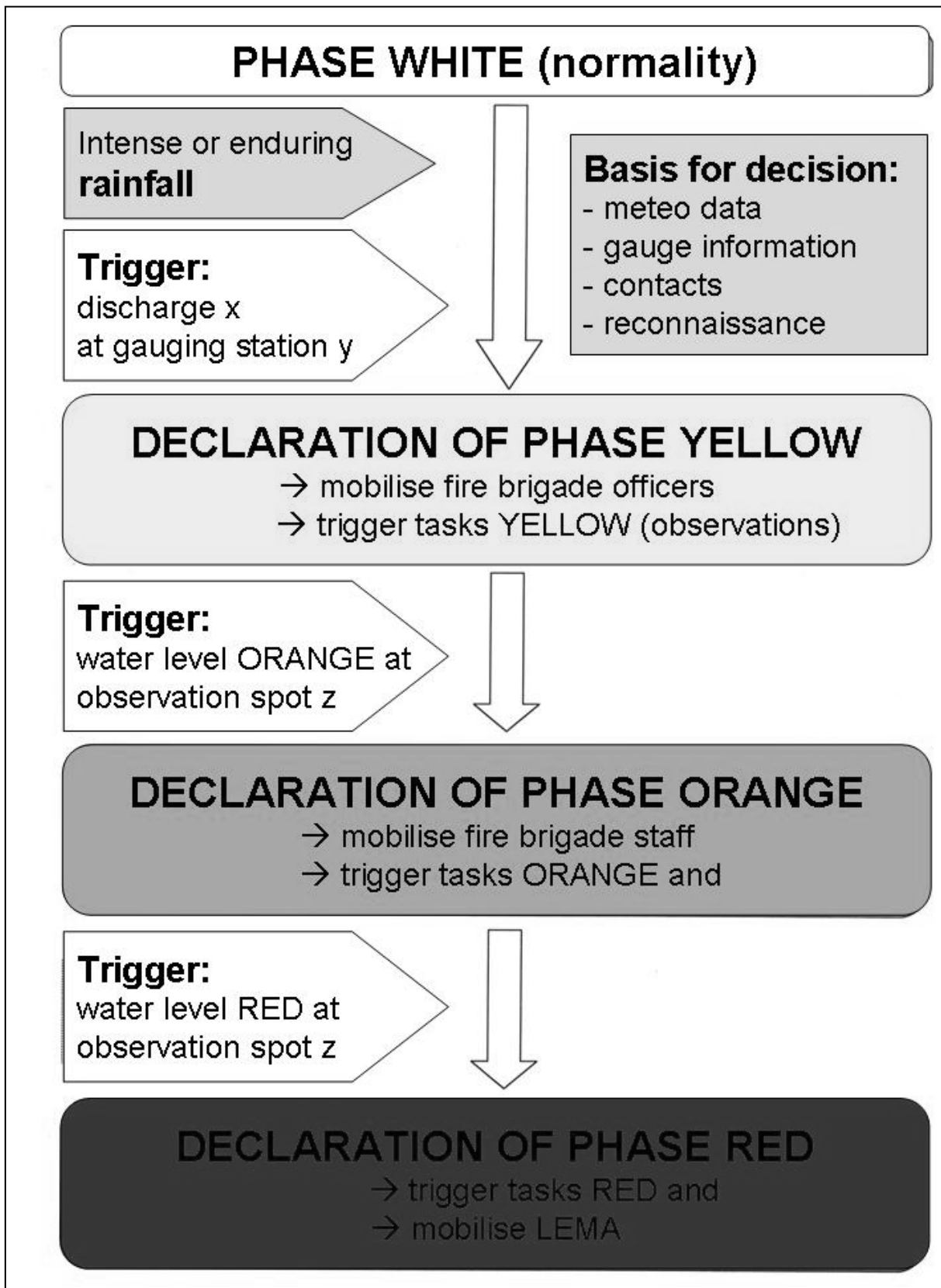


Fig. 1 Instructions for triggering the phases

2. **Task sheets:** Each task is located, defined and numerated. It is documented in an unambiguous manner on one single sheet A4 (Fig. 2 and 3) and shaped as an order. Each task-sheet is framed in the colour of the respective phase (yellow, orange or red). Elements of each instruction are a short description of the aim of the respective charge, the measures to be taken, the manpower and material needed as well as a situation plan and photos of important spots and/or elements. As the sheets are laminated and therefore waterproof the command can be given by the officer by handing the sheets to the staff without further explanations. Each task-sheet is framed in the colour of the respective phase (yellow, orange or red).

Interventionsplanung Kleine Emme		MANNSCHAFT	
Task-Nr. 08		LITTAU / Thorenbergbrücke	
PHASE: ORANGE		Phase Red: no additional measures foreseen	
Legend		Road block Excavator to keep free the waterway Protection of the building by the owner	
Aim	Avoid flooding of Nidermatt and adjacent area		
Actions	<ol style="list-style-type: none"> 1. Shut Thorenberg Bridge 2. Get excavator ready (Lötscher Construction Ltd.) 3. Install stop-log (scheduled) 4. Underground parking Nidermatt: Protection by the owner 		

Fig. 2 Example of a Task Instruction (front page)



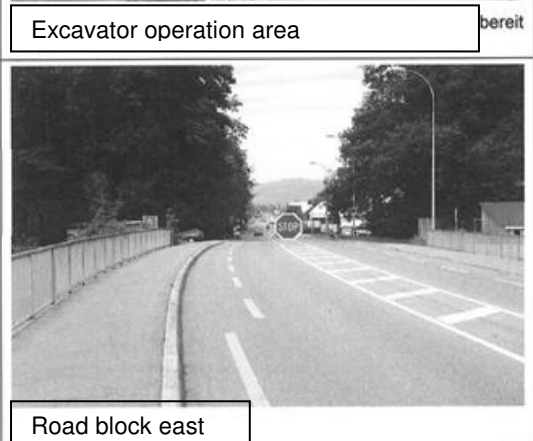
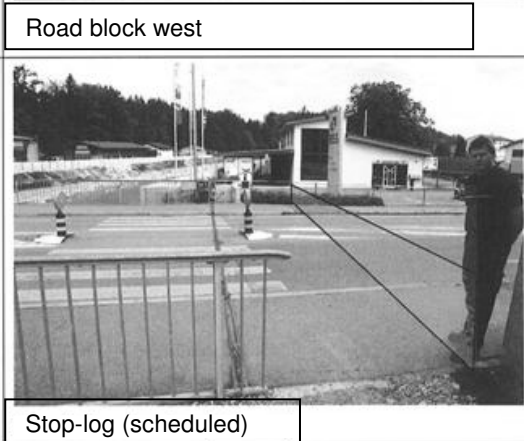
<p>Specific behavioural rules</p>	<p>Manpower needed</p> <p>Installation: 7 persons</p>
<p>Directives when task is achieved</p>	<p>Material needed</p> <p>2 folding grilles 2 warning triangles with flashlights Warning tape 1 excavator incl. operator</p>
 <p>Excavator operation area</p>	 <p>Road block west</p>
 <p>Road block east</p>	 <p>Stop-log (scheduled)</p>

Fig. 3 Example of a task instruction (back page)

3. **Overall intervention plans** (Fig. 4): All the tasks are registered on two separate plans: one for phase ORANGE and one for phase RED. These intervention plans allow the commander in charge to keep the overview and to document actions and developments.

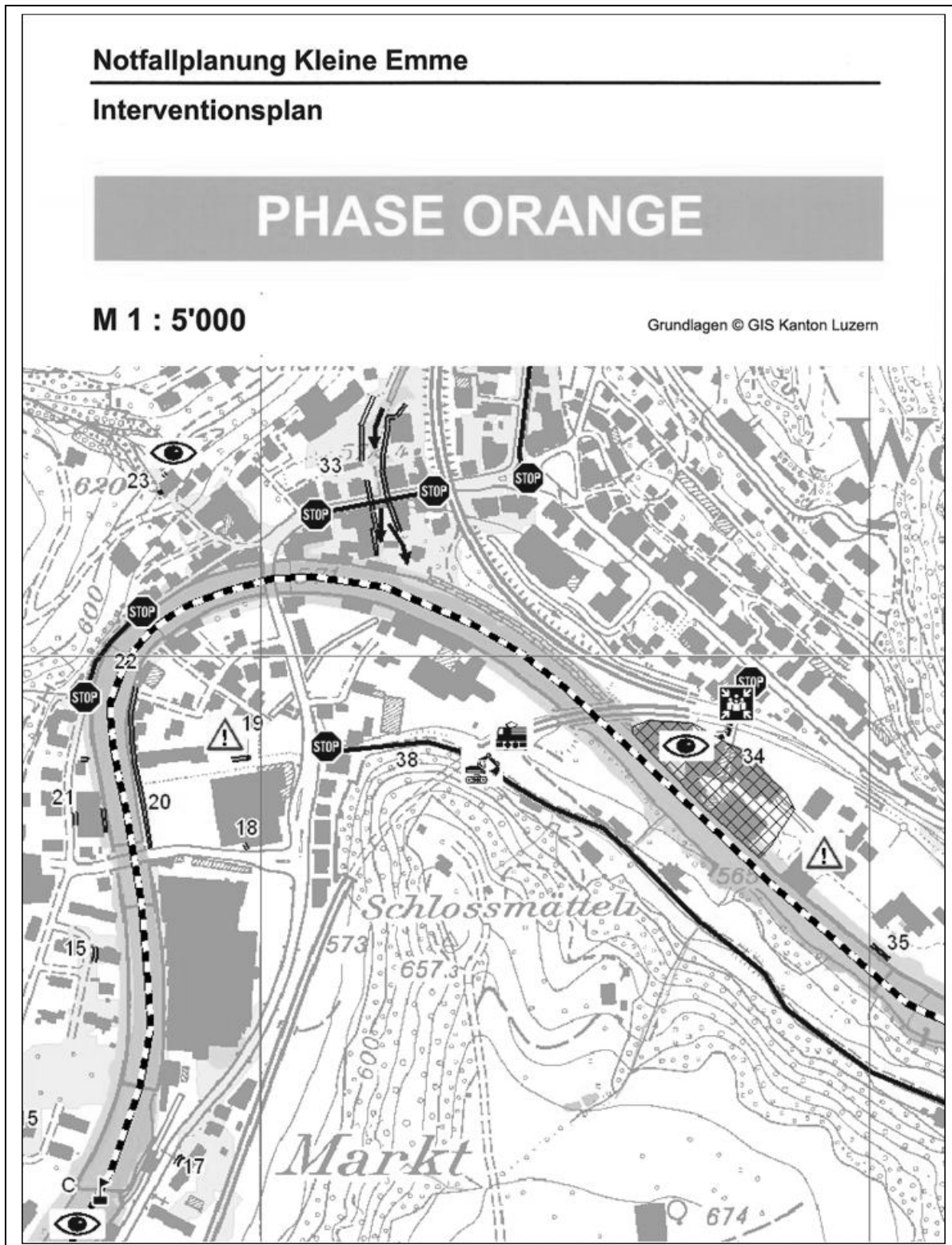


Fig. 4 Example of an intervention plan
plots (light grey): areas expected to be flooded (intensities according to hazard map)
signatures: tasks-with respective numbers and action symbols according to the task sheets, see Fig. 2

EARLY WARNING AND INTERVENTION TRIGGERS

In an ideal situation the triggering of an intervention would be supported by an early warning system. The specific geographic situation of the Canton of Lucerne makes this impossible:

- The size of the catchment areas that are relevant for a local fire brigade – which means the catchment area above the respective settlement area at risk – varies from a very few to some ten square kilometres. Only a few towns lie at the lower reach of mid-size rivers.
- A bigger part of the loss events are triggered by thunderstorms with very localised extents. It is highly difficult to predict, where these storms will cause intense rainfall.

These two determining factors mean meteorological forecasts are not precise enough to be put into operation for alerting fire brigades (GRAF, 2008). Regular false alarms can not only be tolerated as they cause costs: They also undermine the motivation of the fire men and their employers and therewith the entire militia intervention system.

It is therefore a real challenge to find appropriate triggers for an intervention or a new escalation phase. In reality it is up to the commander and his officers to consult meteo- and discharge-forecasts, to watch the weather “from their own windows”, to monitor now-casting-data, to contact colleagues in the upper part of the catchment area and to listen to their own experience and intuition. Thus it even occurs that an intervention is triggered by the first call for help. All the more it is important to be prepared in the sense of keeping the phase of decision making as short as possible.

BOTTOM-UP PLANNING PROCESS

The emergency plans are elaborated in close collaboration with natural hazard specialists and fire brigade officers. Together they locate every critical spot along a riverbed, on a slope or at a rock face, known from past events or indicated by the hazard map. On-site they discuss probable scenarios (including escalating developments) and define intervention measures. Thereby, both players bring in their respective resources: members of the fire brigade their experiences from past events and interventions, specialists the interpretation of the hazard maps and their hydrological knowledge. For a successful collaboration, two mindsets are indispensable

- Mutual respect: Each involved person has to value the counterpart’s approach, pragmatic down-to-earth-experience on one side, scientific derivation on the other side.
- Modesty: Neither of the partners knows “the truth” – because there is none. Both partners can contribute a handful of scenarios which show, how an event has proceeded or probably will proceed, but the next event will differ as well from the last one as from the prediction of the hazard map.

Finally, it is the fire brigade officers who decide where an intervention is planned and which measures are foreseen, as it’s the fire brigade’s requirements which must be satisfied by the contingency plan.

PROJECT ORGANISATION

After the realisation of a pilot project, the authorities of the Canton of Lucerne implemented an overall project for all 61 fire brigades in the canton. The lead is with the department for natural hazards, the main partner is the fire brigade inspectorate. The enterprise which carried out the pilot project was mandated to coordinate all activities and to ensure a good quality and an equal standard of the processes as well as of the products. Five more companies were mandated to execute the planning processes with the fire brigades. A crucial criterion for the choice of these specialists was their expected ability to act as a coach and a partner at the same time, responding to the specific demands and mindset of fire personnel. Therefore explicit references were asked for activities in a fire brigade or a comparable social field, as characteristics of the behaviour and mindset (“habitus”) of social actors are strongly interlinked with the social field they live in (Bourdieu, 1997).

The natural hazard specialists are charged with the following tasks:

- Locate critical spots according to the hazard map.
- Prepare maps, forms and hardware (e.g. cameras) for the field day.
- Design and organise field work (number of groups and allocated areas, time schedule, reconnaissance of selected hotspots, preliminary talk with the commander of the respective fire brigade).
- Manage field work (usually one day per fire brigade): Introduce and instruct the fire brigade officers, coordinate group work, lead the groups as a coach and resource person in one. Each group is supported by a recording secretary who also has some basic knowledge in natural hazard management.
- Develop a blueprint of the documentation for the attention of the fire brigade.
- Review the documentation according to feedback from the fire brigade.
- Produce and distribute the emergency plan (usually one folder).

The role of the involved fire brigade officers is strictly limited to “watch, discuss and decide”. They are free of all other tasks to ensure the best concentration possible.

COSTS AND BENEFIT

External costs– mainly the fees of the mandated specialists – will add up to 1.7 million Francs. Including the personnel costs of the implemented government boards and local fire brigades, but excluding the costs for the actualisation tool, the overall costs of the project will not exceed 2.0 million Swiss Francs. Thus, an emergency plan for one fire brigade will cost between 20'000 – 40'000 Swiss Francs. According to the Building Insurance of the Canton of Lucerne the loss of building substance in a flood event adds up from 8'400 to 23'000 Swiss Francs per house (Oral information by the head of the loss damage department, figures dating of the events in Menznau, Willisau and Aesch (all 2007) and Horw (2011)). In addition further damages must be included like the damage on the building contents and indirect losses like interruptions of business activities. Thus the cost of an emergency plan can be amortised by saving one single house! The costs can also be compared with the cost of training courses, as the planning process contributes a lot to the knowledge management of the fire brigade involved. It is beyond any doubt, that this project is worth its costs!

ACTUALISATION OF THE EMERGENCY PLANS

One of the biggest challenges is to ensure a sustainable actualisation of the emergency plans, keeping up their quality as well as the standardised design. For this purpose an IT-tool will be developed to allow online creation. A high comfort must be provided as the production will be made by the militia officers in their spare time. Most of these people must be considered to be IT-laymen.

What sounds so simple will be tricky to achieve as the following demands have to be fulfilled:

- The design of the entry mask must be absolutely identical with the design of the analogous products (task sheets, intervention plans).
- Outdated plans must automatically be replaced by the actual version.
- Handling options should mainly be limited to delete, create or adapt task sheets. Modifications of the plan section should automatically lead to an identical modification of the respective intervention plan.
- Functions should mainly be limited to text modifications and “Drag and Drop” (pictures, symbols).
- A print function for the task sheets (A4) must be available as well as a generator function for print files of the intervention plans.

QUALITY ASSURANCE

To assure a good quality and a uniform design of the emergency plans the mentioned mandate for an overall coordination and coaching was given to an experienced expert.

A special aspect of quality management is given by the fact that natural sciences are regarded to be “exact sciences”. As natural hazard specialists are trained in natural sciences they strive for precise results (which probably is one of the important differences in the habitus of a scientist and that of an average member of a fire brigade). Yet, the basis “data” for the emergency plans comprise a lot of fuzziness, as hazard maps show only the effect of one single combination of selected scenarios out of infinite possibilities. The observations and experience of the fire personnel also contain a lot of vagueness. Under this premise quality is not a question of precision in the sense of scientific derivation. The challenge still is to achieve a precise and “easy-to-communicate” result (in fact a task sheet), but its derivation has to be made on the basis of a responsible argument about how to deal with uncertainty and vagueness.

Another aspect of quality management is the acceptance of the plans by the fire brigades. The experience in the Canton of Lucerne so far shows an almost enthusiastic acceptance. The main reason is located in the fact that aspects of social competence and behaviour are regarded as a key factor of success: Cooperation on eye-level let the militia officers feel a great respect for the effort they perform and responsibility they accept in favour of the society.


BENEFICIAL SIDE EFFECTS

Emergency planning is a process which creates many desirable side effects:

- Strategic and tactic peculiarities of natural hazard fighting are discussed and documented (Fig. 5).

**Tactic peculiarities
of interventions against nature hazards**
(floods, landslides, rockfall)

1. Watch source and development of hazard




Are there trends that may threaten the safety of the intervention forces?

If there are any doubts:

- Take worse cases in account!
- Request nature hazard specialists at the headquarterfor for an indeep assessment.

2. Question offensive tactic!



Is there a warranty for the predominance of the resources over the power of the nature processes?
Can it be judged responsible to fight the hazards at close range?

If one of these questions must be answered **NO** it is compulsory to choose a defensive tactic.

3. Adapt defensive tactic

See page 2

Fig. 5 Excerpt of specific tactic advices for fighting natural hazards

- The education and training of firemen and -women – so far focussed on fighting fires – is directed towards the fighting of natural hazards.
- The emergency plans serve as basis for the design of field training: By distributing the task sheets the officers can assess how easy these orders can be understood. They can observe the ability of the staff to fulfil the orders and identify needs for further training on the one side and the necessity to readjust certain task sheets on the other. Also the trainings provide photos of measures realised which can be used to replace the draft photos in the emergency plan which were taken during field work.
- The planning process leads to knowledge management, as members of a fire brigade get into discussions with one another. Young officers learn from more experienced ones. Officers, who during the last event served at one end of town, get to know experiences made by those at its other end. Fire men and women learn about natural hazards, natural hazard specialists learn about intervention strategies, tactics and techniques.
- Fire personnel and natural hazard specialists get closer to each other by discussing and understanding the proposals and arguments of the respective counterpart. As during an intervention the need for support by specialists may arise there will be a pool of people who know each other, or at least each others habitus, means mindset, and code of behaviour and language.

CONCLUSIONS

According to the character of the project the conclusions are not the outcome of scientific investigation. All the same they are of great value because they base not only on comments of the involved specialists, but mainly on feedbacks of the fire brigades – that is of the ones that have to rely on the plans in case of an emergency. The core findings are:

- Emergency plans draft an intervention against natural hazards following several escalation phases. They reflect the state of the art of the preparedness of the respective fire brigade, though during a real event they will never supersede situational decisions by the commander in charge. Therefore it is important that the legal effect of the emergency plan is cleared: The commander must be sure that they will not be prosecuted for taking decisions that are not in accordance with the emergency plan.
- Emergency plans allow efficient command operations such as coordination, issuing orders and situation mapping. Therefore the officers must be familiar with the plans. This goal is achieved by involving the fire brigades in the elaboration of the emergency plans as well as by specific training.
- As emergency plans give an overview of all measures intended, they point at measures which need to be coordinated.
- Emergency plans show the need for manpower and specific material for each fire brigade. Consequences must be implemented, which means an upgrade of staff, the purchase of additional material or a streamlining of the planned measures.
- Emergency plans have to be actualised according to new information and experience. To ensure regular updating by militia officers a comfortable tool has to be developed and implemented.
- The mentioned Crisis Commanders (KEL) must find equally designed emergency plans wherever they will take over a charge. Thus the project must cover the whole area of their responsibility, which in the presented case is the whole Canton of Lucerne.
- As the planning process is organised in a bottom-up approach the coaching abilities of the mandated nature hazard specialists – and especially a positive and natural response to the specific mindset, code of behaviour and language of the fire fighters – must be considered as a key factor to successful emergency planning.. In return it fosters the mutual understanding and collaboration between intervention units on one side and nature hazard specialists on the other side not only during the planning process but also during an intervention against a hazardous event.

REFERENCES

- Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S.
- Bourdieu P. (1997). Zur Genese der Begriffe Habitus und Feld. In: Bourdieu, P. Steinrück, M. (Hrsg.) 1997: Der Tote packt den Lebenden. Schriften zu Politik & Kultur 2.. VSA-Verlag Hamburg, 205 S.
- Graf R. (2008). Wetteralarme – eine Herausforderung für eine wirksame Intervention. Ein Praxisbeitrag aus der Zentralschweiz. Interpraevent 2008, Dornbirn. Conference Proceedings Vol. 2.

TOWARDS OPTIMISED EARLY WARNING

DEVELOPMENTS IN SWITZERLAND

Josef Hess¹, Franziska Schmid²

ABSTRACT

The analysis of the flood events of 2005 and 2007 in Switzerland showed that the damage caused by natural disasters can be reduced significantly with the help of improved measures in the areas of preparedness, early warning and response. Hence, a project for the “Optimisation of Early Warning and Alerting of Natural Hazards” (OWARNA) was established, which encompasses a set of measures for improving the monitoring and forecasting of hazard events, alerting procedures, the provision of information to the authorities and public, and the training of intervention units. Considerable progress has been made on these measures over the past three years: business continuity has been adopted at the relevant federal agencies, additional monitoring and measuring units are being created, forecast models are being developed, information platforms for the authorities and public are being developed and coordination between the stakeholders is being improved. However, many of the measures (e.g. forecast systems and information platforms) are still under development and the new system has yet to be tested in an actual disaster event.

Keywords: early warning and alerting, preparedness, response, national coordination

INTRODUCTION

In the past, major natural disasters frequently prompted the reviewing and reformulation of Switzerland’s natural hazard protection strategy (e.g. 1987, 2000). Event analyses offer the opportunity to learn lessons and identify possible improvements to be made in the management of natural hazards. This was the case, for example, with event analysis of the floods of 2005: the analysis revealed that improved intervention could have reduced the losses incurred by 20% (Bezzola & Hegg, 2008). Shortly after the floods, the Federal Council initiated the project “Optimisation of Early Warning and Alerting of Natural Hazards” (OWARNA) and mandated the responsible federal authorities to implement associated measures at organisational, structural and technical levels. The context, conceptual framework, measures and results of the OWARNA project are described in this paper.

THE FLOOD OF 2005 AND ITS EVENT ANALYSIS

In August 2005, flooding, erosion, overbank sedimentation, landslides and depositions from debris flows affected large parts of Switzerland; they claimed six lives and gave rise to damage to property amounting to CHF 3 billion. In terms of the damage caused, the event was unparalleled for many decades. The event analysis, which was carried out by Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), not only focused on the natural processes that caused the damage but also on the quality of the available hazard mapping and its implementation in land use, the effectiveness of structural protection measures and of the warning, alerting and response actions (Bezzola & Hegg, 2007).

¹ Dr. Josef Hess, Committee Intervention Against Natural Hazards, c/o Federal Office for the Environment, Switzerland

² Dr. Franziska Schmid, Committee Intervention Against Natural Hazards, c/o Federal Office for the Environment, 3003 Bern, Switzerland (e-mail: franziska.schmid@bafu.admin.ch)

The analysis identified several weak points in the intervention: the lack of coordination between the responsible federal authorities resulted in the transmission of inconsistent and delayed warnings and information. Furthermore, intervention staff working at local level had difficulties in interpreting the official warnings and transforming them into the necessary rescue and relief actions. A further weak point was the limited exchange of information between crisis staff and experts specialised in meteorology, hydrology, geology and engineering at all state levels. The event analysis also identified deficits in flood warning: whereas warning systems and operation centres were well established for weather and avalanche forecasting, the flood forecasting services were not well developed.

ORGANISATIONAL FRAME

Swiss policy on dealing with natural hazards is based on the concept of integral risk management, which involves prevention, response and recovery (see Fig. 1).

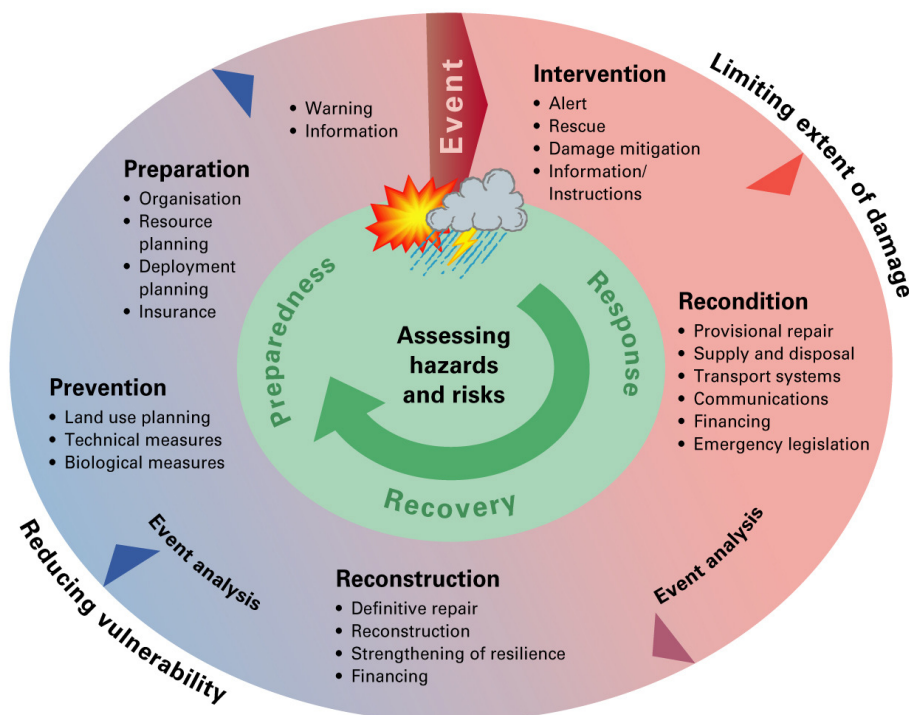


Fig. 1 Cycle of measures involved in integral risk management as defined by the Swiss Federal Office for Civil Protection FOCP.

Dealing with natural hazards in Switzerland involves the complex cooperation of various public actors organised on the three state levels along with that of private actors. Whereas leadership in the area of hazard prevention lies with the agencies specialised in natural hazards and land-use planning, the civil protection system is responsible for the preparedness and response phase of the cycle. The civil protection system consists of five partner organisations, i.e. the police, fire brigade, healthcare system, technical services and the protection and support service. However, in the case of emergency management, the rescue and relief units rely on information and early warning provided by the specialist authorities.

Tasks are also shared between the different levels of the state. Responsibility for legislation and the formulation of natural hazard management policy lies with the Confederation and federal authorities, which also provide financial support to the 26 cantons and are responsible for warning and alerting the population and authorities in the case of a natural hazard event. The cantons are responsible for the enforcement of the federal laws, for contingency planning and for cantonal emergency management. The communes are responsible for the planning and implementation of preventive measures and also have to deal with natural hazard events on-site.

Private actors are also involved in all phases of integrative risk management. Recovery measures, in particular, are assigned to the private sector. Land-owners are also involved in the implementation of preventive measures and are bound to take precautionary measures to reduce damage in the case of an emergency.

THE CONCEPT OF RESPONSE

Response is considered an essential means of reducing the risks posed by natural hazards. However, response actions need to be carefully prepared in order to be successful. This approach includes the planning and preparation of temporary measures (for example the construction of sandbag barriers or protective dams), regular training drills and rehearsals, the training of rescue staff, and the provision of the necessary financial resources. The preparedness and response phases are connected in a “warning and alerting chain” (see Fig. 2): each element is indispensable and contributes to the functioning of the entire system. In accordance with the sharing of tasks between the Confederation and the cantons, the responsibility for response operations lies with the emergency management units and the cantonal civil protection authorities. The specialist agencies at national level provide hydrological and meteorological forecasting and warnings and inform the authorities and the population. High quality and timely warnings and alerts enable both intervention staff and private individuals to safeguard human life and material assets against the effects of natural disasters.

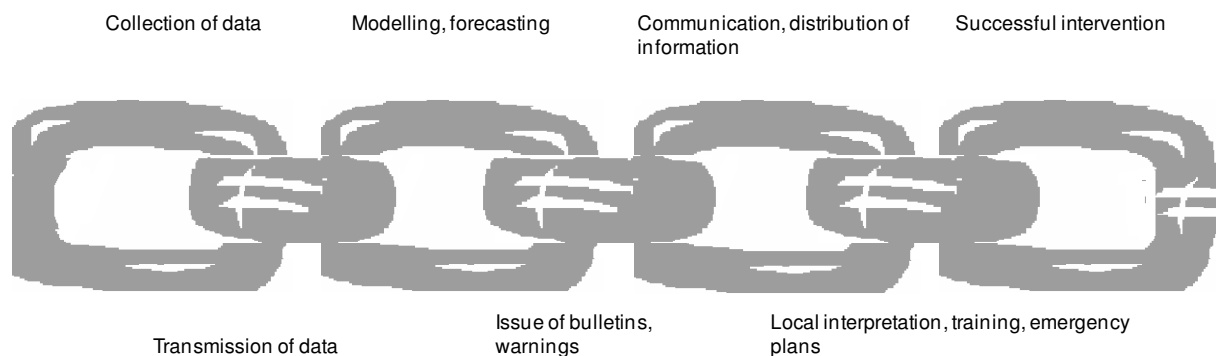


Fig. 2 A functioning warning and alerting chain contributes to a successful response.

OPTIMISATION OF EARLY WARNING AND ALERTING OF NATURAL HAZARDS

Shortly after the floods of 2005, the Federal Council initiated the project “Optimisation of Early Warning and Alerting of Natural Hazards” (OWARNA) at national level and mandated the responsible federal authorities to take following measures:

- Provision of 24-hour flood forecasting and specialist advisory services in the case of a flood event by the Federal Office for the Environment, which is responsible runoff prediction and flood control at national level.
- Guaranteeing of emergency power supply for warning and alerting systems (Federal Office for Civil Protection).
- Improvement of weather and flood forecasting models to ensure the availability of very reliable data with high spatial and temporal resolution. These developments have to be carried out by the Federal Office for the Environment and the Federal Office of Meteorology and Climatology (MeteoSwiss). Establishment of an electronic information platform to link the various specialist units.
- Establishment of a reporting and situation centre also for natural hazard events at the National Emergency Operations Centre. This centre would work around the clock and provide a nationwide overview of the emergency, thereby enabling the crisis staff to mobilise and assign relevant resources where necessary. The centre would provide the first point of contact for the cantons on all civil protection issues.
- Improvement of the provision of information to the public (Federal Chancellery).

- Establishment of a “single official voice” for warnings from the federal authorities.
- Creation of a training drill scheme (Federal Office for Civil Protection).

A Common Information Platform for Natural Hazards (GIN) has been established within the framework of this project (see Petzold et al.). The platform contains data, models and early warning products relating to avalanches, floods, heavy precipitation and storms. Information from MeteoSwiss, the Federal Office for the Environment and the WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF is available on the platform in a combined and practical form. Data from other sources, for example the Swiss Seismological Service SED, cantons and private companies, are also integrated into the platform or will be integrated in the near future. The platform is aimed at federal, cantonal and communal crisis staff to facilitate their response to natural hazard events. GIN has been operational since March 2010 and had over 1100 users in December 2011.

In May 2010, the Federal Council approved the follow-up report on the OWARNA project and allocated financial and human resources, mainly for the improvement of flood forecasting.

The Federal Council also approved additional measures. Further elements are required to ensure the consistent functioning of the entire safety chain: a “natural hazards crisis staff” needed to be established to enable coordination between the federal offices in case of a major hazard event.

Another project involved a training programme for local natural hazard advisors (see Buser et al.). In case of a hazard event, the intervention staff have to rely on local expert knowledge to comprehensively assess the situation and make the correct decisions. This expertise is also needed for the correct interpretation of the meteorological and hydrological forecasts in the local context, i.e. taking into account local observations and the knowledge of local conditions.

SINGLE OFFICAL VOICE

The warning activities carried out by the federal authorities were identified as one the shortcomings in the management of the floods of 2005. The emergency services and the population were not provided with either adequate or timely information. Furthermore, there was no system for the general dissemination of the warnings, for example using radio and television stations.

To tackle these deficits, a project has been carried out to establish a “single official voice” for warnings related to natural events. The responsible authorities at national level coordinate the issuing of warnings. Clear responsibilities have been assigned: MeteoSwiss provides information about dangerous weather conditions, the Federal Office for the Environment about floods and related landslides as well as forest fires, WSL Institute for Snow and Avalanche Research about avalanches, and the Swiss Seismological Service about earthquakes. In a situation, in which several natural processes may lead to a major disaster (e.g. heavy precipitation and floods), it is planned to issue joint warnings and information, which will be prepared by the aforementioned natural hazards crisis staff.

The responsible authorities have adapted their warnings to a five level hazard scale (see Fig. 3). The definition and delimitation of the levels are based on different criteria, depending on the type of hazard involved. For meteorological hazards, the steps are often delineated by the magnitude of physical values, such as rainfall intensity, storm velocity etc. For floods, the levels are defined by the recurrence period of runoff (HQ_x): for example, HQ_{20} is a flow rate that is reached or exceeded statistically once every 20 years on average. The warning thresholds for rivers are defined as follows: HQ_2 , HQ_{10} , HQ_{30} , HQ_{100} . Flood statistics are not compiled for lakes. Hence the warning thresholds for lakes are defined differently: the variance between summer high and flood limit is divided into three equal ranges corresponding to hazard levels 1, 2 and 3. The flood limit forms the transition between hazard levels 3 and 4. Hazard level 5 is reached if the lake level rises above the “flood limit + 25 cm” warning threshold.

Scale	Meaning
5 (dark red)	Extreme risk
4 (red)	High risk
3 (orange)	Considerable risk
2 (yellow)	Moderate risk
1 (green)	Little or no risk

Fig. 3 Five-level scale for natural hazard warnings.

Today, the warnings of high or extreme risks are issued not only to the cantonal authorities but also to the population. Warnings to the public are restricted to level 4 and 5 and must be indicated as “warnings from the Confederation”. The dissemination process also has been harmonised across the authorities: the National Emergency Operations Centre provides an information hub for all. Private and public radio and television stations are obliged to broadcast hazard warnings by law (“Alerting Ordinance”, SR 520.12). The warnings must contain a description of the expected hazard and advice on the safety measures to be undertaken. They are transmitted in German, French and Italian. Additional information is provided for the population on the recently established platform naturgefahren.ch.

COORDINATION AT NATIONAL LEVEL

Safeguarding the population during natural events is the joint endeavour of specialist units and crisis staff (see Fig. 4). The floods of 2005 showed that close interaction between these bodies is essential to minimise losses.

Permanent structures across the various federal departments and offices were required to coordinate the measures implemented as part of the “Optimisation of Early Warning and Alerting of Natural Hazards” (OWARNA) project. Hence, in October 2008, the Directors of the Federal Office for the Environment, the Federal Office of Meteorology and Climatology, the Federal Office for Civil Protection, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, and the Federal Chancellery established the “Steering Committee Intervention Against Natural Hazards” (LAINAT). The Swiss Seismological Service has also been member of the committee since 2010. The Committee is guided by its directorial conference. A management board, consisting of professional experts from the participating bodies, is responsible for the preparation and implementation of decisions of the directorial conference. The LAINAT secretariat is affiliated to the Federal Office for the Environment and has been operational since April 2009. The Committee’s mandate is specified in a legislative act that regulates responsibilities and procedures in the event of nuclear, biological, chemical and natural disasters (ABCN-Einsatzverordnung, SR 520.17)

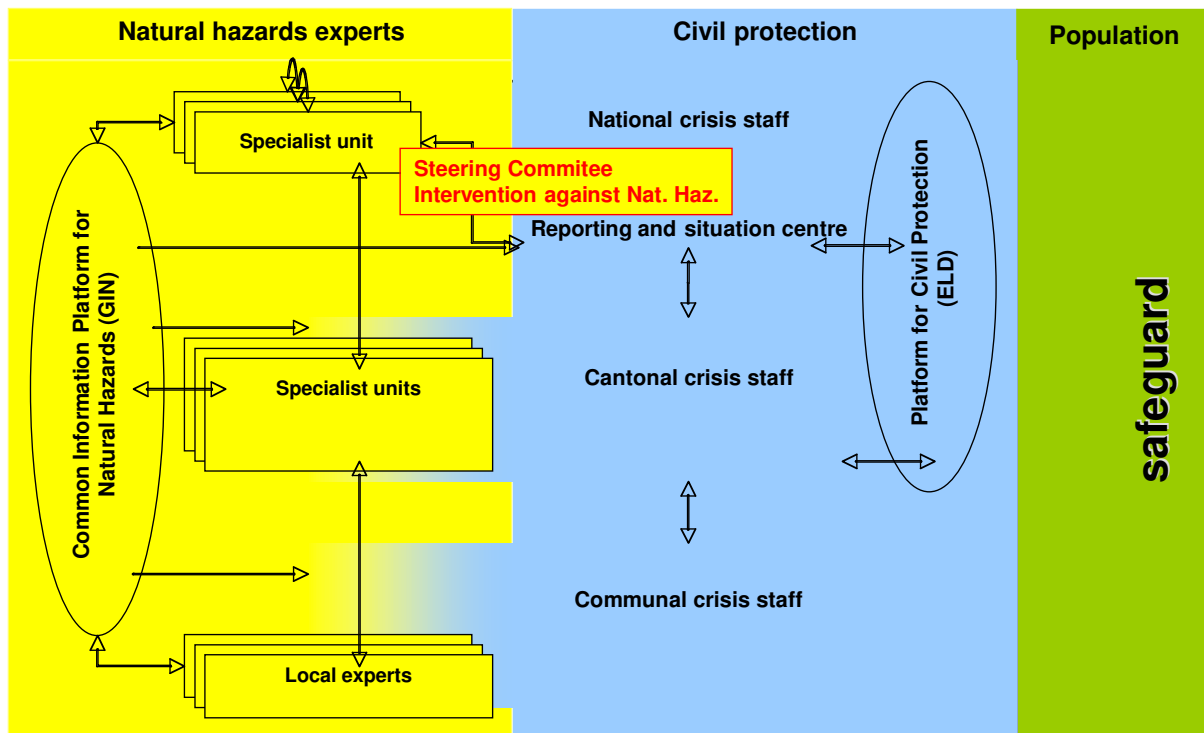


Fig. 4 Cooperation of specialists units (left side, yellow) and crisis staff (right side, blue) at all state levels. The actors have access to virtual platforms to facilitate “vertical cooperation”.

PROGRESS ACHIEVED IN THE IMPLEMENTATION OF OWARNA ACTIVITIES

It has been possible to implement several measures successfully in recent years. The 24-hour availability (Business Continuity Management, BCM) of personnel in case of an emergency is now also guaranteed at the Federal Office for the Environment. A crisis staff has been established to ensure BCM. It is formed by specialists from different divisions who can be mobilised at short notice. Apart from participating in several training drills, the crisis staff was active during the period of drought and risk of forest fires in spring and early summer 2011. They coordinated the exchange of information with and between the cantons, assessed the situation and regularly informed the public about the situation by means of press releases.

For emergency situations, a natural hazards staff unit has been established across several federal offices as a complement to the “Steering Committee Intervention Against Natural Hazards”. In the case of natural events with impacts on a national scale (i.e. several cantons are affected), the FOEN acts as an information hub and makes its core natural hazards staff available to the other federal authorities and integrates specialists from MeteoSwiss, SLF or SED. This body enables the overall expert assessment of a hazard situation or event (see Fig. 5). If required, it also transmits warnings to the authorities and the population.

Improvements have also been made in the area of flood forecasting. The responsible persons at the FOEN have defined so-called “surface waters of Swiss national interest”, e.g. rivers and lakes along which high potential for flood damage exists or main rivers which flow through several cantons or international rivers and lakes bordered by several cantons or forming a frontier with neighbouring countries. Predictions are made and warnings are issued, if necessary, for these rivers and for major lakes. The national hydrological forecast system is complemented by regional forecast models and systems, which are run by the cantons. The Confederation supports and advises the cantons on the establishment of regional systems.



Fig. 5 Sound forecasting of hazard situations is necessary to ensure correct and timely action by the emergency management units (here: closure of a road due to floods.).

A “hazards portal” on ch.ch shows which natural hazards can occur in Switzerland, provides information on how to prevent damage and respond to a natural hazard event. Furthermore, it lists all of the relevant contacts and links. The portal is accessible to the general public. Since January 2011, the naturgefahren.ch platform provides further information in case of the issuing of a level 4 or 5 natural hazard warning. It is planned to merge the two platforms and integrate information from GIN that is of public interest so as to have one point of access and information source for the population.

OUTLOOK

This paper shows that major efforts have been made to improve preparedness and intervention in relation to natural disaster events at national level in Switzerland. As the cantons are responsible for emergency management, they must implement similar or corresponding measures. The sharing of tasks between the Confederation and cantons has been defined at several workshops involving representatives of both the federal authorities and the cantons. The financial resources required for these measures have been estimated as follows: between CHF 40 and 50 million must be invested annually by the cantons while the Confederation’s contribution amounts to CHF 15 million per year. The activities to be undertaken next will include the completion of the OWARNA project. This will mainly involve the improvement of hydrological forecasting, GIN and the reporting and situation centre for natural events at the National Emergency Operations Centre, and the establishment of the “hazard portal” for the optimisation of the provision of information to the public in the case of an emergency.

Crisis staff units and warning procedures, which have already been established, will need to be consolidated through training and involvement in real crisis operations. The cooperation between the numerous stakeholders on all three state levels will also have to be strengthened.

All of the measures that have already been implemented and these future actions will be necessary to ensure that the OWARNA measures prove effective in the context of a future natural disaster.

REFERENCES

- Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825:429 S.
- Petzold I., Hess J., Schmid F., Arpagaus M., Steiner S. (submitted): Joint Information Platform for Natural Hazards in Switzerland. Interpraevent 2012.
- Buser M., Bezzola G.R., Wicki W., Mani P. (submitted): Local Natural Hazards Advisors for Civil Staff Units. Interpraevent 2012.
- SR 520.12, Alarmierungsverordnung
SR 520.17, ABCN-Einsatzverordnung

CONTINGENCY PLANNING ORIENTED HAZARD MAPS

NEW IDEAS AND LESSONS LEARNED WITHIN THE MONITOR II PROJECT – SLOVENIAN EXAMPLE

Tanja Prešeren¹, Franci Steinman² and Jože Papež³

ABSTRACT

As project partners of the SEE project MONITOR II two Slovenian institutions were given an opportunity to assemble some good foreign examples and contribute their own knowledge and experience in the field of contingency planning and hazard mapping. MONITOR II project aims at improvement of information provision for disaster management by developing a common methodology of hazard and risk mapping and elaboration of contingency plan. Slovenian project partners found their role within MONITOR II project in improvement of some aspects of crisis management practice in their own country. This consequently brings new ideas and results, which can enrich common MONITOR II achievements. Since the biggest deficiencies in Slovenian crisis management (covering flood hazards) were recognised in contingency planning on the municipal level the focus of Slovenian project partners lays there. A new approach by using intervention maps and an information tool is considered as a support for decision making.

Keywords: contingency planning, hazard mapping, intervention maps, protection strategies, natural hazards, floods, flood scenario, disaster management, protection and rescue plans, database, information tool

INTRODUCTION

In the past decade the world has been confronted with numerous severe natural hazards and society's need to produce quality hazard maps and to assure good disaster management has grown. The administrative and legal basis for the elaboration of hazard and risk maps and contingency plans was prepared in some European countries alone. But natural hazards pay no regard to national borders so a commonly accepted methodology is required. Another deficiency lies in the fact that the activities of hazard and risk mapping are nowadays mainly dedicated to support spatial planning respectively definition of administratively restricted land use, while the usability of hazard and risk maps in the scope of contingency planning is relatively poor. These gaps will be tackled with the development of a common methodology in the frame of MONITOR II project. The full title of the project is "*Practical Use of MONITORing in Natural Disaster Management*" and it runs under the South East Europe Programme. The partnership combines international scientific experts, authorities, public services and end-users. The project aims at the improvement of information provision for disaster management by developing a common methodology of hazard and risk mapping and elaboration of contingency plan. Furthermore, the goal of the project is also to establish CSA (Continuous Situation Awareness) – an operational tool that would improve situation awareness and knowledge that hold natural disaster management relevance. Both Slovenian project partners are contributing their efforts to achieving good common MONITOR II project results and are simultaneously seeking for Slovenian specific solutions for some deficiencies that have been identified in Slovenian disaster management system, focussing on flood hazard.

¹ Assist. Tanja Prešeren. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia (email: tanja.preseren@fgg.uni-lj.si)

² Prof. Franci Steinman. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia

³ Jože Papež, M. Sc. Torrent and Erosion Control Service, Hajdrihova 28, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

SLOVENIAN LEGAL FRAME

In Slovenia the legal basis for and flood protection and rescue planning and crisis management of flood events in general is being prepared by two authorities. The Ministry of the Environment and Spatial Planning (MOP) is responsible for hazard mapping while the Ministry of Defence (MO) is responsible for contingency planning on a national level. Like in many other European countries this leads to weaker connectivity of these two activities. Following the standards induced by the European Union through EU Floods Directive Slovenian MOP has established a methodology for flood risk assessment by adopting the “*Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes*” (Off. Gaz. RS, No. 60/2007), a very concrete regulation which thoroughly prescribes how hazard, vulnerability and risk classes should be defined (Steinman et al., 2008). In a few years entire Slovenian country should obtain unified flood hazard and flood risk maps with common classification of plots into flood risk classes as defined in Slovenian legislation. Nevertheless the main purpose of these flood hazard and risk maps is to provide groundwork for spatial planning. On the other hand the “*Instruction on preparing threat assessments*” (Off. Gaz. RS, No. 39/1995) prepared by MO is more general and descriptive, also due to the fact that it applies to a very broad range of hazards.

Tab. 1 Flood risk mapping (MOP) versus threat assessment (MO)

	<i>Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes (Off. Gaz. RS, No. 60/2007)</i>	<i>Instruction on preparing threat assessments (Off. Gaz. RS, No. 39/1995)</i>
HAZARD	<p>probability of disaster occurrence (return period) Q_{10}, Q_{100}, Q_{500}</p> <p>extent – spatial extent of the flooded area for Q_{10}, for Q_{100} and for Q_{500}</p> <p>intensity of the flood event for Q_{100} [water depth and product of water depth and velocity]</p>	<p>probability of disaster occurrence</p> <p>possible hazard extent</p> <p>probable disaster consequences</p> <p>hazard sources</p> <p>possible causes of disaster occurrence</p> <p>disaster course</p> <p>chain disaster occurrence probability</p> <p>options of disaster forecast</p>
VULNERABILITY	<p>population density</p> <p>economic and non-economic activities buildings</p> <p>buildings and devices that can cause pollution</p> <p>cultural heritage</p> <p>sensitive structures</p>	<p>endangered population buildings density</p> <p>endangered animals and property economic and energetic characteristics of endangered area</p> <p>location of structures that additionally threaten surroundings</p> <p>endangered cultural heritage</p> <p>location of structures relevant for protection and rescue *</p>
INTERVENTION		<p>location of structures relevant for protection and rescue *</p> <p>recommendations for operation of protection, rescue and relief and prevention respectively mitigation of disaster’s consequences</p>
	risk classes	Type, form and degree of risk

* Some structures are relevant for protection and rescue because of their high sensitivity respectively vulnerability (e.g.: kindergartens, schools, homes for the aged etc.). Some are relevant because of their active role in crisis management (e.g. civil protection headquarters, fire brigade, emergency shelter etc.). Hospital is an interesting example of a structure that is very vulnerable (if it had to be evacuated a lot of help would be needed) and at the same time it can be active by provision of medical care to wounded people.

Despite the different approach, when closely examining Slovenian legislation regarding (flood) risk assessment, several similarities between 'risk mapping' (MOP) and 'contingency planning' (MO) approach were recognised (Table 1). The legislative framework prepared by MOP obviously offers a good starting point for creating the so called intervention maps. The essential contents that are missing to meet the need of contingency planning are mainly related to intervention (location of structures relevant for protection and rescue, foreseen measures, resources etc.) and some additional information on hazard (disaster course, scenarios, disaster forecast). In order to improve crisis management the Slovenian government has also adopted the "*Decree on the contents and drawing up of protection and rescue plans*" (Official Gazette of RS no.: 3/2002, 17/2002, changes and additions in Official Gazette of RS no.: 17/2006 and 76/2008) that regulates contingency plans and their content. In accordance with articles of this *Decree* municipalities and state authorities were obliged to elaborate and adopt their protection and rescue plans until Feb. 17th 2007. The floods that happened afterwards were a perfect test for the adopted national and municipal flood protection and rescue plans and for the legally established principles and methodology in general.

CRISIS MANAGEMENT IN SLOVENIA

Crisis management system in Slovenia is quite heterogeneous - from a professional approach mainly on the national and regional level to numerous commendable volunteers (mainly fire fighters) from all over the country. The Administration of the Republic of Slovenia for Civil Protection and Disaster Relief (URSZR) is the cardinal institution dealing with civil protection in Slovenia. It is based in the Slovenian capital Ljubljana and has 13 regional sections operating throughout Slovenia. Civil protection on national and regional level runs professionally and the National Notification Centre of the Republic of Slovenia, including all 13 regional notification centres, use a modern geographic information system GIS-UJME. This GIS tool incorporates the collection, processing, storage, dissemination and use of data. Notification centres may also use television and radio programmes for their broadcasts, publish notices, forecasts and warnings on national TV teletext. On a local level, the responsibility for civil protection lies with municipalities. They must prepare contingency plans and organise municipal civil protection units when necessary. Unlike URSZR and its sections, municipalities are accountable for a broad variety of activities so they can't devote their entire energy to crisis management. They also don't have any sophisticated tools at their disposal. Nevertheless, in an emergency the municipal civil protection units act well, on average, with experienced volunteers devoting their body and soul to their missions.

FLOOD PROTECTION AND RESCUE PLANS ON PROBATION

In the recent past Slovenia has experienced two extreme floods. On 18th September, 2007, a great storm event took place, mainly in the Gorenjska region – heavy rainfall induced rapid flood waves and some landslides (Sušnik et al., 2007). Three years later, from 17th till 19th September, 2010, extensive and heavy rain fell on Slovenia which led to two extreme flood waves on 18.09. and on 19.09., when most of Slovenian rivers were flooding (Strojan et al., 2010). The main difference between these two September flood events was that in 2007 the floods appeared totally unexpectedly while in 2010 the Slovenian Civil Protection units and the public were informed in advance so they were able to prepare to some extent. Both events were also a test of protection and rescue plans and they offered feedback information for people dealing with contingency planning and protection strategies in general. In the municipalities that have adopted the plans, they were proven to be useful although some deficiencies were recognised. Commanders of Civil Protection units found some parts of contingency plans helpful. They said that the list of people authorised and responsible for certain intervention actions that they could find in the appendixes came in handy (Černivec et al., 2008). However civil protection commanders complained that the protection and rescue plans are widely extended. If the hazardous event develops rapidly, which was the case of the storm event in September 2007, there is no time to carefully read the plan and the superfluous amount of text makes it difficult to extract only certain crucial information on time. This resulted in partial usage of plans – the protection and rescue plans were used exclusively regarding responsible people and institutions and their contact data.

NEW SOLUTIONS CONSIDERED

MONITOR II project is seeking new methods for linking hazard mapping and contingency planning. Both Slovenian project partners UL FGG and PUH concluded that their contribution to the common goals of the MONITOR II project will be better if they try to resolve some Slovenian specific problems parallel to the joint work. Major deficiencies in Slovenian disaster management system have been identified on the municipal level of contingency planning. The municipal crisis management usually operates fine however the municipal flood protection and rescue plans are inadequate. These plans are commonly elaborated in the spirit of '*just to meet the legal obligations*'. Hence they contain too much wording and at the same time they are suffering from lack of information on intervention measures. Consequently an idea came up that a new methodology for elaboration of flood protection and rescue plans should be developed and applied to Slovenian test bed – the Municipality of Mozirje. Our knowledge basis for improvement of the approach to elaborate contingency plans are the lessons that Civil Protection units have learned when experiencing the use of protection and rescue plans when flood events actually occurred, and the knowledge that foreign contingency planning experts have shared with us. The aim is to bring the focus from textual parts of current Slovenian protection and rescue plans towards maps, operational schemes of measures and pictures with descriptions of measures that have to be taken in case of a flood event. As work began, the need for a comprehensive information system that would integrate data from different sources became even more obvious. We have already reinforced our communication with the Administration of the Republic of Slovenia for Civil Protection and Disaster Relief and also Civil Protection units from the Municipality of Mozirje. Comprehension of their needs, knowledge and experience is crucial for creating new protection and rescue plans with greater practical value.

GOOD EXAMPLES (FROM ABROAD)

There are no guidelines for elaborating a contingency plan in the field of natural hazards but nevertheless some good examples can be found. Several emergency plans in the field of natural hazards were developed in Switzerland within the last few years following torrential floods, rock fall, landslides and debris avalanches induced by plentiful precipitation in August 2005 (Plattner and Gunzenhauser, 2008). So-called intervention plans in emergency management of flood events in Alpine catchments were also described by Romang and Wilhelm (2009). These intervention plans were elaborated mainly to support fire brigades and provide relief unit officers and safety managers with the information needed to plan and organise operations and to give priority to important objects at risk. They know where, how and when they have to act, e.g. to make optimal use of mobile levees. The need for a new approach was also recognized in Austria where new contingency plans were made based on dyke break scenarios at Morava River (Schwingshandel, 2010). An intervention map proved to be the crucial part of a contingency plan so the two Slovenian MONITOR II project partners decided to focus on setting this deficiency right on the municipal administrative level in Slovenia.

SLOVENIAN TEST BED

Slovenian test bed was placed in the Municipality of Mozirje. It is a smaller Slovenian commune with an area of 54 square kilometres and a population of approximately 4000 people. It is situated in the lower part of the Upper Savinja Valley. It is morphologically extremely diverse; from the flat land at the Savinja River to the medium height range of the Mozirje Mountains (Klemenak, 2006). The entire territory of Municipality of Mozirje belongs to the basin of Savinja River, which has a torrential character. In Slovenia Savinja River is known for its high flood hazard, most floods happen in its middle or downstream section (in towns Celje and Laško). Floods are not a rare event in Municipality of Mozirje. Though section of Savinja passing through this commune isn't as critical as in the lower sections, Savinja's tributaries may cause floods already when their discharges reach values of 20-year flood. Affluents of Savinja River which lay within Municipality of Mozirje are Mozirnica, Trnava, Ljubija and Škrabov potok. The population density of Mozirje is much lower than the Slovene average; there are approximately 1600 apartments within this commune. It is quite typical for this

municipality that it doesn't have any major industrial plants. Economic activities are mainly consisting of manufacture, craft, services, merchant, agricultural, tourist, and catering activities. Due to the variegated historical happening in the past, diverse cultural heritage, which includes archaeological, artistic, ethnological, memorial and technical monuments, was formed. The sacral heritage is especially rich.

INTERVENTION MAP

Hydraulic modelling has made some significant steps forward in the past few decades. On the one hand the capability of computers has improved; on the other hand new methods for obtaining elevation data needed to create digital terrain models became cheaper, hence more accessible. The improvements of the state of the art in hydraulic modelling had already been turned to advantage in the field of spatial planning. However experts of crisis management in Slovenia still have to resolve how they could benefit most from the new approaches in flood hazard mapping. One of our tasks within Monitor II project was to investigate and evaluate usability of the flood hazard maps as defined by the *Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes* (Off. Gaz. RS, No. 60/2007) for the needs of contingency planning. We created intervention maps for Slovenian test bed (Municipality of Mozirje) as a supplement of the existing municipal flood protection and rescue plan. Spatial data from different sources was used; in the first steps (concerning hydraulic part) only the official flood hazard zones were considered as three most basic hazard scenarios. Later on hydraulic models for eight extra scenarios were obtained and their results were analysed for the purpose of contingency planning. When preparing different scenarios one must have in mind that the number of scenarios should correspond to prognostic capabilities of the investigated area. So in the end all scenarios were compared and distinctions among them were reconsidered from the viewpoint of their relevance to intervention map.

Tab. 2 Summary of spatial data presented on the intervention map (example of Municipality of Mozirje)

Hazard	Vulnerability	Additional hazard	Forces & resources	Intervention
spatial extent of hazard	vulnerable entities	indirect hazard sources	civil protection and rescue forces & resources	foreseen intervention measures
	locations of vulnerable facilities and sites, indicating those of greater vulnerability	locations of facilities and sites that poses some hazard potential and might cause additional damage and danger	all human and material resources, facilities etc. that are at disposal for protection and rescuing in case of a hazardous event (also contractors)	Needed measures that can be concluded in advance on the basis of hazard, vulnerability and additional hazard and should be executed by "forces"
<ul style="list-style-type: none"> • flood warning map – flood hazard area • spatial extent of the flooded area for scenario Q₁₀ • spatial extent of the flooded area for scenario Q₁₀₀ • spatial extent of the flooded area for scenario Q₅₀₀ • eight extra scenarios taken in consideration 	<ul style="list-style-type: none"> • day care and work centre • primary school • kindergarten • buildings in general • cultural heritage 	<ul style="list-style-type: none"> • chemical works • sewage treatment plant • petrol station • landfill 	<ul style="list-style-type: none"> • civil protection headquarters • fire brigade • emergency shelter • health centre • police station • company for road maintenance and reconstruction • radio club • humanitarian organisations 	<ul style="list-style-type: none"> • observation of critical bridges • road closures • spots where intervention was needed in the similar past events • cut-off areas – accessibility in urgent cases

A new approach was developed which was at the same time partly implemented to the Slovenian test bed. Interim results for the Municipality of Mozirje will be presented as an example of the proposed methodology. In the first step a flood intervention map was elaborated, including data given in the following scheme (Table 2). Presented topics in the last line are a subject of this particular municipality. Once all the spatial data regarding hazard, vulnerability, additional hazards, and forces and resources is presented on the map, one can get a fast insight on what will probably have to be done; which measures can be foreseen (intervention). The resulting composition of spatial data from all the mentioned data groups is an intervention map (example of the Municipality of Mozirje can be seen in Figure 1).

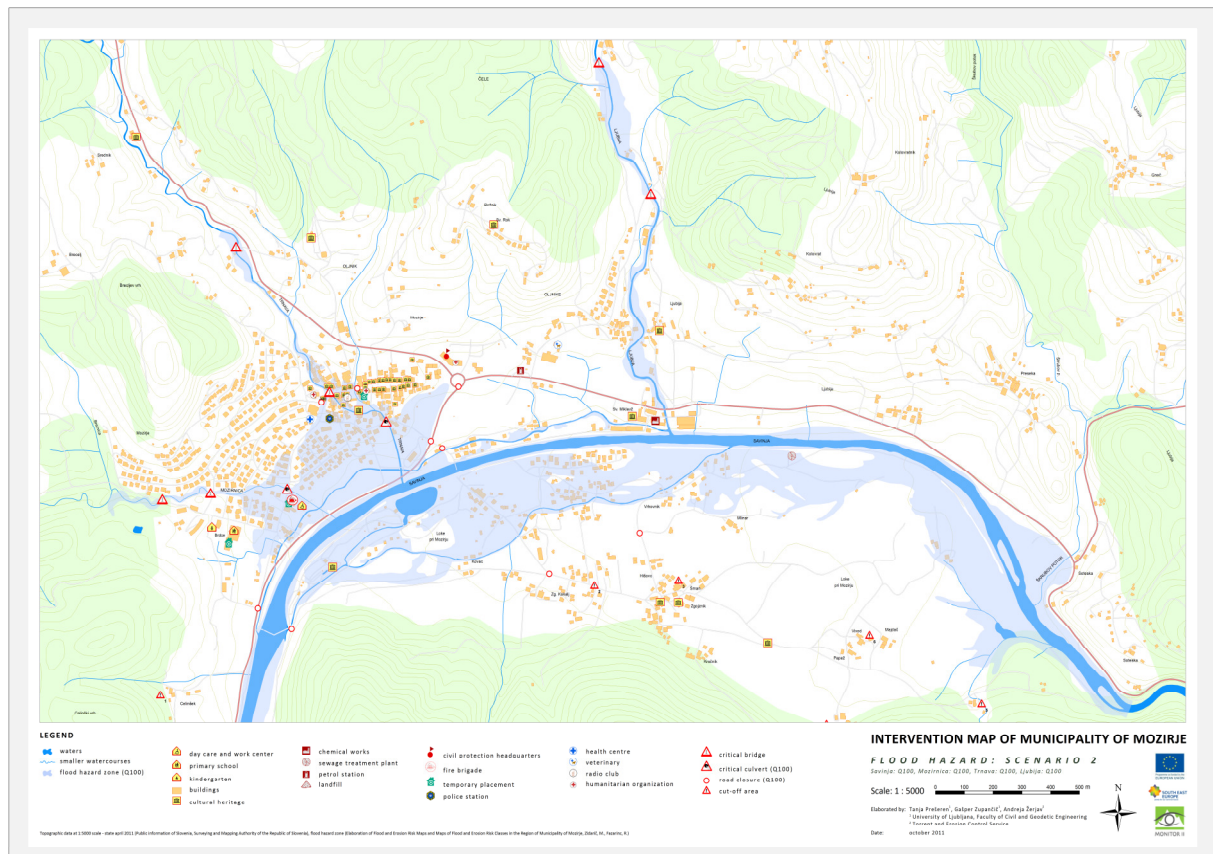


Fig. 1 Intervention map of Municipality of Mozirje

HANDLING WITH NUMEROUS INFORMATION

It is obvious that the intervention map itself is a powerful source of information however the map alone is not sufficient. It has to be supplemented with additional data and explanations. These can be given in reports that will illuminate pithy data from the map. Two types of solutions are proposed:

1. **Static:** maps and reports should be available in a physical form, printed on paper. There are more arguments to back this decision. For example, in case of an extreme weather event an electrical blackout can't be excluded. Secondly it should be taken into consideration that contingency on a local level is performed by commanders of civil protection units with different knowledge backgrounds. A variety of computer knowledge is to be expected: someone might be much more familiar with using a paper map than clicking on the computer.
2. **Quasi-dynamic:** maps and reports should be sensibly connected in a geographic information tool. A net can be built upon links between data from different data groups. The tool should enable different data queries.

These two types are closely connected. The elaboration should be made in such a manner that one should avoid double work when setting both: static analogue maps and reports on the one hand and quasi-dynamic tool on the other. Inputs or implementations and changes of data should be executed

only once (in one data base) even though this data can be shown in more documents (reports). This principle not only avoids doubling the work load, but also prevents confusions and mistakes such as different information on same thing in different files (for example: two different phone numbers for the same institution because data would be updated only in one file).

DATABASE

A basis for the proposed information tool is a database that would contain various data, some have already been mentioned. A general overview of the acquired data is given in Table 3.

Tab. 3 Database contents

Spatial data (shapefiles with attributes)	Catalogues	Additional material
1. Hazard 2. Vulnerability 3. Additional hazard 4. Forces & resources 5. Intervention	1. Catalogue of general measures – (Standard) Operational Procedures → related to a category of a feature which is placed in the spatial data base 2. Catalogue of specific measures → related to a particular feature which is placed in the spatial data base 3. Catalogue of criteria → related to a general or to a specific measure • condition given with numerical values (trigger values) • condition given in textual description (trigger situation)	1. General pictorial material → related to a category of a feature <i>or</i> related to a general measure • schemes; drawings; pictures 2. Specific pictorial material → related to a particular feature <i>or</i> related to a specific measure • snapshots; designs; schemes 3. General film material → related to a category of a feature <i>or</i> related to a general measure • instructional films 4. Specific film material → related to a particular feature <i>or</i> related to a specific measure • film documenting past events; computational simulation of a flood wave propagation

Luckily the database doesn't have to start from zero. Many countries have already established a qualitative geodetic information system and geographic database that covers a huge variety of contents. In Slovenia the starting point for a spatial data database is definitely encouraging. Creating the spatial part of the database needed to implement the proposed methodology in some cases requires only adding a few additional attribute columns to existing shapefiles. However the work that has to be done is not little, especially when considering catalogues and additional material. And once the database will be established it will still have to be maintained, updated and upgraded.

ATTRIBUTES OF FEATURES IN THE DATABASE

To strengthen the informative role of the tool it is wise to expand the database by including several data inputs – as additional attributes.

The following is a list of attributes for data group forces & resources (mainly these attributes will refer to an accountable institution or person):

1. Type of institution (standardised classification should be used)
2. Name of institution/name of responsible person
3. Institution section
4. Contact information
 - Contact person of the institution
 - Spare contact person (deputy)
 - Person's position, duty
 - Mobile phone
 - Pager number
 - Phone at work
 - Phone at home

- E-mail
- 5. Location (address)
- 6. Quantity (quantities) – number of people (e.g. fire fighters) or items (e.g. dredging machine excavators) at disposal

Not always will all of these attributes be available; for some features they are not even reasonable or logical. In this case the attributes should be left blank.

List of attributes for a structure:

1. Category
2. Short name
3. Location (address)
4. Contact information (when reasonable)

EXTRACT REPORTS































List of extract reports:








1. List of all activities that are supposed to be carried out in the municipality or region
2. Extract reports for structures, facilities and sites
3. List of all activities that should be carried out for each one responsible (individual or institution)

The contents to be included in the *extract report* for a structure:

1. Name of intervention measure - general
2. Intervention measure, warnings description – general for this type of structure; as a Standard Operational Procedure (SOP) [short / in detail]
4. Intervention measure, warnings – specific for this structure [short / in detail]
5. Threshold values - criteria that indicates when the measure should be initiated
 - Given with numerical values or
 - Given in textual description
6. Picture of the structure
7. Picture(s) with additional explanation on what has to be done
8. Map containing crucial locations (the structure itself, location of responsible institution)
9. Person or institution responsible for the measure
 - Name of the contact person
 - Phone number(s) or pager number of the contact person
 - Address of the responsible (person or institution)

Tab. 4 List of all activities for the Municipality of Mozirje to be carried out in case of flood (or flood prediction)

WHAT has to be done				Flood occurs (flood foreseen)		WHO will do it, WHO has to be informed				Accomplished	
Category	Name/No.	Location	Measure	Criteria		Responsible institution, person			Ordered		
				Thresh- hold values	State (actual value)	institution	person (deputy)	contact: pager, phone ..			
1. ! 	bridge	No. 1	Cesta v Loke	 observe	act now!		municipal CP unit			<input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
2.			 clean bridge opening (remove debris and wood)	if bridge gets jammed		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓	
3.			alert: immediately inform commander of municipal CP unit	h > 3.27 m	h = 2.78 m	municipal CP unit			<input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES	
4. ! 	bridge	No. 2	Orožnova ulica	 observe	act now!		municipal CP unit			<input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
5.			 clean bridge opening (remove debris and wood)	if bridge gets jammed		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES	
6. ! 	bridge	No. 3	Na tratah	 observe	act now!		municipal CP unit			<input type="radio"/> no <input checked="" type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
7.			 clean bridge opening (remove debris and wood)	if bridge gets jammed		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES	
8.		kindergarten	Vrtec Mozirje	 notify: children should be kept in kindergarten until danger is gone	if children are in kindergarten		Vrtec Mozirje	Ana R.	03837#		<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
9.		primary school	OŠ Mozirje	 notify: children should be kept in school until danger is gone	if children are in school		OŠ Mozirje	Andreja H.	03839#		<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
10.		sewage treatment plant	-	 notify: make precaution measures	act now!		Javno podjetje Komunala	Andrej E., Branko M.	03839#, 03839#		<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
11.		cultural heritage	-	 notify	act now!		Zavod za kulturo Mozirje	no info	035833 351		<input type="radio"/> NO <input checked="" type="radio"/> YES ✓
12.	road	No. 1	Savinjska cesta	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
13.	road	No. 2	Savinjska cesta	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
14.	road	No. 3	Šolska ulica	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
15.	road	No. 4	Savinjska cesta	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
16.	road	No. 5	Nove Trate	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
17.	road	No. 6	Savinjska cesta	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
18.	road	No. 7	Na tratah	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
19.	road	No. 8	Hofbauerjeva ulica	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
20.	road	No. 9	Orožnova ulica	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
21.	road	No. 10	Mlinska pot	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
22.	road	No. 11	Ljubija	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
23.	road	No. 12	Ljubija	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
24.	road	No. 13	Papež	 close road	if road is under water		CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES

25.	road	No. 14	Papež	<input type="radio"/> close road	if road is under water	CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
26.	road	No. 15	Loke pri Mozirju	<input type="radio"/> close road	if road is under water	CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
27.	road	No. 16	Zgornji Kokalj	<input type="radio"/> close road	if road is under water	CVE Mozirje	Miran I.	03839#	<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
28.	 day care and work centre	VDC Mozirje	Savinjska c. 31, phone: 059090010	evacuate (physically and mentally disabled people will need special help)	if staying in the building isn't safe anymore	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
29.	 cut-off area	No. 1	Celinšek	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
30.	 cut-off area	No. 2	Zg. Kokalj	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
31.	 cut-off area	No. 3	Loke pri Mozirju	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
32.	 cut-off area	No. 4	Sp. Kokalj	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
33.	 cut-off area	No. 5	Loke pri Mozirju	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES
34.	 cut-off area	No. 6	Papež, Papež	provide essential goods: water, food	if isolation lasts long	municipal CP unit			<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes	<input type="radio"/> NO <input type="radio"/> YES

Default values in this table are a function of a scenario. Meaning, if the scenario points out that certain operations should be executed immediately, these activities should be listed on top of the list and their high priority should be indicated by a red exclamation mark. The other activities should follow after. At the bottom of the list in gray colour are activities which are supposed to be unnecessary within the scenario we are focusing on. As scenarios are only approximations of actual situations it is wise to keep the whole list of activities (for the worst case scenario). Actual information coming in the civil protection headquarters during a crisis event can make order of precedence of the list of activities disputable. Therefore priorities shouldn't be unalterable fixed – by clicking on up or down arrow a civil protection commander should be able to change the default priority level.

EXTRACT REPORT FOR AN INSTITUTION

In case of a severe event, the commander of a civil protection unit has to call several people in order to dispense tasks that should be carried out. Hence an extract report of tasks for each institution would come in handy. The report should contain data on the accountable (name of responsible institution or name of responsible person, contact person of the institution, mobile phone, pager number, phone at work, phone at home, address, e-mail), a list of sites where they should intervene and a map including locations of these sites.

Name: Vzdrževanje in obnova Celje, d.d. (VOC Celje)
Section: Cestno-vzdrževalna enota Mozirje (CVE Mozirje)
Phone: 03 839 49 80
Contact person: Miran I. (director) CVE
Mihael G. (assistant) CVE
Address: Savinjska cesta 64,
3330 Mozirje

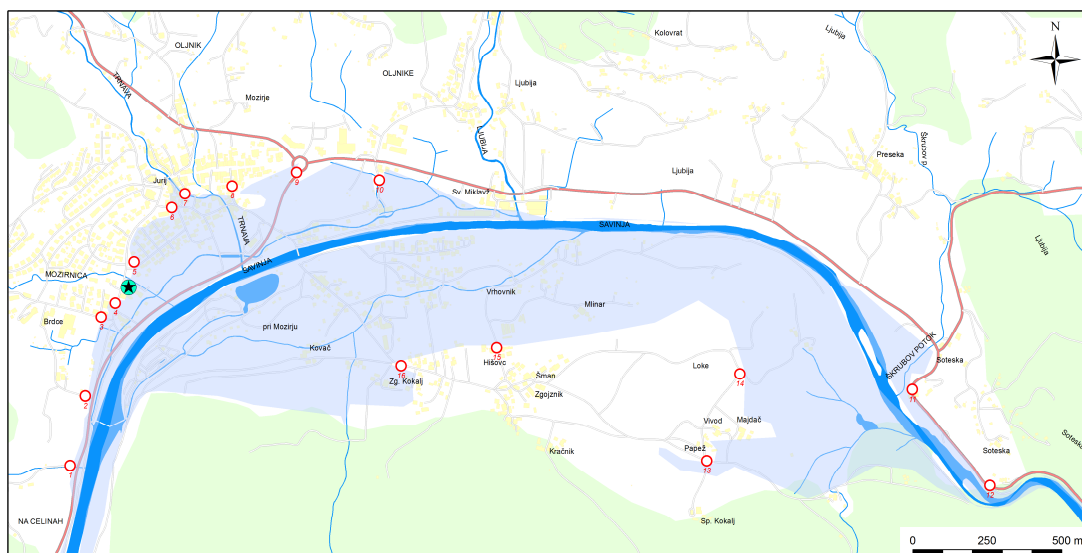


Fig. 2 Spots where the highlighted institution should intervene

CONCLUSION

The concept of the proposed methodology for creating an intervention map and the structure of the advanced information tool is not final. Regarding the map - the appearance (symbols, colors, and spatial layers) and some of the content might change in the future. The Slovenian MONITOR II project partners have examined closely the data disposability and legal framework in Slovenia in the field of flood hazard mapping and contingency planning. The work that has been done so far is a good basis for a discussion with Slovenian stakeholders as well as with other project partners from the MONITOR II group. Some stakeholder meetings with Slovenian civil protection units on national, regional and local levels have already been carried out. Representatives of the Slovenian Administration (URSZR) and from Celje regional section have applauded the idea. Meeting participants from the municipal civil protection unit staff on the other hand exercised restraint. Since they are going to be the main users of the municipal intervention map, their doubts should not be overheard. In the first step our goals are pragmatic: implement new methodology for elaboration of flood protection and rescue plans with greater practical value. In the second step we aim higher: the goal is to establish an advanced information tool – decision support system for the hasty conditions in case of a flood hazard event.

ACKNOWLEDGEMENTS

Concept of the methodology for elaboration of flood protection and rescue plans and structure of an information tool considering Slovenian particularities presented in this paper was developed in the frame of MONITOR II project (Practical Use of MONITORing in Natural Disaster Management). MONITOR II project is co-funded by means of the European Regional Development Fund under the South East Europe Programme.

REFERENCES

- Decree on the contents and drawing up of protection and rescue plans (Off. Gaz. RS, No. 3/2002, 17/2002, amendments and supplements Off. Gaz. RS, No. 17/2006 and 76/2008).
- Instruction on preparing threat assessments (Off. Gaz. RS, No. 39/1995)
- Plattner T., Gunzenhauser M. (2008). Effort-oriented emergency as a useful tool for relief units during a natural hazard event. Proc. of the Interpraevent 2008, Vol. 2, pp. 63-73.
- Černivec J. et al. (2008). Analyses of administration and management during the flash floods in September 2007 on the most affected areas in Slovenia. Case study. Ljubljana, Administration for Civil protection and Disaster relief, PUH: 95 p.

- Klemenak A. (2006). Possibilities of tourism development in the Mozirje commune. 103 p.
- Romang H., Wilhelm C. (2009). Emergency management of flood events in Alpine catchments. In: Samuels P., Huntington S., Allsop W., Harrop J. (eds) Flood risk management: research and practice. Taylor & Francis Group, London, pp. 1193–1197.
- Rules on methodology to define flood risk areas and erosion areas connected to floods and classification of plots into risk classes (Off. Gaz. RS, No. 60/2007)
- Schwingshandel A. (2010). Contingency plans based on dyke break scenarios at Morava River. Unpublished material.
- Steinman F., Papež J., Kozelj D. (2008). Hazard mapping based on the new guidelines in Slovenia. Monitor 08: systems behind a safer environment: international conference on monitoring methods, pp. 55-62.
- Strojan I., Kobold M., Polajnar J., Šupek M., Pogačnik N., Jeromel M., Petan S., Lalić B., Trček R., 2010. Floods between 17th and 21st September 2010 (Originally: Poplave v dneh od 17. do 21. septembra 2010). Proc. of MVD 2010, pp. 1-11.
- Sušnik M., Robič M., Pogačnik N., Ulaga F., Kobold M., Lalić B., Vodenik B., Štajdohar M. (2007). High waters and floods in September 2007 (Originally: Visoke vode in poplave v septembru 2007). Proc. of MVD 2007, pp. 7-15.

Risk governance and policies

“ECONOME-RAILWAY”

A NEW CALCULATION METHOD AND TOOL FOR COMPARING THE EFFECTIVENESS AND THE COST-EFFICIENCY OF PROTECTIVE MEASURES ALONG RAILWAYS

Michael Bründl¹, Cornelia Winkler² and Reto Baumann³

ABSTRACT

Limited financial resources require the evaluation of mitigation measures against natural hazards concerning their effectiveness and their economic efficiency. In Switzerland, the online calculation tool “EconoMe” allowing for analysing the benefit-cost-ratio of mitigation measures is in operational use since the beginning of 2008. Since specific requirements to risk assessments along railway are not completely fulfilled by “EconoMe”, several railway companies in Switzerland decided to develop “EconoMe-Railway”. In this paper we present the general concept and the methodologies implemented in “EconoMe-Railway” and show its application by an example. The results of the presented case study indicate, that risk to persons are contributing to the overall risk at most, while economic factors like e.g. interruption costs have a less significant influence on the results of a risk analysis. However, this conclusion might be case-specific and cannot be transferred to other examples.

Keywords: risk assessment, benefit-cost-analysis, railway

INTRODUCTION

Public money is used to finance the protection of human life, of material assets and of the environment against natural hazards. This limited resource should be used in a way that achieves the maximum possible effect by minimizing as many risks as possible. Hence, every decision-maker faces the question as to the areas in which resources should be used. Cost-benefit analyses (CBA) are recognized instruments for determining the economic efficiency of investments and mitigation measures. However, a workshop with Swiss natural hazard experts has indicated that risk analyses, conducted by different consultants using a calculation tool allowing the user to change calculation factors, cannot be compared to each other. The results strongly depend on selected methods, assumptions, parameters and input variables. When system boundaries, methods and variables differ too much, the comparability of CBA deteriorates. The conclusion was that a tool for comparable risk assessment and CBA was needed (Krummenacher et al., 2006).

In the beginning of 2008, “EconoMe 2.1”, an online tool for the evaluation of the effectiveness and the efficiency of mitigation measures, was introduced to practice by the Federal Office for the Environment for prioritising subsidised mitigation projects (BAFU, 2011a). With the introduction of “EconoMe 2.1”, the results produced by the older Microsoft Excel ® tool used by the Swiss Railway Company SBB since 2005 (Burkard and Winkler, 2005) were no longer comparable. The development of a new calculation tool became necessary.

The main driving factor for developing “EconoMe-Railway” was the comparability of risk analyses and benefit-cost-analyses of mitigation measures. The new tool should be compatible with “EconoMe 2.1”. Additionally, it should address specific requirements of railway companies to risk analyses. One important factor is the availability of a railway route. The closure of an important railway route can cause more financial loss than damage to railway infrastructure. Thus, “EconoMe-Railway” should

¹ Dr. Michael Bründl, WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Flüelastrasse 11, 7206 Davos-Dorf (e-mail: bruendl@slf.ch)

² Cornelia Winkler, NATUR.ING, Sebastianplatz 1, 3900 Brig-Glis (e-mail: c.winkler@naturing.ch)

³ Reto Baumann, Federal Office for the Environment FOEN, 3003 Bern (e-mail: reto.baumann@bafu.admin.ch).

allow for estimating interruption costs (Winkler, 2011) and integrating them into the resulting risk; a factor, which is not regarded in “EconoMe 2.1”.

In this paper we provide an overview on the online tool “EconoMe-Railway (BAFU and BAV, 2001). After a brief introduction into the general approach of “EconoMe”, we will present the methodology implemented in “EconoMe-Railway”. In the second part we will illustrate the application of EconoMe-Railway in practice. Finally, we will discuss the results and the difficulties that come across in a risk assessment for traffic routes and we will give some conclusions.

GENERAL APPROACH IN ECONOME

“EconoMe-Railway” bases on the risk concept and the methodology as implemented in “EconoMe 2.1”, the online tool used by the Federal Office for the Environment (FOEN) for prioritising mitigation projects. The risk concept as applied for dealing with natural hazards in Switzerland is documented in the guideline RIKO (Bründl, 2009); it serves as the theoretical backbone for “EconoMe 2.1” (Bründl et al., 2009). “EconoMe 2.1” (BAFU, 2011a) enables planning engineers, investors and authorities responsible for the mitigation of avalanche, flood, slide, unconfined debris flow and rock fall processes to carry out comparative CBA. The benefit-cost-ratio is calculated as the ratio of annual risk reduction by mitigation measures and its annual costs. Risk is defined as a function of the probability of a process p_j in scenario j , the probability $p(s)_j$ that a process hits the object i in scenario j , the probability $p(e)_j$ of exposure of an object i , the number of objects N_i , the value of objects W_i , and the vulnerability of object i , $V_{i,j}$, in scenario j (eq. 1). The total risk is the sum of all object risks in all regarded scenarios j (eq. 2).

$$R_{i,j} = f(p_j, p(s)_j, p(e)_i, N_i, W_i, V_{i,j}) \quad (1)$$

$$R = \sum_j \sum_i R_{i,j} \quad (2)$$

The annual risk reduction $R(r)$ is calculated as difference of risk before mitigation measures $R(bm)$ and the remaining risk assumed to remain after realising mitigation measures $R(am)$. The costs of mitigation measures $C(y)$ are assessed as annuity value of the initial investment $I(0)$, the annual costs for maintenance $C(m)$ and operation $C(o)$, a residual value $L(n)$ after the lifetime n and an interest rate p for discounting this annuity value following Wilhelm (1999):

$$C(y) = C(m) + C(o) + \frac{I(0) - L(n)}{n} + \frac{I(0) + L(n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad (3)$$

The benefit-cost-ratio is finally determined as:

$$BCR = \frac{R(r)}{C(y)} \geq 1, \quad (4)$$

with BCR greater or equal one expressing that the mitigation measure is economical efficient. The comparability of BCR is achieved by limiting the number of considered scenarios between three (minimum) and five scenarios (maximum) with typical return period of $\leq 10, 30, 100, 300$ years and by using predefined values for calculating the risk. These values (e.g. vulnerability $V_{i,j}$) are defined as mean values aiming at comparability and not at producing precise results for a specific situation. In order to aggregate risk to persons and risks to assets to one risk value, the value of statistical life (VSL) is taken for monetising fatalities prevented by mitigation measures. According to existing values in the literature (e.g. Rheinberger, 2011; Hammitt and Robinson, 2011) Swiss authorities responsible for natural hazard management agreed to fix this value at CHF 5 million.

The workflow in “EconoMe 2.1” follows the risk concept as described in the guideline RIKO (Bründl, 2009) and guides the user step-by-step through risk analysis, risk evaluation and evaluation of an analysed mitigation project by its benefit-cost-ratio as described above. The workflow and the

structure of “EconoMe 2.1” served as the basis for the development of “EconoMe-Railway”, which will be presented in the following section.

METHODOLOGY ECONOME-RAILWAY

One important step of innovation of “EconoMe-Railway” was the collaboration of the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), the Swiss Federal Office of Transport (FOT), and the most important Swiss railway companies aiming at the development of a common tool for risk assessment and economic evaluation of mitigation measures along railways, which is compatible with “EconoMe 2.1”. Mitigation measures along railways in Switzerland are paid either to 100% by the railway company, or partly by the railway company, FOEN, FOT, and other beneficiaries. In many cases FOEN is partly subsidizing mitigation measures along railways; therefore, it was interested in a high compatibility of EconoMe-Railway with “EconoMe 2.1”. Based on the risk concept (Fig. 1), “EconoMe-Railway” is able to deal with Alpine natural hazards like avalanches, rock fall and rock avalanches, flood, debris flow, spontaneous, shallow landslides and permanent landslides.

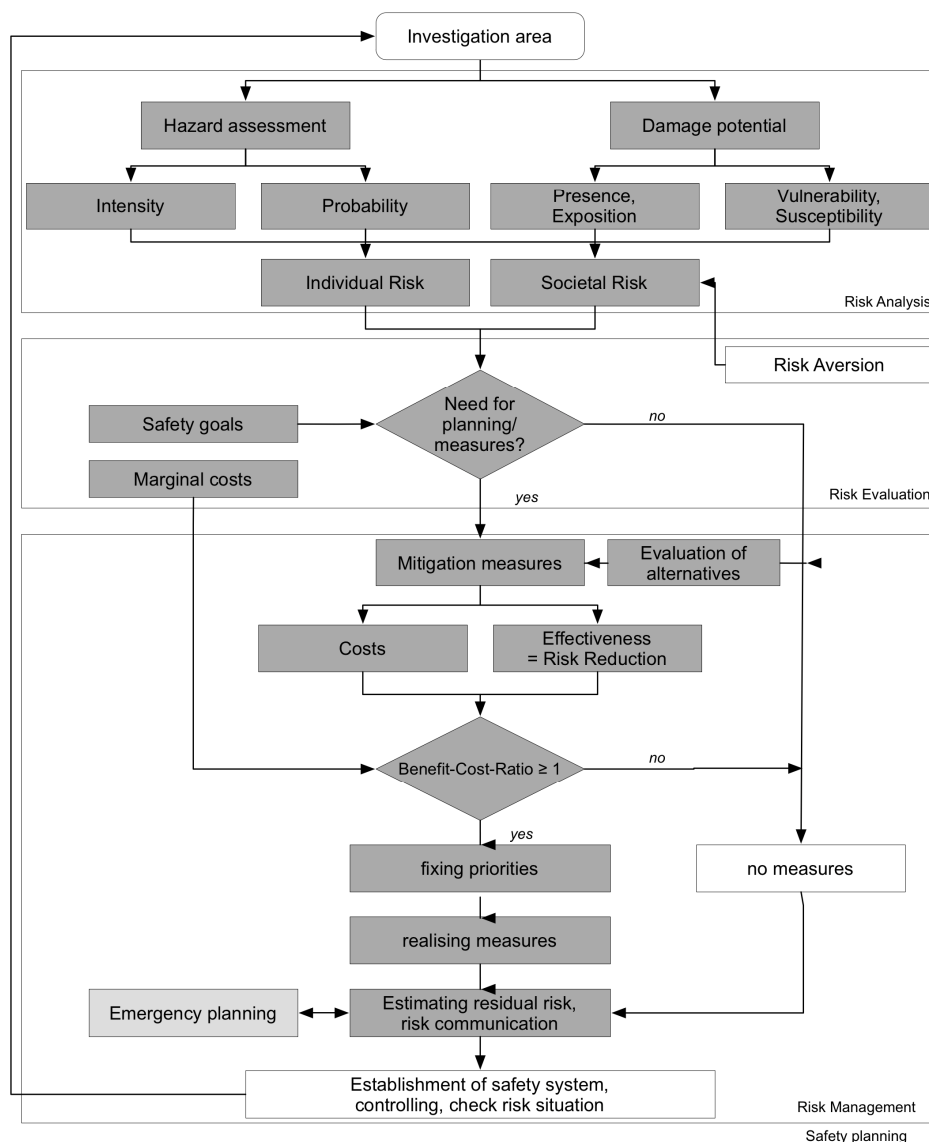


Fig. 1 Schematic illustration of safety planning as it is implemented in “EconoMe-Railway”. This concept follows the risk concept documented in the guideline RIKO (Bründl, 2009).

The risk analysis consists of a hazard analysis and an analysis of the damage potential (Fig. 1). The results of the hazard analysis are intensity maps for various scenarios, which show the physical impact and the spatial extent of processes according to the Swiss guidelines (BFF and SLF, 1984; Loat and Petrascheck, 1997; Lateltin et al., 1997). Their quality is very significant for the results of risk analyses, as sensitivity analyses with “EconoMe” have shown (Schaub and Bründl, 2010). The result of the risk analysis are values of the individual risk and the societal (or collective) risk, i.e. the sum of all risks to persons and material assets but also expected economic loss due to interruption of railway tracks.

In risk evaluation it has to be decided whether mitigation measures have to be taken. One criterion is the individual risk. The individual risk of a person in train is not allowed to exceed 10^{-5} /year due to the protection goal, the authorities responsible for natural hazard management in Switzerland have agreed to (BAFU, 2011a; BAFU and BAV, 2011). If this threshold is exceeded, measures have to be taken. The threshold of 10^{-5} is well in line with comparable values in the literature (e.g. Pate-Cornell, 2002; Jonkman et al., 2008).

In the following risk management step (Fig. 1) mitigation measures are evaluated against their economical, ecological and social compatibility. Economical compatibility is assessed by the benefit-cost-ratio (eq. 4), while the two other are assessed qualitatively.

Along railways there are different damage profiles that have to be considered. Therefore, one crucial step in the development of “EconoMe-Railway” was to structure various damage profiles with an event tree (Fig. 2).

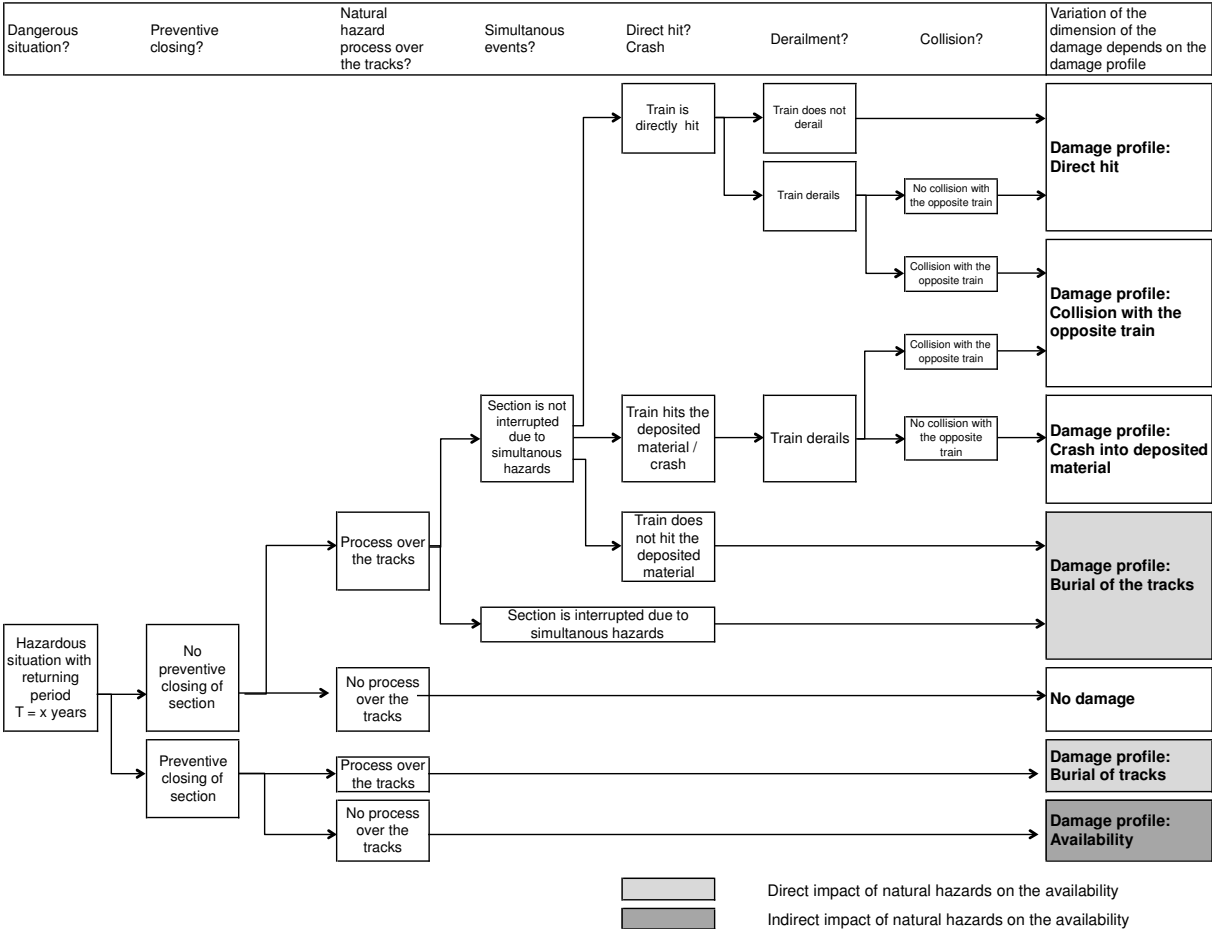


Fig. 2 Event tree “EconoMe-Railway”. The event tree illustrates the various damage profiles taken into account for risk analysis.

Starting with the assumption that a train is entering a section endangered by a hazard process with a return period of x years, it is divided into main categories that serve as criteria for branching. These are: preventive closure (yes/no), hazard process over the track (yes/no), simultaneous events in the railway section (yes/no), direct hit (yes/no), collision with deposited material on the track (yes/no),

derailment (yes/no), and collision with an oncoming train (yes/no). The event shows various damage profiles at the right side as a consequence of subsequent incidents potentially occurring along a railway. The damage of each of these damage profiles is calculated and contributes to the risk. Equations and assumptions used for the calculation of risk are summarized in the documentary report of “EconoMe-Railway” (Winkler et al., 2011).

The access to “EconoMe-Railway” is restricted to persons authorized by the subsidizing organisation. The workflow in “EconoMe-Railway” is strictly organised. The user is guided step-by-step through the risk analysis task, the risk evaluation task and the evaluation of an analysed mitigation project by its benefit-cost-ratio. The mandatory working procedure consisting of ten steps allows a subsequent step only when the preceding step was successfully finished (Fig. 3).

Projektfortschritt				
Aktion	Arbeitsschritt	Bearbeiter	Datum/Zeit	Status
	1. Projektleiter benachrichtigen	Winkler, Cornelia	13.04.11, 16:03:02	☑
👁️ 🔧	2. Systembeschreibung	Laeubli, Lara	26.04.11, 09:51:20	☑
👁️ 🔧	3. Gefahrenanalyse und Szenariendefinition	Laeubli, Lara	16.05.11, 11:14:52	☑
👁️ 🔧	4. Schadenpotential im Perimeter	Laeubli, Lara	26.04.11, 09:52:15	☑
👁️ 🔧	5. Konsequenzenanalyse	Laeubli, Lara	26.04.11, 09:48:20	☑
👁️ 🔧	6. Individuelles Risiko	Laeubli, Lara	19.04.11, 16:25:48	☑
👁️ 🔧	7. Definition der Massnahme	Laeubli, Lara	19.04.11, 17:44:29	☑
🔧	8. Konsequenzenanalyse nach Massnahme			🔒
	9. Individuelles Risiko nach Massnahme			🔒
	10. Übersicht Risiken und Kosten			🔒
	11. Projektabschluss			🔒

Fig. 3 Depiction of the workflow implemented in “EconoMe-Railway”. The working procedure demands that every step has to be successfully finished before the next step can be started. Finished working steps are indicated in green (status symbol: hook), working steps in progress in yellow (status symbol: wrench) and remaining working steps in red (status symbol: closed lock).

- Step 1: Message to project leader: the organization responsible for subsidizing a mitigation project is initiating a project and is sending a password to the project leader;
- Step 2: Description of the investigated site: the section under investigation is described by the frequency of trains, the length of trains, the velocity, the number of passengers, the monetary value of trains, the number of tracks, interruption cost per day, etc. Additionally, the prevailing hazard processes are defined;
- Step 3: Analysis and definition of scenarios: the scenarios for each of the considered hazard processes (e.g. ≤ 10 -year, 30-year, 100-year, 300-year event for avalanches and debris flows) are defined. For each scenario of each process the percentage of the affected section length, the probability of processes hitting the track, the probability of interruption due to simultaneous events, the duration of interruption, the probability of preventive closure, the duration of interruption due to preventive closure, and the probability that the driver is instructed to drive on-sight is estimated.
- Step 4: Determination of the damage potential: the damage potential like tracks, stations, and other infrastructure along the section is characterized by length, number and type of trains, number of passengers in each train type, velocity of each train type, and the monetary value.
- Step 5: Consequence analysis before mitigation: this is the crucial step of risk analysis. Based on the impact of a hazard indicated as intensity in the intensity maps, the consequences for each of the considered scenarios of each process, i.e. the damages, are calculated. The resulting damages are separately listed for each damage profile. Based on the frequency of the scenarios the annual risk can be calculated (Fig. 4).
- Step 6: Calculation of individual risk before mitigation: the risk to an individual person depending on the frequency of passing the endangered section (normally 2 – 4 times per day) is calculated.

- Step 7: Definition of mitigation measure(s): various mitigation measures and combination of measures are defined and described by initial investment, annual costs for maintenance and operation, and lifetime n . The annual costs of mitigation measures are calculated according to eq. 3.
- Step 8: Consequence analysis after mitigation: this step is a repetition of step 5; however, the effectiveness of the mitigation measures is taken into account by using intensity maps including the effect of the considered mitigation measures. The remaining annual risk should be significantly lower compared to the risk before measures (step 5). The difference of the risk obtained in step 3 and step 5 yields the reduced risk, i.e. the benefit of the mitigation measures.
- Step 9: Calculation of individual risk after mitigation: this step is a repetition of step 6 but with regard to the effect of mitigation measures.
- Step 10: Overview on risks and costs: in this step an overview on the calculated risk of each scenario is presented; it allows for a comparison of risk reduction and cost, i.e. the benefit-cost-ratio.
- Step 11: Close of project: the working procedure is finished and reports including the results can be stored or printed.

“EconoMe-Railway” was completed in May 2011. Currently, it is tested by all involved railway companies. First applications indicate slightly different results from “EconoMe” mainly due to additional damage profiles. In the following section the application of “EconoMe-Railway” is presented by an example.

APPLICATION OF ECONOME-RAILWAY IN A CASE STUDY

Due to data protection reasons we will present an anonymous example. The chosen railway section (hereafter named as section A) is a single track railway and part of a larger section endangered by rock fall. For the hazard analysis we chose a 1-year, a 30-year, a 100-year, and a 300-year scenario. The methodology and all equations that are implemented in the calculation tool are documented in the methodology handbook available on the Website of “EconoMe-Railway” (Winkler et al., 2011). For the risk analysis a number of data and factors are necessary, summarised in Tab. 1.

Tab. 1 Data and factors used for risk analysis of sector A.

Data, Factor	Value
Length of railway section	2,265 m
Length intensity class in scenario 1-year (low/medium/high)	795/610/0 m
Length intensity class in scenario 30-, 100-year (low/medium/high)	0/795/610 m
Length intensity class in scenario 300-year (low/medium/high)	0/0/1405 m
Frequency trains / day	53
Velocity trains	80 km/h
Length of trains	83 m
Average number of passengers per train	44
Monetary value of train	5 million CHF
Interruption costs for duration of 1 – 3 days	100,000 CHF / day
Interruption costs for duration of 4 – 7 days	200,000 CHF / day
Interruption costs for duration > 7 days	100,000 CHF / day
Value of statistical life (VSL) for averting a fatality	5 million CHF / averted fatality

The intensity maps of the 100-year and the 300-year section A are shown in Fig. 4 (sections of equal intensity are the same for the 30-, and the 100-year scenario). The three intensity classes were selected

according to the Swiss guidelines for hazard mapping for rock movements (Lateltin et al., 1997) considering the kinetic energy of rocks. Low intensity (marked with “l” in Fig. 4) holds for kinetic energy below 30 kJ, medium intensity (marked with “m” in Fig. 4) for a kinetic energy between 30 and 300 kJ and high intensity (marked with “h” in Fig. 4) for a kinetic energy of larger than 300 kJ.

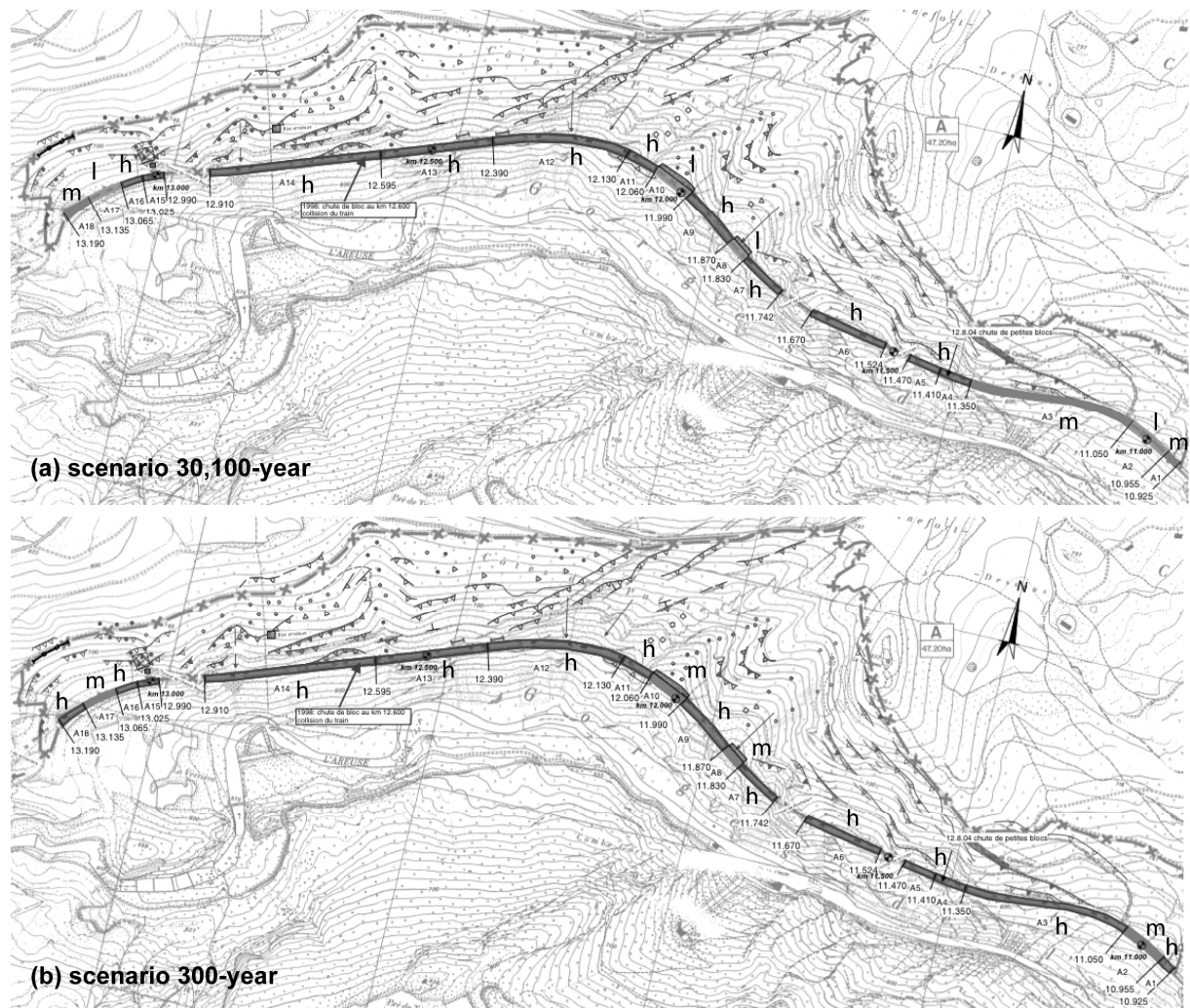


Fig. 4 Intensity maps of the railway section A. Low intensity is marked with “l”, medium intensity with “m”, high intensity with “h” according to the Swiss guidelines for hazard mapping of rock fall (Lateltin et al., 1997). In the 1-year scenario the length of low intensity corresponds to the length of medium intensity in the 30-, 100-year scenario; the length of medium intensity (1-year scenario) corresponds to high intensity in the 30-, 100-year scenario.

Based on these assumptions the risk to persons, railway infrastructure and risk due to spillage of tracks, clearing and interruption was calculated. The results show that without measures risk to railway infrastructure and risk to persons contribute to 99% of the risks, while risk due to spillage of tracks, clearing and interruption contributes to only 1% (Tab. 2). For mitigating the risks rock fall net fences were considered at annual cost of 280,000 CHF (invest sum: 5.6 million CHF; annual maintenance costs: 112,000 CHF, lifetime: 50 years; discounting rate: 2%, according to eq. 3).

This mitigation measure would completely reduce the risk in the 1-, 30-, and 100-year scenarios, whereas the risk in the 300-year scenario would not be reduced. Risk reduction ranges between 90 and 100% for the different categories.

Tab. 2 Damage and risk in all scenarios before and after measures.

Category	Damage before measures [CHF]				Damage after measures [CHF]			
	Sc 1	Sc 30	Sc 100	Sc 300	Sc 1	Sc 30	Sc 100	Sc 300
Railway infrastructure	321,103	305,241	343,558	354,908	0	0	0	354,908
Persons	2,827,825	2,713,235	3,139,860	3,517,045	0	0	0	3,517,045
Spillage of track	17,120	63,473	190,418	442,575	0	0	0	442,575
Clearing costs	5,620	11,240	33,720	56,200	0	0	0	56,200
Interruption costs	4,167	12,500	100,000	200,000	0	0	0	0
Availability	0	0	0	0				0
Risk assets	331,699 CHF/yr				1,183 CHF/yr			
Risk persons	2,923,790 CHF/yr				11,723 CHF/yr			
Risk spillage of tracks	21,346 CHF/yr				1,475 CHF/yr			
Risk clearing costs	6,294 CHF/yr				187 CHF/yr			
Risk interruption costs	5,792 CHF/yr				0 CHF/yr			
Risk availability	0 CHF/yr				0 CHF/yr			
Total risk	3,288,920 CHF/yr				14,569 CHF/yr			

A closer look to the results of the consequence analysis considering mitigation measures (step 8) for the 300-year scenario is shown in Fig. 5. It indicates that damage due to collision with deposited material on the tracks (“Anprall” in Fig. 5) contributes mainly to the damage to persons compared to the risk due to a direct hit of the train (“Direkttreffer” in Fig. 5). Spillage of the track (“Gleisverschüttung” in Fig. 5) also significantly contributes to the damage in the 300-year scenario. However, the main damage is composed of damage to persons, which is monetised with 5 million CHF per fatality (VSL).

— Übersicht Konsequenzenanalyse, -				
Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion				
Kategorie	Szenario 10	Szenario 30	Szenario 100	Szenario 300
Gebäude	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Sonderobjekte	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Strassenverkehr	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Leitungen	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Mechanische Aufstiegshilfe	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Schieneverkehr	321 373 CHF	304 483 CHF	338 390 CHF	338 516 CHF
Sonderobjekte Bahn	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Personen	5 270 650 CHF	4 994 820 CHF	5 554 100 CHF	5 562 050 CHF
Gleisverschüttung	3 985 CHF	15 278 CHF	45 833 CHF	92 925 CHF
Räumungskosten	1 180 CHF	2 360 CHF	7 080 CHF	11 800 CHF
Betriebsausfall	4 167 CHF	12 500 CHF	100 000 CHF	200 000 CHF
Verfügbarkeit	0 CHF	0 CHF	0 CHF	0 CHF
Schadenausmass Gesamt	5 601 354 CHF	5 329 441 CHF	6 045 403 CHF	6 205 291 CHF
Schadenausmass Personen	1.05413 Tf	0.998964 Tf	1.11082 Tf	1.11241 Tf
Übersicht integriertes Risiko/Jahr - Alle Szenarien				
Risiko Sachwerte				31 914 CHF/a
Risiko Personen				523 490 CHF/a
Risiko Gleisverschüttung				1 237 CHF/a
Risiko Räumungskosten				220 CHF/a
Risiko Betriebsausfall				1 903 CHF/a
Risiko Verfügbarkeit				0 CHF/a
Gesamtrisiko				558 764 CHF/a

Fig. 5 Results of step 8 in “EconoMe-Railway” presenting the results for the 300-year scenario. The table gives an overview on damages for all considered damage profiles (see Fig. 2). Fatalities are monetised with 5 million CHF (VSL). The total risk considering mitigation measures amounts to 14,600 CHF/year. Translation of terms: Schadenausmass = damage; Risiko = risk; Jahr = year; Personen = persons; Sachwerte = assets; Gesamt = total; Ereignis = event; Todesfälle = fatalities; Fahren auf Sicht = driving on sight; vorsorgliche Sperrung = precautionary closure; Personenzug = passenger train; Güterzug = cargo train; Direkttreffer = direct hit; Anprall = collision with rocks on tracks; Kollision = collision with oncoming train; Gleisverschüttung = spillage of tracks; Räumungskosten = clearing costs; Betriebsunterbruch = interruption costs; Verfügbarkeit = availability.

Given a risk reduction of 3.3 million CHF per year and annual costs of mitigation measures of 280,000 CHF per year the benefit-cost-ratio is calculated as 11.8, meaning that 1 CHF invested in mitigation prevents 12 CHF of damage (considering the factors and the assumptions of the risk analysis).

DISCUSSION AND CONCLUSION

In mountainous regions safe and reliable traffic routes are indispensable for economic welfare. Therefore, it is the goal of authorities in charge for safety to achieve the maximum level of safety at reasonable cost. Risk-based decision making and evaluation of economic efficiency of mitigation measures for buildings and traffic routes has become state-of-the-art (e.g. Gamper et al., 2006; Budetta, 2004; Agliardi et al., 2009; Rheinberger et al., 2009). In Switzerland, the national strategy for dealing with natural hazards is based on the risk concept (PLANAT, 2005), which has been implemented during the last years by several calculation tools for risk assessment and benefit-cost-analysis of mitigation measures (Bründl et al., 2009; BAFU, 2011a, 2011b; ASTRA, 2011). One of these calculation tools is “EconoMe-Railway” (BAFU and BAV, 2011), which is based on “EconoMe”, a decision support tool for cantons and for the Federal Office for the Environment for prioritising mitigation measures (BAFU, 2011a). “EconoMe-Railway” was developed for addressing the specific needs of the Swiss railway companies to risk assessment and to the evaluation of mitigation measures. “EconoMe-Railway” allows for considering various damage profiles typical for railway traffic like e.g. direct hit, collision with deposited material on tracks, collision with oncoming trains; additionally, the economic consequences of business interruptions caused by deposited material on tracks or the economic consequences precautionary closures can be calculated. As started by representatives of railway companies, these economic consequences often cause significantly larger financial loss than direct damages to railway infrastructure. This statement is confirmed by a case study along the Lecco-Colico railway, where an 8-day long traffic interruption caused by a rock fall of 4000 – 5000 m³ caused significant economic losses for the railway company, estimated to be about 1,600,000 Euro (Agliardi et al., 2009).

“EconoMe-Railway” was developed as an online tool, which can only be accessed by authorised users, who are in charge of assessing risk on railways and planning of mitigation measures. The mandatory working steps are in close agreement with the general risk concept and to comparable analyses of natural risks along transportation lines (Jaiswal et al., 2010). The application of “EconoMe-Railway” is illustrated by a case study of a railway section in the Swiss Alps endangered by rock fall. The results of this case study showed that risks to persons and to assets contributed to over 90% of the total risk. Risk to persons caused by collision of the train with deposited material on the track is the main reason for fatalities in this study. This might be due to the fact that the probability of fatalities is modelled as probably too high in the damage profile “collision with material on the track”. In “EconoMe-Railway” the fatality rate depends on the velocity of the train and the terrain type in the area of an accident. In the regarded case the lethality is assumed to be 0.015 (hilly terrain, velocity 80 km/h). Since the data base for comparable accidents is thin, risk assessment along railways have to base on rough assumptions. Consequent recording of such accidents is necessary in order to improve the data basis and the results of risk assessments along railways.

Despite these uncertainties, “EconoMe-Railway” makes risk assessments and benefit-cost-analyses along railways comparable and supports authorities and planning engineers in their decision-making regarding the efficient use of resources. Experiences gained with the tools of the “EconoMe-family” (BAFU, 2011a,b; BAFU, BAV, 2011) so far are indicating that user-friendly risk assessment tool are supporting risk-based decision making.

ACKNOWLEDGEMENTS

The development of “EconoMe-Railway” was supported by the Swiss Railway Company SBB, the Bern-Lötschberg-Simplon Railway Company BLS, the Bernese Oberland Railway Company BOB, the Matterhorn-Gotthard Railway Company MGB, the Rhatian Railway Company RhB, the Zentralbahn, the Federal Office for Traffic, and the Federal Office for the Environment. We thank for fruitful discussions and financial support. We especially thank Peter Gutwein, GRSOft for his patience and his support during the development phase of “EconoMe-Railway”. Parts of this study were elaborated within the Interreg Project PARAMount (“imProved Accessibility: Reliability and security of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate”). The first author thanks the Center for Interdisciplinary Research (ZiF) in Bielefeld for the

excellent support during his fellowship in the research group “Communicating Disaster”. We also thank an anonymous reviewer for valuable comments.

REFERENCES

- Agliardi F., Crosta G. B., Frattini P. (2009). Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 1059-1073.
- ASTRA (2011). RoadRisk 1.0. Beurteilung von Naturgefahren auf Nationalstrassen. <http://www.roadrisk.admin.ch>. Federal Roads Office, Bern. (Access 4 October 2011).
- BAFU (2011a). EconoMe 2.1. Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. www.econome.admin.ch. Federal Office for the Environment, Bern. (Access 4 October 2011).
- BAFU (2011b). EconoMe-Develop 1.0. Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. www.econome-develop.admin.ch. Federal Office for the Environment, Bern. (Access 4 October 2011).
- BAFU, BAV (2011). EconoMe-Railway 1.0. http://www.econome.ch/eco_rail. Federal Office for the Environment and Federal Office for Transport, Bern. (Access 4 October 2011).
- BFF, SLF (1984). Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. EDMZ, Bern.
- Bründl M. (Editor) (2009). Risikokzept für Naturgefahren. Einzelprojekt A1.1: Leitfaden. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern, 420 pp. <http://www.planat.ch>. (Access 1 September 2011).
- Bründl M., Romang H., Bischof N., Rheinberger Ch. (2009). The Risk Concept and Its Application in Natural Hazard Risk Management in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(3): 801-813.
- Budetta P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4(1): 71-81.
- Burkard A., Winkler C. (2005). Pflichtenheft Risikoanalysen Naturgefahren SBB. Mit Excel-Anwendungs-Tool. Brig.
- Gamper C.D., Thöni M., Weck-Hannemann H. (2006). A conceptual approach to the use of Cost Benefit and Multi Criteria Analysis in natural hazard management. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6(2): 293-302.
- Hammitt J.K., Robinson L.A. (2011). The Income Elasticity of the Value per Statistical Life: Transferring Estimates between High and Low Income Populations. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 2(1): Article 1. DOI: 10.2202/2152-2812.1009.
- Jaiswal P., Westen C.J.v., Jetten V. (2010). Quantitative assessment of direct and indirect landslide risk along transportation lines in southern India. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10(6): 1253-1267.
- Jonkman S., Kok M., Vrijling J. (2008). Flood Risk Assessment in the Netherlands: A Case Study for Dike Ring South Holland. *Risk Analysis*, 28(5): 1357-1374.
- Krummenacher B., Romang H., Odermatt L. and Kühne R. (2006). Überprüfung des BAFU Excel Tools "Wirtschaftlichkeitsindex". Bericht No. G0509.1, ARGE GEOTEST und tur GmbH, Davos.
- Lateltin O., Tripet J.-P., Bollinger D. (1997). Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen, BUWAL, BWW, BRP.
- Loat R., Petrascheck A. (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen, BWW, BRP, BUWAL.
- Pate-Cornell M.E. (2002). Risk and uncertainty analysis in government safety decisions. *Risk Analysis*, 22(3): 633-646.
- PLANAT (2005). Strategie Naturgefahren Schweiz. Synthesebericht in Erfüllung des Auftrages des Bundesrats vom 20. August 2003. www.planat.ch (Access 4 October 2011).
- Rheinberger C.M. (2011). A Mixed Logit Approach to Study Preferences for Safety on Alpine Roads. *Environmental Resource Economics*, 49(1): 121-146.
- Rheinberger C.M., Bründl M., Rhyner J. (2009). Dealing with the White Death: Avalanche Risk Management for Traffic Routes. *Risk Analysis*, 29(1): 76-94.
- Schaub Y., Bründl M. (2010). Zur Sensitivität der Risikoberechnung und Massnahmenbewertung von Naturgefahren. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 161(2): 27-35.
- Wilhelm C. (1999). Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen 1999 Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Vollzug Umwelt. Praxishilfe. Buwal, Bern, 110 pp.

- Winkler C., Lambrigger A., Bründl M. (2011). EconoMe-Railway Methodik. Risikoanalysen Naturgefahren entlang von Bahnstrecken. Version 1.0 vom 19. Mai 2011, unpublished, Brig, 51pp.
- Winkler C. (2011). Study of indirect consequences as a result of closed railway lines caused by natural hazards. Working report Interreg IV-B Alpine Space PARAMount. Brig-Glis, 62pp. <http://www.paramount-project.eu> (Access 4 October 2011).

ARBEITSHILFE FÜR KOMMUNIKATION UND STRATEGISCHE ENTSCHEIDUNGEN IM BEREICH VON NATURGEFAHREN (CDT)

COMMUNICATION AND STRATEGIC DECISION SUPPORT TOOL FOR NATURAL HAZARDS (CDT)

Karl Hagen¹, Peter Andrecs², Marc Simon Adams³

ZUSAMMENFASSUNG

Bei Entscheidungsprozessen, die Einfluss auf die Raumordnung haben, treffen verschiedene Interessensgruppen und Fachbereiche aufeinander. Zwischen diesen bestehen häufig Schwierigkeiten Inhalte so zu vermitteln, dass sie von den jeweiligen Adressaten auch im beabsichtigten Sinne interpretiert werden. Eine gemeinsame, nachvollziehbare Kommunikationsbasis ist im Prozess der Entscheidungsfindung ein wesentlicher Faktor.

Die entwickelte Arbeitshilfe für Kommunikation und strategische Entscheidungen im Bereich von Naturgefahren (**Communciation and Strategic Decision Support Tool for natural hazards – CDT**) ist ein Ansatz, der einen sachlichen Zugang zu teilweise emotional geführten Diskussionen im Bereich des Naturgefahrenmanagements ermöglicht, in dem entscheidungsrelevante Grundlageninformationen strukturiert aufbereitet werden. Ausgangspunkt ist die Bewertung von Einflussgrößen von Naturgefahrenprozessen, basierend auf den Ergebnissen einer online-Expertenbefragung. Auswirkungen möglicher Veränderungen dieser Einflussgrößen - insbesondere in Hinblick auf den Klimawandel – werden im Sinne einer Ursachen–Wirkungs-Analyse auf regionaler Ebene nachvollziehbar dargestellt. Die Kommunikation zwischen Experten verschiedener Disziplinen aber auch zwischen Experten, Entscheidungsträgern und Beteiligten wird dadurch verbessert und der Entscheidungsfindungsprozess unterstützt.

Schlüsselworte: Naturgefahren, Kommunikation, Raumplanung, Entscheidungsunterstützungssystem

ABSTRACT

In the frame decision-making relevant for spatial development, different groups of experts and stakeholders with various professional backgrounds interact. However, these groups often lack a common, traceable communication basis, which is a major factor in the process of decision making.

In this context the CDT (**Communciation and strategic Decision Support Tool for natural hazards**) aims at offering a factual discussion basis in sometimes emotional discussions in the field of natural hazard management. The main aim of the CDT is presenting a structured approach offering crucial basic information. Single factors were rated by experts in the course of an online-survey concerning the relevance of parameters from different natural hazard processes. The consequences of the parameter variation – particularly with regard to Climate Change - were displayed in a traceable fashion, following the principle of cause and effect. Thus, the communication between experts of different thematic areas but also between experts, decision-makers and other involved and/or affected persons are supported.

¹ DI Karl Hagen, Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Dep. Natural Hazards, Hauptstr. 7, 1140 Vienna, Austria (e-mail: karl.hagen@bfw.gv.at)

² DI Dr. Peter Andrecs, Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Dep. Natural Hazards, Hauptstr. 7, 1140 Vienna, Austria (e-mail: peter.andrecs@bfw.gv.at)

³ Mag. Marc Simon Adams, Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Dep. Natural Hazards, Rennweg 1, 6020 Innsbruck, Austria (e-mail: marc.adams@uibk.ac.at)

Keywords: natural hazard, communication, spatial planning, decision support system

EINLEITUNG

„Drei Ärzte – vier Diagnosen“

– dieses Phänomen tritt mitunter auch im Bereich des Naturgefahrenmanagements auf. Bei raumrelevanten Entscheidungsprozessen sind unterschiedliche Interessensgruppen und Experten verschiedener Fachbereiche involviert. Informationen, Meinungen und Interessen werden daher aus verschiedenen Blickwinkeln wahrgenommen („Bei gleicher Umgebung lebt doch jeder in einer anderen Welt“, Schopenhauer, 1851). Dementsprechend treffen auch im fachlichen Sinne „verschiedene Sprachen“ aufeinander. Vermittelte Inhalte werden von den Adressaten nicht immer im gewünschten Sinne aufgenommen bzw. interpretiert (Fischer-Epe, 2002). Eine gemeinsame, für alle Beteiligten nachvollziehbare Kommunikationsbasis ist aber ein wesentlicher Faktor im Prozess der Entscheidungsfindung. Dies trifft auch auf den Bereich der Naturgefahrenprozesse zu. Durch die in der Öffentlichkeit geführte Diskussion zum Thema Klimaänderung und deren mögliche Auswirkungen auf Naturgefahrenprozesse, wird diese Problematik verstärkt.

Mit dem am BFW entwickelten CDT (Communication- and Strategic Decision Support Tool) wurde versucht, einen Ansatz anzubieten, der eine sachliche Basis für die teilweise emotional geführten Diskussionen ermöglichen soll. Im Sinne eines „Decision Tools“ werden entscheidungsrelevante Grundlageninformationen zu dieser Thematik strukturiert aufbereitet. Durch die bessere Verständlichkeit von Inhalten soll den Verantwortlichen die Vorgabe von Regeln erleichtert und durch deren Nachvollziehbarkeit bei den Betroffenen die Akzeptanz verbessert werden.

PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen des Naturgefahrenmanagements bedarf es unter anderem einer Abwägung und Gewichtung von Raumnutzungsansprüchen. Denn erst durch menschliche Aktivitäten entstehen Schadenspotenziale und Naturgefahren werden zu Risiken. Eine optimierte Entscheidungsfindung erfordert geeignete Grundlageninformationen, Methoden und eine gemeinsame Kommunikationsbasis. Die Abschätzung von Naturgefahrenprozessen ist jedoch mit Unsicherheiten verbunden, was Entscheidungen erschwert und Maßnahmen in Frage stellen kann (Berlinger und Holenstein, 2011). Gleichzeitig werden von der Bevölkerung im Alpenraum sehr hohe Sicherheitsansprüche an Administration und Entscheidungsträger gestellt, wobei ökonomische Überlegungen den Handlungsspielraum limitieren. Sich ändernde klimatische Rahmenbedingungen und deren mögliche Auswirkungen auf Naturgefahrenprozesse erhöhen die Unsicherheit (Hagen und Andrecs, 2012a; Andrecs et al., 2010; Pichler, 2010), insbesondere, da die Entwicklung maßgeblicher Einflussgrößen (z.B. Starkniederschläge) noch keinesfalls klar ist (u.a. IPCC, 2011; Schöner et al., 2011; Böhm, 2008).

Naturgefahrenprozesse sind als komplexe, multifaktorielle Prozesse mit häufig variablem Ursachen-Wirkungsgefüge grundsätzlich schwer abzuschätzen. Die Zersplitterung und Weitläufigkeit der öffentlich-rechtlichen Implikationen im Hinblick auf Naturgefahren erschwert den planerischen Umgang zusätzlich (Kanonier, 2011; Khakzadeh, 2007). Es bedarf daher flexibler Instrumente und des Zusammenwirkens verschiedenster Akteure und Experten um bestmögliche Entscheidungen zu treffen bzw. Änderungen im Wissenstand rasch in Planungen einfließen zu lassen. Die Entscheidungsfindung sollte für die betroffenen Personengruppen (größtenteils Laien in diesem Bereich) nachvollziehbar sein, um die Notwendigkeit der Maßnahmen plausibel darstellen und die Akzeptanz erhöhen zu können.

Konkret werden folgende Informationen benötigt (Andrecs et al., 2010):

- aktuelle Unterlagen zu Gefahren, die aus den verschiedenen Prozessstypen resultieren
- aktueller Stand des Prozessverständnisses (Ursache – Wirkung)
- aktueller Stand des Wissens zur Klimaänderung (insbesondere für prozessrelevante Einflussgrößen) regional gegliedert
- Informationen zu Raumnutzungen (aktuelle/geplante)

Weiters wird ein Bewertungsschema benötigt, das den Einfluss von Änderungen der Rahmenbedingungen auf die verschiedenen Prozesse transparent darstellt. Dieses muss zumindest für

Experten verschiedener naturgefahrenrelevanter Fachgebiete nachvollziehbar und als Basis für die Entscheidungsfindung geeignet sein.

ZIEL

Die vorgestellte Methode wurde im Rahmen des von EFRE - Mitteln (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) finanzierten Alpine Space Programme 2007-2013 Projektes PARAMount (imPROved Accessibility: **R**eliability and security of Alpine transport infrastructure related to **m**ountainous hazards in a changing climate) entwickelt. Der Kernbereich der Arbeit lag in der Erstellung eines einfachen, nachvollziehbaren und flexiblen Bewertungsschemas, welches Naturgefahrenprozesse (Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten, Muren, spontane Rutschungen, Steinschlag und Lawinen) in ihrem Gefüge von Ursache und Wirkung verständlich abbildet und auch mögliche Änderungen des Klimas darstellbar macht.

DSS (Decision Support Systems) sind computergestützte Informationssysteme, die nach allgemeiner Definition für Entscheidungsträger relevante Informationen für operative und strategische Aufgaben ermitteln, aufbereiten, übersichtlich zusammenstellen und bei der Auswertung helfen (Wikipedia, 2012). Im Bereich des Naturgefahrenmanagements wird der Begriff des DSS bzw. HDSS (Hazard Decision Support Systems, z.B. Assilzadeh und Mansor, 2012) recht weit gefasst. Grundsätzlich werden darunter nach prozessspezifischen Gesichtspunkten aufbereitete Informationen verstanden, die Hilfestellung bei der Abschätzung von Gefahren, Risiken und der Ableitung von zu treffenden Maßnahmen (decisions) bieten. Diese reichen von Monitoring- und Frühwarnsystemen (z.B. Gabriele et al., 2009) bis hin zu GIS mit prozessspezifisch aufbereiteten Inhalten (z.B. Erlingsson, 2012).

Die mit dem am BFW entwickelten CDT erreichbaren „Ergebnisse“ sollen Hilfsmittel für Planungen im regionalen Maßstab sein. Sie bieten eine strukturierte Kommunikationsbasis für Experten verschiedener Disziplinen untereinander sowie für Experten, Entscheidungsträger und Beteiligte an. Zielsetzung ist es, die Entscheidungsfindung in einer „gemeinsamen Sprache“ und in nachvollziehbarer Weise zu unterstützen. So sollen bessere Ergebnisse und eine breitere Akzeptanz der Resultate und Maßnahmen erreicht werden. Dafür ist eine Methode erforderlich, die es erlaubt, die Informationen mit realistischem Aufwand zu erfassen und strukturiert aufzubereiten. Die Stärken und Schwächen dieses entwickelten Ansatzes sollen an Hand von Anwendungsbeispielen dargestellt und die Richtung der Weiterentwicklung aufgezeigt werden.

ALLGEMEINES ZUR METHODE

Eine wesentliche Herausforderung für die Autoren bestand in der Entwicklung einer Methode, mit der komplexe Naturgefahrenprozesse und deren Reaktionen auf veränderte klimatische Rahmenbedingungen bewertet werden können. Der gefundene Lösungsansatz verfolgt das Ziel, einzelne Prozesse über ihre Einflussgrößen und Wirkungsparameter darzustellen und diese hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Auslösung und den Prozessablauf auf Basis von Expertenmeinungen zu gewichten. Ändern sich also Parameter durch den Klimawandel, die für den Prozessstyp maßgeblich sind, so ist es naheliegend, dass dies auch Auswirkungen auf den Prozess haben wird. In diesem Fall ist mit einer Veränderung von Prozessauslösung und/oder -ablauf und dadurch mit geänderten Gefahrenpotenzialen zu rechnen.

Die Aufgliederung der Prozesse in Einflussfaktoren, -größen und -parameter (vgl. Abbildung 5 Beispiel: Hochwasserereignisse in Wildbacheinzugsgebieten) kann über unterschiedliche Ansätze erfolgen:

- (1) Gutachtliche Schätzung (pragmatische Methode, Rudolf-Miklau, 2011; Kienholz, 2005)
- (2) vergleichende Literaturstudien
- (3) vergleichende Modellierungen
- (4) Expertenbefragungen

Ad (1): Die gutachtliche Abschätzung von Wirkungsgrößen durch Einzelpersonen ist wenig aufwändig aber durch den jeweiligen Wissens- und Erfahrungsschatz stark subjektiv geprägt und daher kaum geeignet.

Ad (2): Literaturstudien, welche die Bedeutung von Einzelparametern quantifizieren gibt es kaum (Andrecs et al., 2010). Der Vergleich bzw. eine gewichtende Beurteilung zu anderen Einzelparametern ist daher nicht möglich.

Ad (3): Mit Modellen ließe sich die Wirkung der einzelnen Parameter auf den Prozess gut darstellen (Szenarien). Der Vergleich der Gewichtung von Eingangsparametern verschiedener Modelle ist aber schwierig, da diese mit unterschiedlichen Inputparametern arbeiten bzw. verschiedene Aussagen liefern (z.B. Tilch et al., 2011; Hagen et al., 2007). Zudem scheint dieser Ansatz bei entsprechender Anzahl von Modellen und Prozessen sehr aufwändig, wäre aber im Rahmen einer (internationalen) Kooperation eine interessante Variante.

Ad (4): Diese Methode spiegelt die Meinung einer Expertengruppe wider: Unterstellt wird, dass Experten über Erfahrungen mit Modellanwendungen verfügen, einschlägige Literatur lesen und zudem noch einen reichen Schatz an Erfahrungen (Praxis, Projekte etc.) in ihrem Wirkungsbereich mitbringen. Deshalb wurde dieser Variante der Vorzug gegeben. Eine entsprechende Anzahl von Teilnehmern vorausgesetzt, können die arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Parameter als „State of the Art“ für den befragten Bereich angenommen werden, wobei die Resultate als „semiquantifizierend“ im Vergleich untereinander zu bewerten sind. Die Streuung der Antworten kann als Indiz für die fachliche Einigkeit (Stand des Wissens) der teilnehmenden Experten bzw. auch für die Allgemeingültigkeit im Alpenraum (auf den sich die Umfrage bezog) gelten. Geringe Streuung weist auf die Einhelligkeit der Experten bei der Bewertung bzw. auch auf die Uniformität des Zusammenhanges hin, starke Streuung auf Uneinigkeiten der Experten bzw. auch auf regionale Variationen (s. Abbildung 1).

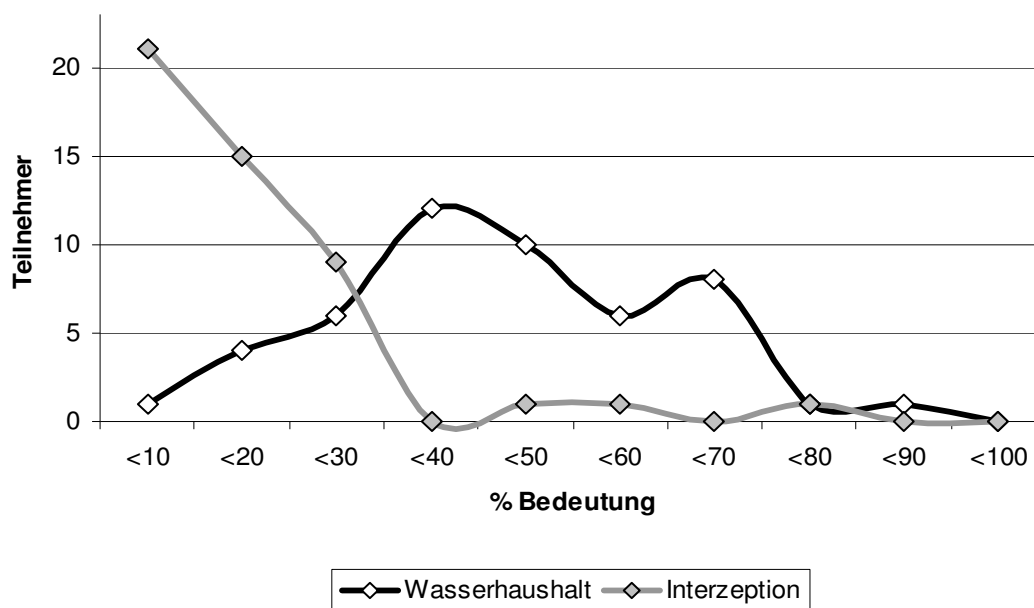


Abb. 1 Gewichtung der Parameter Interzeption und Wasserhaushalt/Speicherungsvermögen bei “Hochwasserereignissen in Wildbacheinzugsgebieten” - online-Expertenbefragung 08/2011
Fig. 1 Weighting of the parameter interception and water supply/storage capacity for the process type “flooding in torrential catchments” – online expert survey 08/2011

Abbildung 1 zeigt, dass die Experten der Interzeption relativ einhellig eine geringe Bedeutung für die Entstehung von Hochwasserereignissen in Wildbächen beimessen. Dem Parameter Wasserhaushalt/Speicherungsvermögen kommt nach Meinung der Experten eine deutlich höhere Bedeutung zu – die Gewichtung variiert allerdings stark.

Die auf diesem Wege ermittelte Relevanz der einzelnen Parameter ist für die konkrete Anwendung in Regionen ggf. mit entsprechender Begründung zu variieren. Über die Einbindung bestehender Gefahrenkarten einzelner Prozesse kann auf Bereiche (hot spots) hingewiesen werden, bei denen es

vermutlich zu Änderungen der Gefährdungen im Zuge sich ändernder Einflussparameter kommen wird. Dabei sind die getroffenen Verallgemeinerungen des Ansatzes zu bedenken.

Der Versuch einer möglichen Bewertung von Naturgefahrenprozessen hinsichtlich ihrer Sensibilität gegenüber sich ändernder klimatischer Rahmenbedingungen startete bereits 2009 im Rahmen des Projektes AdaptEvent („AdaptEvent – Certainty and Accuracy Analysis of Design Events with Respect to Gravitative Natural Hazards and Derivation of Climate Change Adaptation Strategies, Andrecs et al., 2010), welches Teil des Alpine Space Projektes AdaptAlp (**Ad**aptation to Climate Change in the **Al**pine Space) war. Dabei wurde sowohl eine Struktur der für den jeweiligen Naturgefahrenprozess maßgeblichen Parameter als auch ein Schema zu deren Bewertung entwickelt, welches die Grundlage für eine erste online-Expertenbefragung bildete. Aufbauend auf Erfahrungen aus diesen Arbeiten wurden im Projekt PARAMount die Parameterstrukturen unter fachlicher Beteiligung ausgewählter Projektpartner überarbeitet und um den Prozesstyp Steinschlag erweitert. Das Bewertungsschema wurde von einem Schulnotensystem (relative Bewertung im Rahmen von AdaptEvent) auf ein quantifizierendes Schema (Prozentangaben) umgestellt. Dieses Schema verbessert die Analysemöglichkeiten, erhöht allerdings die Anforderungen an die befragten Experten.

METHODIK DER GEWICHTUNG VON EINFLUSSPARAMETERN DER NATURGEFAHRENPROZESSE

Die Methodik für die Bewertung der Einflussfaktoren von Naturgefahrenprozessen folgte dem Ansatz, dass von der Übersicht hin zum Detail gearbeitet wird. In einem ersten Schritt wird die Bedeutung von thematisch zusammengefassten Bereichen bewertet (Abbildung 5). Die **Einflussfaktoren** auf Level 1, die für alle Naturgefahrenprozesse gleich sind, werden in Tabelle 1 dargestellt. Im Rahmen der online-Befragung wurden den einzelnen Begriffen erklärende Zusatzinformationen beigefügt.

Tab. 1 Gliederung der Einflussfaktoren (Bsp. Hochwasser in Wildbächen - Level 1)

Tab. 1 Structure of the influencing factors (e.g. flooding in torrents - level 1)

Naturgefahrenprozess	Level 1 – Einflussfaktoren
Hochwasser in Wildbächen	A - Klimatische Faktoren
	B - Einzugsgebietspezifische Faktoren
	C - Prozessfaktoren (des Transports und der Ablagerung)

Die Gewichtung der Relevanz dieser Faktoren auf den jeweiligen Naturgefahrenprozess erfolgt in Prozentangaben – die Summe der Gewichtungen auf dieser Ebene muss 100% ergeben.

Die thematische Untergliederung der Einflussfaktoren in die **Einflussgrößen** auf Level 2 wird nachstehend am Beispiel „Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten“ in Tabelle 2 dargestellt:

Tab. 2 Gliederung der Einflussgrößen (Bsp. klimatische Faktoren - Hochwasser in Wildbächen - Level 2)

Tab. 2 Structure of influencing values (e.g. climatic factors – flooding in torrential catchments - level 2)

Level 1 – Einflussfaktoren	Level 2 – Einflussgröße
A - Klimatische Faktoren	A1 – Niederschlag
	A2 – Schneeschmelze
	A3 – Andere Wetterfaktoren (Temperatur, Wind,...)

Die Gewichtung der Relevanz dieser Faktoren auf den jeweiligen Naturgefahrenprozess erfolgt wiederum in Prozentangaben – die Summe der Gewichtungen auf dieser Ebene muss ebenfalls 100% ergeben.

Die Einflussgrößen des Levels 2 wurden für die Bewertung auf Level 3 schließlich in einzelne **Einflussparameter** untergliedert. Für den Naturgefahrenprozess „Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten“, wurde beispielsweise die Einflussgröße „A1 – Niederschlag“ in die in Tabelle 3 dargestellten Einflussparameter untergliedert.

Tab. 3 Gliederung der Einflussparameter (Bsp. Niederschlag - Hochwasser in Wildbächen - Level 3)

Tab. 3 Structure of influencing parameters (e.g. precipitation – flooding in torrential catchments - level 3)

Level 2 - Einflussgröße	Level 3 – Einflussparameter
A1 - Niederschlag	Niederschlagsintensität (im Ereignisfall)
	Niederschlagssumme (im Ereignisfall)
	Niederschlagsverteilung (zeitlich, räumlich im Ereignisfall)
	Vorniederschläge (Tage vor dem Ereignis)
	Saisonale Niederschlagsmengen
	Sonstiges

Aufgrund der Tatsache, dass auch auf Level 3 die Summe der Prozentwerte der Gewichtungen der Einflussparameter 100% ergibt, ist über die Multiplikation der Gewichtungen von Einflussfaktoren, -größen und -parametern die Bedeutung jedes einzelnen Einflussparameters für den jeweiligen Naturgefahrenprozess standardisiert und vergleichbar möglich.

PARAMETERSTRUKTUREN

Zunächst war es wichtig, alle Einflussparameter, die für die verschiedenen Prozessstypen relevant sind, zu erfassen. Dafür wurden zu den einzelnen Prozessstypen verschiedene Ansätze und Modelle sowie Ergebnisse vorangegangener Arbeiten analysiert (u. a. Tilch et al., 2011; Andrecs et al., 2010; Dunkel, 2009; Hochschwarzer, 2009; Hagen et al., 2007; Kirnbauer, 2003). Die zur Anwendung kommenden Modell-Inputparameter wurden aufgelistet, mit Experten diskutiert und nach bestimmten Kriterien sortiert.

Der im Rahmen von PARAMount überarbeitete Ansatz gliedert die Einflussfaktoren dabei nach dem Ablauf der Prozesse, ausgehend von möglichen Auslösefaktoren von Naturgefahrenprozessen, über die gebietsspezifischen Grundvoraussetzungen bis hin zu transportprozessrelevanten Parametern. Auf Basis dieser allgemeinen Vorgabe wurde dann für jeden Prozessstyp die Struktur der einzelnen Einflussparameter erstellt.

ERGEBNISSE DER ONLINE-EXPERTENBEFRAGUNG

Die Befragung wurde im Rahmen von PARAMount im Juli 2011 gestartet, wobei mehr als 300 Experten im Alpenraum zur Teilnahme per Email eingeladen wurden. Wahlweise in deutscher oder englischer Sprache wurden Fragen zu folgenden Naturgefahrenprozessen gestellt:

- Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten
- Muren
- (spontane) Lockersedimentrutschungen
- Steinschlag
- Lawinen

Den Teilnehmern war die Wahl der von ihnen zu bewertenden Prozesse freigestellt. Schlussendlich gaben knapp 100 Experten insgesamt 138 vollständige Beurteilungen einzelner Prozesse ab. Abbildung 2 zeigt die Nationalität der Teilnehmer, Abbildung 4 die Anteile der bewerteten Prozesse.

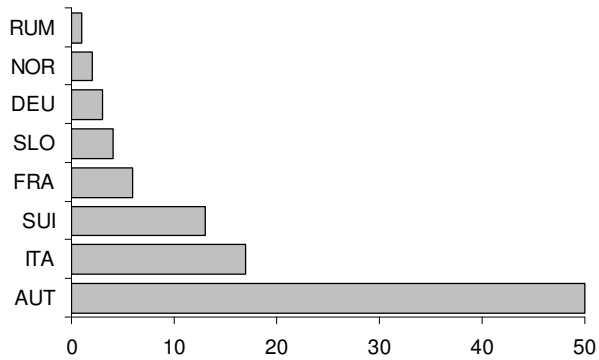


Abb. 2 Anzahl der Teilnehmer an der online-Expertenbefragung 08/2011, geordnet nach dem Land ihres Dienstortes

Fig 2 Number of people who participated in the online expert survey (08/2011), classified according to the country of their place of employment

Etwas mehr als die Hälfte aller Teilnehmer kam aus Österreich. Ursprünglich war vorgesehen, dass die Projektpartner in PARAMount eine Liste mit Ansprechpersonen aus ihren Ländern erstellen und „ihre“ Experten selbst per Email zur Teilnahme einladen. Allerdings zeigte sich schon bei der Erstellung dieser Adressliste ein sehr unterschiedliches Engagement der verschiedenen Partner. Zum Teil mussten die Adressen vom BFW daher selbst erstellt werden. Insgesamt wurden 337 Experten vom BFW kontaktiert. Da die Rücklaufquote sicherlich auch vom „Nahverhältnis“ des Absenders zu seinen Adressaten abhängig ist, muss die „österreichlastige“ Verteilung der Teilnehmer nicht verwundern.

Die Aussagekraft der Analysen wird durch die Anzahl der Teilnehmer und der Verteilung der Antworten bestimmt, die durch Standardabweichung bzw. Varianz (Sachs, 1969) statistisch darstellbar ist. Da die Verteilung der Antworten bei jeder Frage unterschiedlich ist, kann die Frage nach der Aussagekraft (Abweichung) grundsätzlich nur für jede Frage einzeln beantwortet werden. Als Orientierung werden hier die Mittelwerte der Abweichungen je Prozess diskutiert.

Während diese beim Prozess Hochwasser und Lawine aufgrund der vergleichsweise hohen Teilnehmerzahl mit je 1,8 (bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10%) akzeptabel sind, weist sie für Muren (2,6) schon auf deutliche Unschärfen bei der Beurteilung hin. Die Bewertungen für Rutschungen sind aufgrund der geringen Teilnehmerzahl, jene für Steinschlag aufgrund besonders hoher Standardabweichungen mit Vorbehalt zu betrachten. Selbst wenn die statistischen Kennzahlen mit Mitteln der „Robusten Statistik“ (u.a. Schmidt, 2010) noch etwas verbessert werden könnten relativiert die geringe Anzahl der Rückmeldung die Ergebnisse. Andererseits erscheinen die Beurteilungen aus fachlicher Sicht durchaus plausibel. Insgesamt sind die Angaben daher nach Meinung der Autoren als vorläufige Richtwerte für die Prozesstypen Hochwasser, Mure und Lawine, im Alpenraum brauchbar.

Die Umfrageteilnehmer waren überwiegend in der Wissenschaft und der Praxis tätig (Abbildung 3). Die meisten Antworten gab es für „Hochwasser in Wildbächen“ (Abbildung 4).

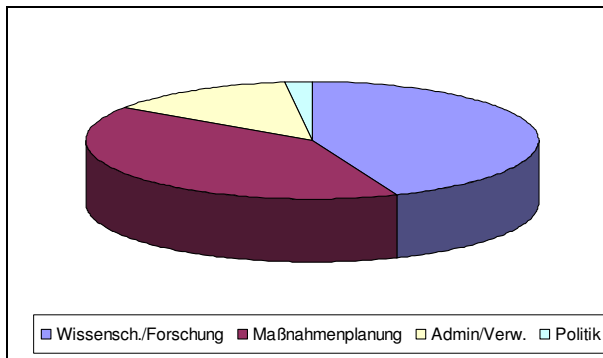


Abb. 3 Arbeitsbereiche der Umfrageteilnehmer
Fig. 3 Field of activity of survey-participants

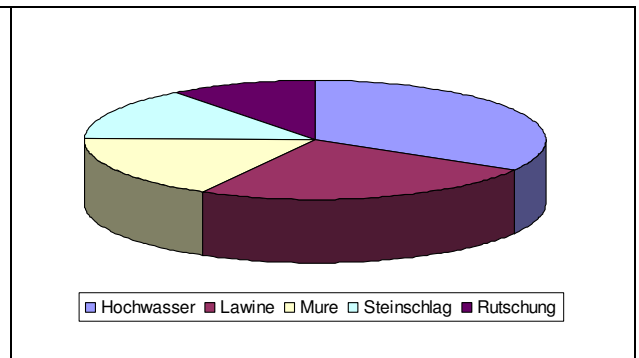


Abb. 4 Anteile der Bewertungen für die verschiedenen Naturgefahrenprozesse
Fig. 4 Percentage of assessment for various types of natural hazards

BEWERTUNGSBEISPIEL

Anhand eines Beispiels für die Bewertung eines einzelnen Einflussparameters im Prozess „Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten“ wird die Ableitung der Gewichtung dieses Parameters gezeigt.

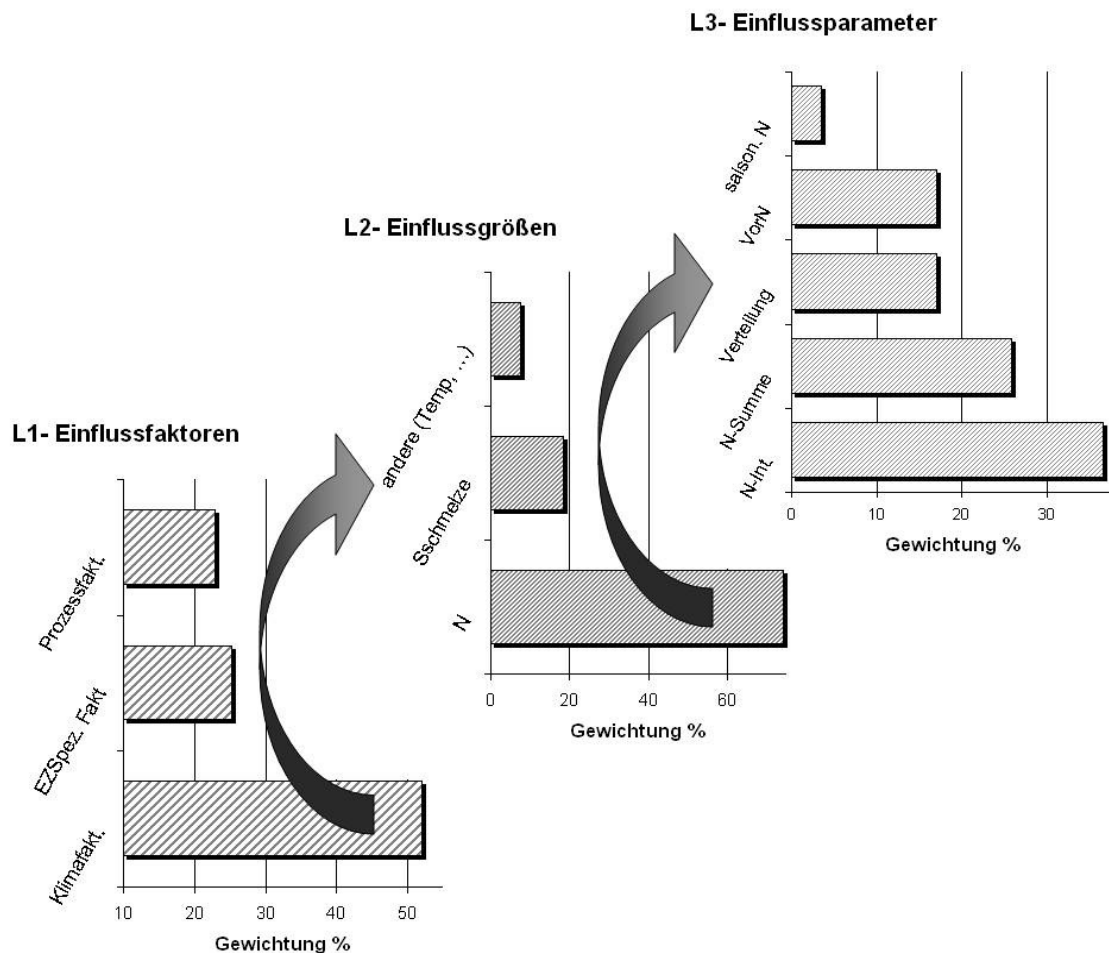


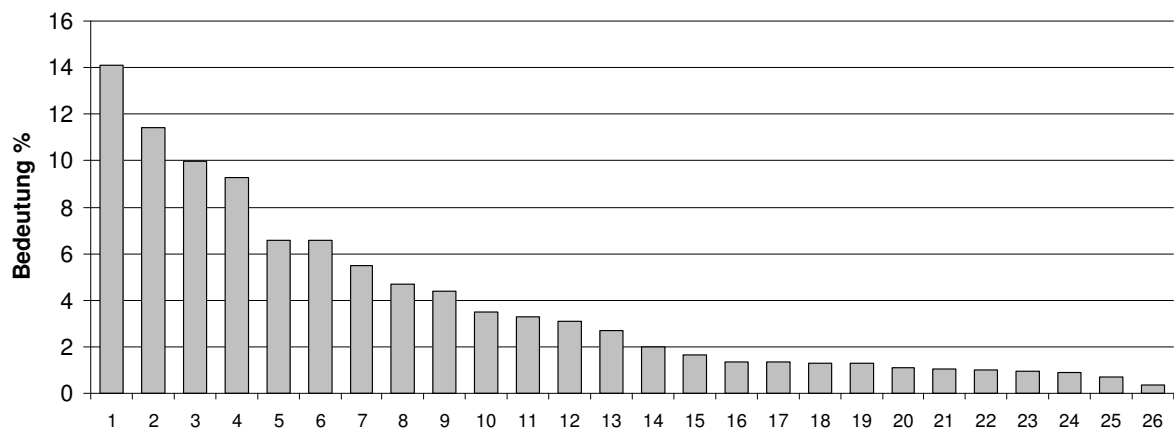
Abb. 5 Schema der Parameterbewertung: Einflussfaktoren – Einflussgrößen – Einflussparameter (Ableitung) am Beispiel „Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten“

Fig. 5 Scheme of the parameter assessment: influence factors – influence values – influence parameters for “flooding in torrential catchments”

Die 51 Experten, die diesen Prozesstyp beurteilten, gewichteten im Level 1 die Klimafaktoren deutlich am höchsten (52,0%). Die beiden anderen Einflussfaktoren (einzugsgebietspezifische Faktoren (Interzeption, Infiltration, Wasserhaushalt/Speichervermögen) sowie Prozessfaktoren (Abflusseigenschaften-Gelände, Abflusseigenschaften-Gerinne, Erosion)) wurden gemeinsam ungefähr gleich hoch gewichtet. Innerhalb des Einflussfaktors Klimafaktoren in Level 2 wurden dann die Einflussgrößen bewertet, wobei hier die Einflussgröße Niederschlag mit 74,2% mit Abstand am höchsten gewichtet wurde. Schließlich waren auf Level 3 die Einflussparameter zu bewerten, wobei die Niederschlagsintensität mit 36,6% am höchsten gewichtet wurde. Somit ist die Niederschlagsintensität im Vergleich zu allen anderen Einflussparametern (vgl. Abbildung 6) mit 14,1% ($52,0\% \times 74,2\% \times 36,6\%$) der wichtigste Einzelparameter dieses Naturgefahrenprozesses. Die Summe der Gewichtungen aller Einzelparameter innerhalb der jeweils übergeordneten Ebene (Abbildung 5 Bsp. Einflussgröße Niederschlag) ergibt immer 100%. Die Experten bewerteten dadurch jeden Einflussparameter in Relation zu den anderen. Diese Anforderung einer gewichtenden, gegenüberstellenden Bewertung war bei mehreren zu beurteilenden Parametern (vgl. Abbildung 5) ein Grund für den relativ hohen notwendigen Aufwand (durchschnittlich 26 Minuten).

ERGEBNISSE DER PARAMETERBEWERTUNG

Als Beispiel sind die auf dem beschriebenen Weg ermittelten, durchschnittlichen Gewichtungen aller Einzelparameter für den Prozess Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten dargestellt (Abbildung 6). Weitere Ergebnisse der online-Expertenbefragung für andere Prozesstypen und Zusatzinformationen sind bei Andrejs und Hagen (2011) aufbereitet.



Nr.	Parameter	Nr.	Parameter
1	Niederschlagsintensität (im Ereignisfall)	14	Gerinnerauigkeit - Fließwiderstand
2	Landnutzung - Vegetation (Land-, Forstwirtschaft)	15	Geschiebeverfügbarkeit (unter Berücksichtigung von Schutzbauten)
3	Niederschlagssumme	16	Geschiebeeintrag (durch Rutschungen,...)
4	Landnutzung- bebautes Gebiet (Infrastruktur, Schipisten,...)	17	saisonale Niederschläge
5	Niederschlagsverteilung	18	Einzugsgebietsgröße
6	Vorniederschlag	19	Sonstiges
7	Lithologie (Lockermaterial inkl. Auflage)	20	Einzugsgebietsform
8	Abschmelzgeschwindigkeit	21	Geländerauigkeit - Fließwiderstand (Schubspannung,...)
9	Schneemenge (Wasseräquivalent)	22	Interflow (ereignisrelevanter)
10	Gerinnegeometrie (Längs- und Querprofile)	23	Bodentemperatur (Frost)
11	Lufttemperatur (Schneefallgrenze,...)	24	Geschiebeeigenschaften (Korngrößenverteilung,...)
12	Geländemorphologie (Geländeneigung, -form,...)	25	Standortseigenschaften/Wuchspotenzial
13	Geologie	26	Wind (im Ereignisfall)

Abb. 6 Gewichtung der Einflussparameter bei Hochwasserereignissen in Wildbacheinzugsgebieten

Fig. 6 Weighting of influence parameters for „flooding in torrential catchments”

Abbildung 6 zeigt, dass die mit Abstand am höchsten gewichteten Einzelparameter alle im Zusammenhang mit dem Niederschlagsinput und der Landnutzung anzusiedeln sind. Der Frage, wie

sich diese beiden Einflussfaktoren im Zusammenhang mit dem Klimawandel entwickeln, wird demnach eine entscheidende Bedeutung zukommen.

Da die Zielsetzung einer Expertenbefragung in der strukturierten Aufbereitung des Expertenwissens liegt, sind die Ergebnisse für den Fachmann wahrscheinlich nicht überraschend. Es kann dadurch aber auch von „Nichtexperten“ abgeschätzt werden, welche Parameter wichtig für das Prozessgeschehen sind. Ändern sich diese z.B. in Folge des Klimawandels, so ist nachvollziehbar, dass dies auch Änderungen im Prozessgeschehen und den resultierenden Gefahren haben wird.

UND SIE SPRECHEN DOCH EINE GEMEINSAME SPRACHE

Aus der online-Expertenbefragung lassen sich weitere interessante Informationen ableiten. Eine davon betrifft den Vergleich der häufig unterstellten unterschiedlichen Sichtweisen von Praktikern und Wissenschaftlern (z.B. AdaptAlp Expert Hearing, 2009). Es zeigte sich, dass die Einschätzungen dieser beiden Expertengruppen bezüglich der Bedeutung der Einzelparameter insgesamt relativ gut übereinstimmen (Abbildung 7).

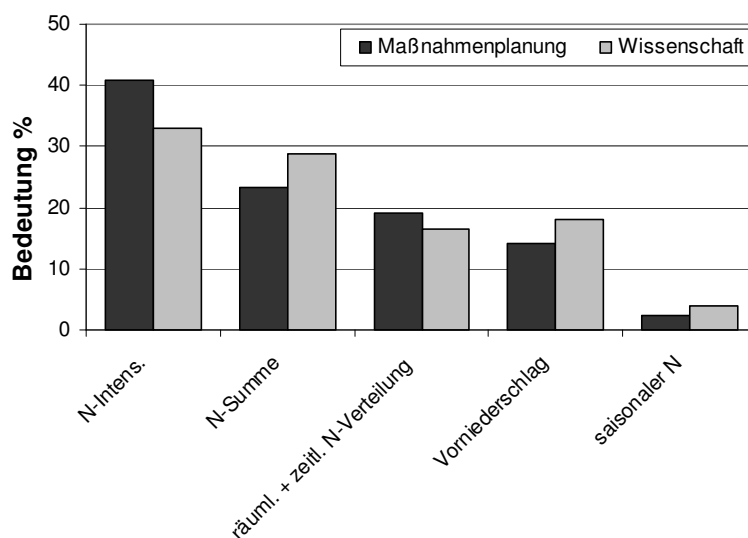


Abb. 7 Gewichtung der Einflussparameter der Einflussgröße Niederschlag bei Hochwasserereignissen in Wildbacheinzugsgebieten; Vergleich Wissenschaft und Praxis (Maßnahmenplanung)

Fig. 7 Weighting of influence parameters of the influence value precipitation for flooding in torrential catchments, comparison of researchers and practitioners

Entsprechende Analysen können differierende Meinungen, die oft Ursache für Missverständnisse sind, aufdecken und bieten gleichzeitig Startpunkt und begleitende Hilfestellung bei der Aufarbeitung derselben.

VOM BEWERTUNGSANSATZ ZUM HILFSMITTEL FÜR KOMMUNIKATION UND ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Der vorgestellte Ansatz befindet sich hinsichtlich seiner praktischen Anwendung im Entwicklungsstadium, erste diesbezügliche Erfahrungen werden nachfolgend dargestellt.

Grundgedanke der Methode ist, dass entscheidungsrelevante Informationen strukturiert und nachvollziehbar aufbereitet werden. Dadurch soll eine sachliche und zielorientierte Diskussionen um raumrelevante Entscheidungen in Bezug auf Naturgefahren erleichtert und Entscheidungsträgern grundlegende Zusammenhänge und Wirkungsgrößen so vermittelt werden, dass sie im Entscheidungsprozess unterstützt werden. Fachfernen Akteuren und Interessierten kann ein grundlegendes Verständnis der Wirkungszusammenhänge von Naturgefahrenprozessen vermittelt werden, wodurch entsprechende Entscheidungen besser nachvollziehbar werden.

Im Rahmen des Projektes CLISP („Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space“ Zeidler, 2011) wurde dieser Ansatz in der Gemeinde Gasen (Steiermark, AUT) erstmals im praktischen Einsatz getestet. Teilnehmer dieses Workshops waren Vertreter der Gemeinde, der

Raumplanung, der Wildbach- und Lawinenverbauung sowie der Wissenschaft. Nachdem von den Teilnehmern der theoretische Ansatz hinsichtlich Sinn, Nutzen, Anwendbarkeit und notwendiger Hintergrundinformationen bewertet worden war, wurde im Rahmen eines Beispiels (Hagen et al., 2012) versucht herauszufiltern, wie potenzielle Anwender bei der praktischen Anwendung des Tools damit zurechtkommen und welche Unterstützung bzw. Zusatzinformationen sie für dessen Einsatz benötigen.

Das Potenzial des Ansatzes lag nach Meinung mehrerer Teilnehmer in der Nachvollziehbarkeit der Wirkungszusammenhänge. Dadurch werden Naturgefahrenprozesse über ihre (gewichteten) Wirkungsparameter vereinfacht und auch für "Nichtexperten" nachvollziehbar aufbereitet (z.B. Abb. 6), und sind dadurch leichter einer „breiteren Öffentlichkeit“ kommunizierbar.

Weniger Einigkeit gab es dagegen bezüglich der möglichen Konsequenzen und Maßnahmen, die als Folge der gefundenen Entwicklungen im Raum standen. Hier spiegelten sich die Probleme wider, die statische Planungsunterlagen in einer sich dynamisch entwickelnden Landschaft bedingen. Insbesondere wurde diskutiert, wie Änderungen und Unsicherheiten im Planungsalltag gehandhabt werden könnten, wofür das CDT allerdings keine Lösungen anbieten kann.

SCHLUSSFOLGERUNG

Der vorgestellte Ansatz des CDT kann entwicklungstechnisch in zwei Teilbereiche untergliedert werden:

1. Festlegung der Einflussfaktoren, -größen und -parameter von Naturgefahrenprozessen und Entwicklung eines Bewertungsverfahrens.
2. Anpassung und Einbindung dieser Methode in Entscheidungs- und Kommunikationsprozesse (Anwenderanforderungen).

Ad. 1:

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es nicht, eine umfassende Datenbank zu verfügbaren flächenhaften Informationen zu Gefährdungen (GZP etc.) und den letzten Erkenntnissen der Klimaforschung zusammenzustellen. Der Focus lag in der Entwicklung und Implikation einer Methode, die prozessspezifische Informationen entsprechend eines DSS strukturiert und nach Relevanz gewichtet bereitstellen kann. Dazu wurden die Naturgefahrenprozesse Hochwasser in Wildbacheinzugsgebieten, Muren, Steinschlag, Rutschungen und Lawinen hinsichtlich ihrer Wirkungsparameter strukturiert. Deren prozentuelle Bewertung ermöglicht den quantifizierenden Vergleich der Bedeutung von Einzelparametern untereinander. Im Sommer 2011 wurden insgesamt über 300 Experten zu einer online-Umfrage eingeladen, in der dieses Bewertungsverfahren anzuwenden war.

Die Ergebnisse der Befragungen stellen einen gebündelten Schatz an Expertenmeinungen dar. Die fachliche Vernetzung der Experten spiegelt sich in der Streuung der Antworten wider (Abb. 1). Bei den Fragen zu Wirkungsgrößen bei Lawinen zeigten sich die größten Übereinstimmungen, bei Steinschlag differierten die Meinungen besonders stark.

Der auf diese Weise gewonnene „State of the Art“ kann bezüglich Qualität und Objektivität folgendermaßen beschrieben werden: Nach allgemeiner Auffassung besteht Objektivität darin, die Dinge so zu sehen, wie sie wirklich sind. Im Rahmen des Naturgefahrenmanagements erfolgen hingegen sehr viele Entscheidungen auf Basis von Expertenmeinungen. Deren Erfahrungsschatz und Interpretation sind grundsätzlich subjektiv geprägt. Auch der Einsatz scheinbar objektiver Verfahren (z.B. Simulationsmodelle) beinhaltet über die Wahl des Ansatzes und der Eingangsparameter eine subjektive Komponente. Ein Modell wird aufgrund möglichst plausibler erscheinender Szenarien und mit dem Wissen über stattgefundenen Naturgefahrenprozesse und deren Einstufung in Hinblick auf Frequenz und Magnitude eingesetzt. Das erzielte Ergebnis ist somit ein durch die Einschätzung des Anwenders geprägtes Szenario.

Es ist festzuhalten, dass der Einsatz des Erfahrungsschatzes und der Interpretation von Fachkundigen (auch wenn diese subjektiv geprägt sind) aufgrund meist unzureichender Datengrundlagen, mangelhafter Methoden und der Komplexität der Naturgefahrenprozesse unverzichtbar ist. Da es bei der Bewertung der Naturgefahrenprozesse kein (mit mathematischen Mitteln) sicher bestimmbares

„richtiges Ergebnis“ gibt, kann auch die entwickelte Methodik keine echte Objektivität bieten. Sie sollte jedoch dadurch, dass sie auf Durchschnittswerten, die auf dem Wissen vieler Experten beruhen, grundsätzlich objektiver sein als eine Einzelmeinung, bzw. können diese Durchschnittswerte als Basis für die Plausibilitätsprüfung davon abweichender Einzelmeinungen herangezogen werden.

Die Ergebnisse stellen keineswegs unverrückbare Vorgaben dar, sondern sind Start- und Orientierungspunkt für die Beurteilung von Naturgefahrenprozessen auf lokaler oder regionaler Ebene. Dieser Startpunkt ist von den Experten zu diskutieren und im Bedarfsfall mit Begründung den lokalen/regionalen Besonderheiten anzupassen (Andrecs und Hagen, 2012). Ein wesentlicher Vorteil des Einsatzes der Expertenbefragung ist, dass rasch viele Erfahrungen und Meinungen erhoben werden können. Änderungen des Wissensstandes bzw. der Expertenmeinungen können durch eine nochmalige Befragung der teilnehmenden Experten mit relativ geringem Aufwand dargestellt werden.

Ad. 2:

Durch die verschiedenen, an der Anwendung der entwickelten Methodik in Frage kommenden Gruppen und deren unterschiedlichen Kompetenzen und Interessenslagen (sowohl fachlich als auch bezüglich der Entscheidungsbefugnisse), stellt dieser Arbeitsschwerpunkt einen besonders spannenden Schritt dar.

Adressaten für die Anwendung der Methode sind grundsätzlich Entscheidungsträger und im Entscheidungsprozess maßgeblich involvierte Personen. In der Praxis zeigte sich, dass die Zersplitterung und Weitläufigkeit der öffentlich-rechtlichen Bestimmungen in diesem Bereich eine Zuordnung bestimmter Rollen im Entscheidungsfindungsprozess schwierig macht. Vielmehr handelt es sich um Abläufe, die regional in Abhängigkeit der gelebten Praxis recht unterschiedlich ausgestaltet sein können.

Obwohl die Darstellung komplexer Naturgefahren über Einflussfaktoren, -größen und -parameter diese stark vereinfacht, zeigte sich, dass die Diskussion und Regionalisierung der „allgemeinen Ergebnisse“ für interessierte Laien teilweise noch immer (zu) hohe Anforderungen stellt. Dieser Schritt sollte daher vorab durch Fachexperten erfolgen.

Während im Rahmen erster Praxiseinsätze die Methodik des Beurteilungsverfahrens auf Akzeptanz stieß, zeigte sich jedoch Uneinigkeit hinsichtlich des Umgangs mit den dabei erzielten Ergebnissen. Da es im Umgang mit Veränderungen und Unsicherheiten aber keine Patentrezepte für deren administrative Berücksichtigung gibt, sind entsprechende weiterführende Arbeiten unter verstärkter Einbindung von Verantwortungsträgern, Planenden und Kommunikationsexperten notwendig, um administrierbare Lösungsansätze zu entwickeln (Hagen et al., 2012).

Das vorgestellte CDT ist derzeit als Prototyp zur Unterstützung einer fachlich strukturierten Diskussion zur Bewertung von Naturgefahren und deren Entwicklungspotenzial in Hinblick auf veränderliche klimatische Verhältnisse zu sehen.

LITERATUR

AdaptAlp - WP 4: „Design events for water-related hazards: Adaption to Climate Change“ Expert Hearing, April 2009, Vienna.

Andrecs P., Hagen K. (2012). Methodik zur Bewertung von Naturgefahrenprozessen, in Wildbach- und Lawinenverbau (in Druck).

Andrecs P., Hagen K. (2011). Experten bewerteten die Einflussgrößen von Naturgefahrenprozessen <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=8955> (19.1.2012).

Andrecs P., Hagen K., Fromm R., Gauer P., Höller P., Klebinder K., Kohl B., Lang E., Markart G., Perzl F., Stary U., Zeidler A. (2010). AdaptEvent. Analyse der Sicherheit und Genauigkeit von Bemessungswerten bei gravitativen alpinen Naturgefahren und Ableitung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel, BFW, <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=829> (19.1.2012).

- Assilzadeh H., Mansor S.B. (2012). Natural disaster data and information management system, <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan025913.pdf> (16.1.2012).
- Berlinger J., Holenstein M. (2011). Naturgefahren und Unsicherheiten – Herausforderung für die Kommunikation, riskBRIEF Nr. 1, Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen.
- Böhm R. (2008). Heiße Luft - Reizwort Klimawandel, Fakten – Ängste – Geschäfte, EDITION VA BENE, Klosterneuburg.
- Dunkel A.C. (2009). Geologie und Tektonik des Bereiches Schattleiten, Reichraming, Oberösterreich und geotechnischer Beitrag zu einem Sicherheitskonzept Steinschlag für gefährdete Infrastruktur, Maserarbeit Uni Wien.
- Erlingsson U. (2012). GIS for natural hazard mitigation <http://erlingsson.com/authorship/conf/GISforNatHazMit.pdf> (16.1.2012).
- Fischer-Epe M.J. (2002). Coaching: Miteinander Ziele erreichen. Reinbek bei Hamburg; Rowolt
- Gabriele S., Chiaravalloti F., D'Aquila G., Tansi C. (2009): Distributed real-time monitoring system to natural hazard evaluation and management: the AMAMiR system <http://www.mssanz.org.au/modsim09/G3/gabriele.pdf> (16.1.2012).
- Hagen K., Andrecs P. (2012). Das Bemessungsereignis als Beurteilungsgrundlage für Wildbach- und Rutschungsprozesse, in Wildbach- und Lawinenverbau (in Druck).
- Hagen K., Andrecs P., Schmid F. (2012). Erste Erfahrungen mit dem CDT (Communication and Decision Support Tool), in Wildbach und Lawinenverbau (in Druck).
- Hagen K., Ganahl E., Hübl J. (2007). Analyse und Evaluierung von gebräuchlichen, empirischen Ansätzen zur Hochwasserabschätzung in Wildbächen, BFW-Bericht 137, S 112.
- Hochschwarzer M. (2009). Vergleich von Simulationsmodellen zur Reichweitenabschätzung alpiner Murgänge, Diplomarbeit, BOKU Wien.
- IPCC (2011). Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kanonier A. (2011). Wasserrechtliche Bestimmungen und Umgang mit Naturgefahren, Gruppe IFOER 2 2010/2011, http://xover.mud.at/~skunk/p2/sites/default/files/law_if2_naturgefahren_1.pdf (16.1.2012).
- Kienholz H. (2005). Gefahrenzonenplanung im Alpenraum – Ansprüche und Grenzen, Wildbach und Lawinenverbau 152, S 135-151.
- Kirnbauer R. (2003). Mathematische Modelle zur Berechnung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses (NA-Modelle), in ETAlp Kompendien, Wien 2003.
- Khakazadeh L. (2007). Rechtliche Aspekte des Naturgefahrenmanagements, in: Department für Bautechnik und Naturgefahren (Hrsg.), 1. Departmentkongress (2007) S 55-58.
- Pichler A. (2010). Handlungsempfehlungen für das Aktivitätsfeld Schutz vor Naturgefahren, in Klimaanpassungsstrategie, BMLFUW.
- Rudolf-Miklau F. (2011). Principles of Hazard Assessment and Mapping, in Wildbach und Lawinenverbau 166, S 20-29.
- Sachs L. (1969). Statistische Auswertungsmethoden, 2. Auflage, Springer Verlag.
- Schmidt K. (2010). Die historische Entwicklung der robusten Statistik, im Rahmen des interdisziplinären Seminars „Wissenschaftstheorien und Wissenstransformation im 20. Jahrhundert“.
- Schöner W., Böhm R., Haslinger K. (2011). Klimaänderung in Österreich – hydrologisch relevante Klimaelemente, ÖWAW 1-2, S 11-20, Springer Verlag.
- Schopenhauer A. (1851). in Parerga und Paralipomena I/1: Kleinere philosophische Schriften, Diogenes.
- Tilch N., Hagen K., Proske H., Pistotnik G., Schwarz L., Aust G., Fromm R., Herzberger E., Klebinder K., Perzl F., Bauer C., Kronberger B., Kleb U., Granica K., Haiden T. (2011). Modelling of Landslide Susceptibility and affected Areas – Process-specific Validation of Databases, Methods and Results for the Communities of Gasen and Haslau, (AdaptSlide – Endreport), <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=8935> (19.1.2012).

Wikipedia (2012): <http://de.wikipedia.org/wiki/Entscheidungsunterst%C3%BCtzungssystem> (Stand 19.1.2012).

Zeidler A. (2011): CLISP - Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space, WP 6 Risk Governance & Risk Communication - SYNTHESIS REPORT; www.clisp.eu/content/sites/default/files/WP6%20Synthesis_Report_Final_0.pdf

Projekt-Webseiten:

<http://www.adaptalp.org>

<http://www.clisp.eu>

<http://www.paramount-project.eu/index.php>

RISIKOANALYSEN ALS GRUNDLAGE FÜR DIE AUFTEILUNG DER KOSTEN VON SCHUTZBAUTEN

EIN BEISPIEL

Lukas Hunzinger¹, Sylvia Durrer², Hans-Heini Utelli³

ZUSAMMENFASSUNG

Mit einem Hochwasserschutzprojekt sollen die Siedlung und die Autobahn auf dem Schwemmkegel eines Wildbaches in der Zentralschweiz vor Überschwemmung geschützt werden. An den hohen Investitionskosten beteiligen sich sowohl die Gemeinde als auch der Betreiber der Autobahn. Eine Risikoanalyse wurde eingesetzt, um den Nutzen, welche beide aus den Schutzmaßnahmen ziehen, zu quantifizieren und danach die jeweiligen Kostenanteile festzulegen. Mit den Maßnahmen wird das Risiko für Hochwasserschäden auf rund einen Viertel des heutigen Risikos vermindert werden. Den größten Anteil (82 %) an der Risikoreduktion erfährt dabei das Siedlungsgebiet. Bei der Festlegung des Kostenteilers können neben der Risikoreduktion noch weitere Nutzenarten berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: Risikoanalyse, Schutzbauten, Finanzierung.

ABSTRACT

A flood protection project aims to decrease the flood risk for a settlement and a motorway situated on the alluvial fan of a torrent in Central Switzerland. The municipality and the motorway administration share the considerable investments costs of the constructive protection measures. A risk analysis has been performed in order to quantify the benefit of both stakeholders and to determine the share of each of them. The flood protection measures allow reducing the total risk by three quarter. The settlement benefits from a large portion of risk reduction (82 %). However, when the cost share is being determined, additional benefits may be taken into account.

Keywords: Risk analysis, protective measures, financing.

EINLEITUNG

Bauwerke zum Schutz von Naturgefahren sind kostspielig. Die öffentliche Hand gibt dafür in der Schweiz über 700 Mio. Franken pro Jahr (PLANAT, 2007). Die Kosten für Bauten zum Schutz von Siedlungsgebieten werden zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden aufgeteilt. Das Subventionsmodell geht davon aus, dass Schutzmaßnahmen in erster Linie von den Gemeinden, welche für die Sicherheit ihrer Bürger verantwortlich sind, finanziert werden und dass die Gemeinden von Bund und Kanton subsidiär unterstützt werden (Bundesamt für Umwelt, 2009).

Wenn bauliche Maßnahmen nicht nur Siedlungen schützen, sondern auch Infrastrukturanlagen wie z.B. Autobahnen, Eisenbahnlinien oder Industrieanlagen nationaler Bedeutung, so profitieren diese auch von diesem Schutz und sie beteiligen sich an den Kosten. Die Kostenbeteiligung wird entweder nach dem so genannten Perimeterprinzip (jeder Akteur im Einzugsgebiet und im potenziellen Überschwemmungsgebiet eines Gewässers leistet einen Beitrag gemessen am Wert seiner Anlage) oder nach dem so genannten Expositionsmodell (Verkehrsträger leisten einen Beitrag wenn ihre Verkehrsachse parallel zum Gewässer verläuft) festgelegt.

¹ Dr. L. Hunzinger. Flussbau AG SAH, Schwarztorstrasse 7, 3007 Bern, Schweiz (e-mail: lukas.hunzinger@flussbau.ch)

² S. Durrer. vormalig Flussbau AG SAH, heute Dienststelle Verkehr und Infrastruktur des Kantons Luzern, Schweiz

³ H.-H. Utelli. IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Schweiz

In jüngster Zeit werden Risikoberechnungen für die Ermittlung der Kostenwirksamkeit von Schutzprojekten durchgeführt (Bründl, 2009). Es liegt also nahe, diesen Ansatz auch zu verwenden, um den Nutzen, welchen verschiedene Akteure aus einem Schutzprojekt ziehen, zu quantifizieren und die Kosten für die Schutzbauten danach aufzuteilen. Ein solcher Kostenteiler wurde für ein Hochwasserschutzprojekt in der Zentralschweiz entwickelt.

SITUATION AUF DEM SCHWEMMKEGEL

Das Dorf A. liegt auf dem Schwemmkegel von zwei Wildbächen (Fig. 1). Die Bäche entwässern steile, waldige Einzugsgebiete, durchqueren das Dorf A. und münden schließlich in einen See. Im oberen Einzugsgebiet können die Bäche aufgrund ausgedehnter Rutschhänge sehr viel Geschiebe mobilisieren und bis in das Siedlungsgebiet transportieren. Insbesondere im Bach X. ist deshalb das Gerinne im oberen Einzugsgebiet mit zahlreichen Sperren verbaut.

Heute fließen die beiden Bäche nahezu parallel auf dem gemeinsamen Schwemmkegel. Beim Kegelhals wechselt das punktuell verbaute Gerinne des größeren Baches X. in eine durchgehende Wildbachschale. Mit dem glatten Sohlen- und Uferverbau sollen Geschiebe und Wasser durch das Siedlungsgebiet ohne Ablagerung bis in den See transportiert werden. In der oberen Hälfte des Schwemmkegels, direkt oberhalb des Dorfes, quert eine Autobahn die beiden Bäche. Die Autobahn wird entlang der Bergflanke auf einem Erddamm geführt. Im Bereich der Bachquerungen ist sie berg- und talseitig mit Lärmschutzwänden versehen. Auf einem kurzen Abschnitt ist sie zudem mit einer Galerie überdeckt. Während Bach X. die Autobahn offen im Gerinne unterquert, wird Bach Y. oberhalb des Autobahndammes gefasst und erst unterhalb der Autobahn wieder in einem offenen Gerinne geführt.

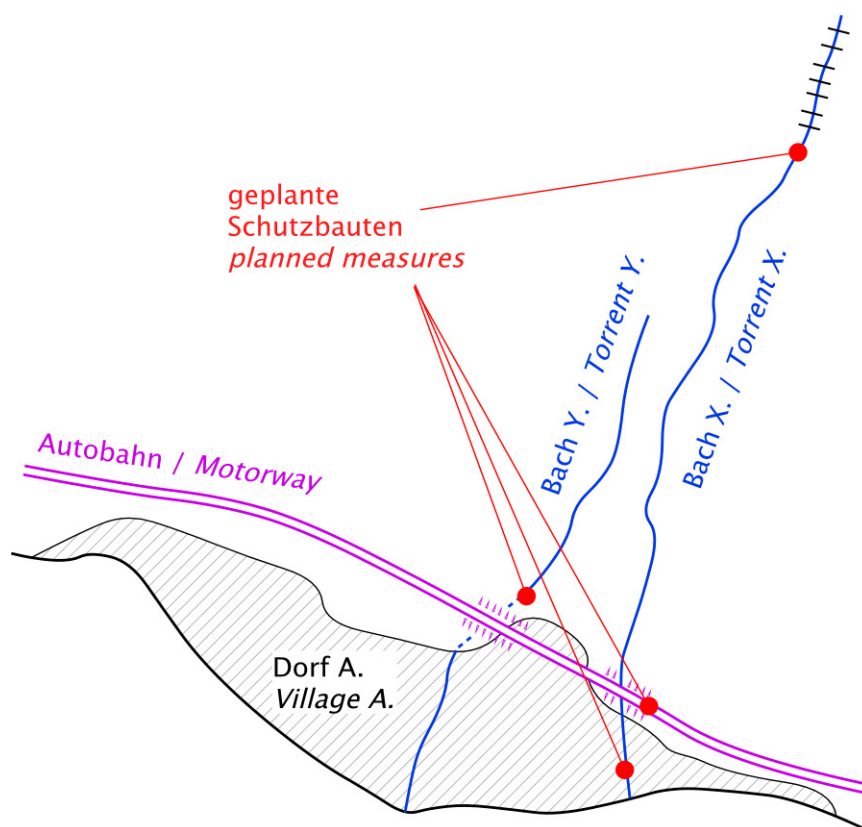


Fig. 1 Übersicht über die Situation auf dem Schwemmkegel der Bäche X. und Y.
Fig. 1 Overview on the situation on the alluvial fan of the torrents X. and Y.

GEFAHR UND RISIKO IM IST-ZUSTAND

Bei Hochwasserereignissen mit Jährlichkeiten von hundert und mehr Jahren muss damit gerechnet werden, dass die Geschiebetransportkapazität der beiden Gerinne nicht ausreicht und sich im Bereich des Kegelhalses große Mengen Geschiebe ablagern können. Zudem queren einige Brücken den Bach X., so dass mit Verklausungen durch Schwemmholz gerechnet werden muss. Dies führt dazu, dass Wasser und Geschiebe aus dem Gerinne austritt und über den Schwemmkegel Richtung Autobahndamm fließt. Wasser und Geschiebe aus dem Bach X. kann dabei auch in die Geländekammer des Baches Y. übertreten. Bei Bach Y. führt vor allem die zu geringe Abflusskapazität des Gerinnes und des Durchlasses bei der Autobahn zu Ausuferungen. Wasser und Geschiebe der beiden Bäche können sich oberhalb der Autobahn an den Lärmschutzwänden aufstauen über die Lärmschutzgalerie abfließen und große Teile des Dorfes A. überfluten. Wasser kann auch durch die Lärmschutzwände auf die Autobahn treten und entlang der Fahrbahn in weiter entfernte Bereiche des Schwemmkegels abfließen. Im Ereignisfall sind also sowohl das Siedlungsgebiet als auch die Autobahn von Überflutung und Übersarung betroffen.

Der Damm der Autobahn hat im Ereignisfall einerseits eine Schutzfunktion, weil hinter dem Damm Wasser und Geschiebe zurück gehalten werden und er damit Teile des Siedlungsgebietes vor Überschwemmung und Übersarung schützt. Andererseits beeinflusst der Damm der Autobahn die Gefahrensituation negativ, indem er unkontrolliert überströmt wird und Wasser in Teile der Siedlung geleitet werden, welche ohne die Autobahn nicht gefährdet wären.

Im Ist-Zustand trägt die Gemeinde A. ein jährliches Risiko durch Überflutungen durch die beiden Wildbäche von rund 300'000 Fr. Das Risiko für die Autobahn beträgt 61'000 Fr./Jahr.

METHODEN DER RISIKOBESTIMMUNG

Als Instrument zur Abschätzung des Nutzens der Hochwasserschutzmassnahmen wird das Risiko vor und nach den Maßnahmen bestimmt und damit die Risikoreduktion abgeschätzt, welche durch die Maßnahmen erreicht werden (Bründl, 2009). Diese Betrachtung gibt auch Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit eines Projektes. Bei einem Hochwasserereignis in den beiden Wildbächen sind das Dorf A. und die Autobahn betroffen. Das Risiko wurde deshalb für die Siedlung als auch für die Autobahn abgeschätzt.

Das Risiko für die Siedlung wurde mit Hilfe des durch den Bund entwickelten Instrumentes EconoMe 2.0 bestimmt (Bundesamt für Umwelt, 2010). Die Methode berücksichtigt direkte Sachschäden an Immobilien, Mobilien und Infrastrukturanlagen im Siedlungsgebiet sowie Personenschäden (Todesfälle) von Personen, die sich in Gebäuden und in Fahrzeugen aufhalten. Indirekte Risiken, z. B. der Produktionsausfall in einem Industriebetrieb nach einem Ereignis, werden nicht berücksichtigt. Der Anwendung sind standardisierte Basiswerte hinterlegt, um die Vergleichbarkeit von Risikoberechnungen für unterschiedliche Gebiete sicherzustellen.

Mit gleichen Ansätzen wurde auch das Risiko für die Autobahn bestimmt. Die Methode berücksichtigt jedoch neben den direkten Risiken für das Bauwerk und für Personen und Fahrzeuge auf der Fahrbahn auch indirekte Risiken durch den Ausfall der Straßenverbindung bei einem Ereignis. Damit wird der gesetzliche Auftrag an den Betreiber, die Autobahn jederzeit benutzbar zu halten, in Wert gesetzt. Die Methode der Risikobestimmung für die Autobahn ist in Utelli *et al.* (2012) ausführlich beschrieben.

DAS SCHUTZPROJEKT

Das Ziel des Projektes ist es, die Gefährdung und damit auch das Risiko durch Überflutung und Übersarung auf dem Schwemmkegel langfristig zu reduzieren. Mit den neuen Ausbaumaßnahmen wird die bestehende Gefährdung der Siedlung als auch der Autobahn vermindert. Das Projekt sieht Maßnahmen zum Rückhalt von Geschiebe am Kegelhals und Maßnahmen zur Verbesserung der Abfluss- und Geschiebetransportkapazität der Gerinne auf dem Schwemmkegel vor.

Am Kegelhals des Baches X. wird ein Geschiebesammler mit drei verschiedenen Rückhalteammern erstellt. In einer darauf folgenden scharfen Krümmung werden die Ufer erhöht und die Sohlensiche-

rung aus Blockriegeln ergänzt. Bei der Autobahn wird durch eine Geländeanpassung verhindert, dass oberhalb ausgetretenes Wasser auf die Autobahn fließt und unkontrolliert ins Siedlungsgebiet geleitet wird. Das Wasser wird stattdessen unter dem Autobahndamm durchgeleitet. Im Siedlungsgebiet wird das Gerinne teilweise ausgebaut und Brückendurchlässe vergrößert, so dass der Bach im Dorfbereich nicht mehr über die Ufer tritt.

Beim Bach Y. werden die Abflusskapazität des Einlaufes oberhalb der Autobahn vergrößert. Damit kann die Seebildung verringert und eine daraus folgende Entlastung auf die Autobahn verhindert werden.

Die Sperrenverbauungen im oberen Einzugsgebiet der Bäche haben ihre Lebensdauer teilweise erreicht oder sie wird in absehbarer Zeit ablaufen. Es ist notwendig, die Schutzbauten zu sanieren, um die Gerinne weiterhin zu stabilisieren und die Geschiebemobilisierung gegenüber heute nicht zu erhöhen. Das Projekt sieht deshalb neben neu zu erstellenden Hochwasserschutzmassnahmen auch Maßnahmen zur Instandstellung bestehender Sperrenbauwerke vor. Die Sperren sollen im Rahmen eines mehrjährigen Programmes sukzessive erneuert werden.

Mit den Instandstellungsmaßnahmen im oberen Einzugsgebiet wird die bestehende bzw. die neue, verminderte Gefährdungssituation längerfristig erhalten. Ohne diese Maßnahmen würde sich die Gefährdung auf dem Schwemmkegel sowohl für die Siedlung als auch für die Autobahn im Laufe der Zeit wieder erhöhen (Fig. 2).

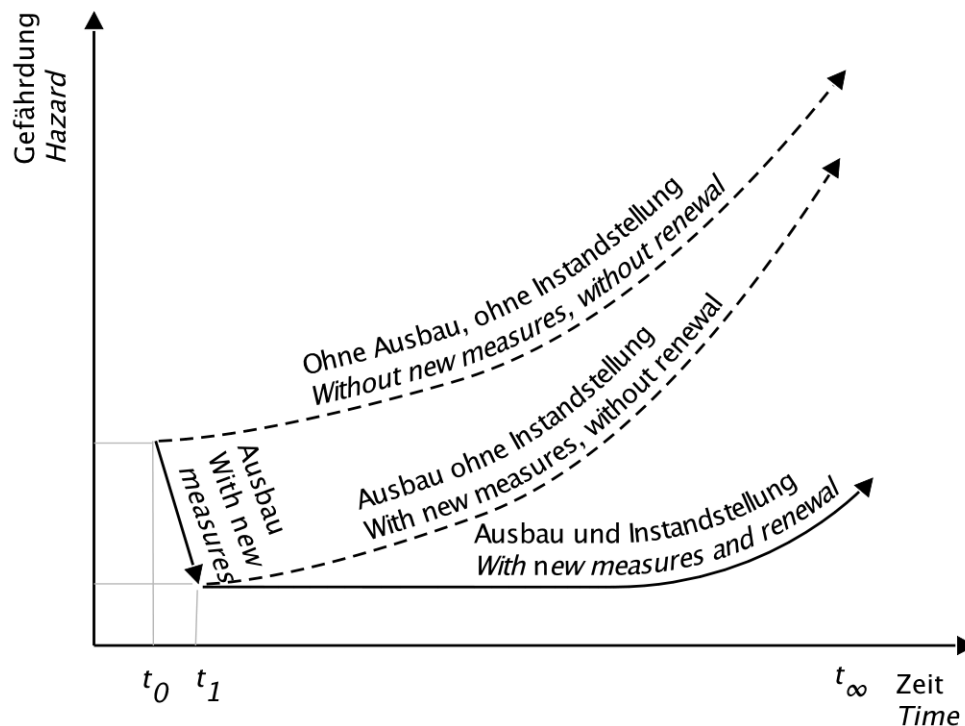


Fig. 2 Entwicklung der Gefährdung mit der Zeit mit und ohne Ausbau bzw. Instandstellungsmaßnahmen.

Fig. 2 Development of the hazard over the years with and without new protective measures or the renewal of existing structures.

Die Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf 31.3 Mio. Fr. Davon entfallen 8.5 Mio. Fr. auf neue Schutzbauten und 22.8 Mio. Fr. auf die Instandstellung bestehender Schutzbauten.

GEFAHR UND RISIKO NACH MASSNAHMEN

Die Hochwasserschutzmassnahmen an den beiden Wildbächen vermindern die Gefährdung durch Überflutung und Übersarung des Dorfes und der Autobahn. Geschiebe und Schwemmholz wird mehrheitlich am Kegelhals des Schwemmkegels zurückgehalten. Mit den Maßnahmen bei der Autobahn wird verhindert, dass bei Hochwasserereignissen mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren Wasser auf die Autobahn gelangt und über die Fahrspuren in das Siedlungsgebiet fließt. Die Autobahn ist bei

solchen Ereignissen nicht mehr gefährdet. Die Gefährdung des Dorfes beschränkt sich auf wenige lokale Überflutungen. Bei seltenen Ereignissen mit einer Wiederkehrdauer von mehr als 100 Jahren wird das System überlastet und es muss wiederum mit großflächigen Überflutungen des Schwemmkegels gerechnet werden, von denen sowohl die Autobahn als auch das Siedlungsgebiet betroffen sind. Das Gesamtrisiko auf dem Schwemmkegel nimmt ab (Tab. 1). Das Risiko für die Gemeinde A. beträgt nach den Maßnahmen jährlich noch rund 74'000 Fr. Die Autobahn trägt ein Risiko von rund 11'000 Fr./Jahr. Dieses wird durch potenzielle Überflutungen bei seltenen Ereignissen verursacht, welche die Bemessungsszenarien des Projektes übersteigen.

Tab. 1 Risiko im Ist-Zustand und nach Maßnahmen sowie Anteile Risikoreduktion.

Tab. 1 Current risk and risk after the implementation of measures, portion of risk reduction.

Teilgebiet / Area	Risiko Ist-Zustand <i>Flood risk pre project</i> [CHF/a]	Risiko nach Maßnahmen <i>Flood risk post project</i> [CHF/a]	Risikoreduktion <i>Risk reduction</i> [CHF/a]	Anteil Risikoreduktion <i>Portion of risk reduction</i>
Siedlung / Settlement	295'850	73'650	222'200	82 %
Autobahn / Motorway	60'590	11'240	49'350	18 %
Total	356'550	84'890	271'550	100 %

KOSTENTEILERMODELL

Das Kostenteilermodell, welches für die Schutzbauten in der Gemeinde A. entwickelt wurde, stützt sich auf die folgenden Grundsätze ab:

- Die Kosten werden nach Maßgabe des Nutzens, welche die einzelnen Kostenträger an den Maßnahmen haben, abgegrenzt.
- Als Nutzen wird die Minderung von Hochwasserrisiken für das Siedlungsgebiet und für die Autobahn betrachtet.
- Alle geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen werden als Gesamtpaket betrachtet und die Wirkung in ihrer Gesamtheit berücksichtigt (Solidaritätsprinzip).
- Eine Reduktion des von der Autobahn beeinflussten Risikos für das Siedlungsgebiet wird als Nutzen für den Betreiber der Autobahn betrachtet.

Basis des Kostenteilers bildet ein Modell nach Fig. 3, wie es bereits früher für die Finanzierung anderer Großprojekte erarbeitet worden ist. In einem ersten Schritt werden von den Gesamtkosten (1) die direkten Verursacherkosten (2) abgezogen, welche vollumfänglich vom Betreiber der Autobahn getragen werden. Das sind die Kosten, die aufgewendet werden müssten, um das Risiko, welches die Autobahn durch die Beeinflussung der Fliesswege im Siedlungsgebiet verursacht, zu beseitigen. Der entsprechende Risikoanteil lässt sich nur mit einer erheblichen Unschärfe bestimmen, weshalb an Stelle der Verursacherkosten eine Ersatzgröße bestimmt wurde. Es sind dies die Kosten welche aufgewendet werden müssten, um den Einfluss der Autobahn auf die Gefahrensituation zu eliminieren. Dies sind im konkreten Fall die Kosten für einen hypothetischen Durchlass beim Bach Y, welcher im heutigen Zustand oberhalb der Autobahn eingedolt wird und die Kosten für die vorgesehene Dammschüttung beim Bach X. Mit dem hypothetischen Durchlass sollte Wasser und Geschiebe im heutigen Zustand ohne Rückstau und Ablagerung abfließen können.

Die verbleibenden Kosten (3) werden nach Anteilen der Wirkung der Maßnahmen in Bezug auf die Risikoreduktion auf die beiden Kostenträger Autobahn und Gemeinde verteilt (Fig. 3).

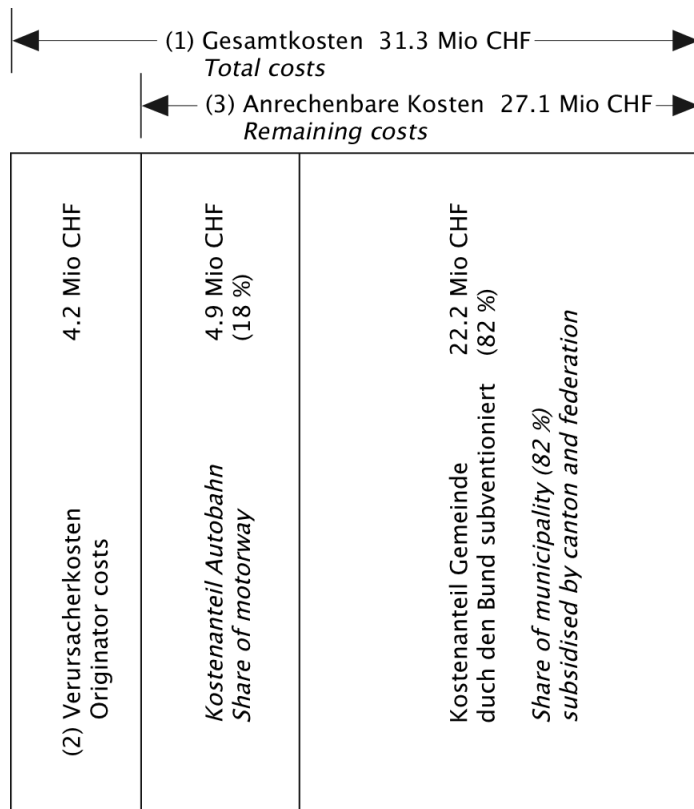


Fig. 3 Kostenteilermodell des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.

Fig. 3 Cost sharing modell of the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC.

Die Aufteilung der Kosten gilt für das gesamte Projekt, also sowohl für die Instandstellungsmaßnahmen als auch für die neuen Hochwasserschutzmassnahmen. Für die Kosten der Instandstellungsmaßnahmen wäre auch eine Aufteilung im Verhältnis zur verhinderten Risikovermehrung vom Ist-Zustand zum Zustand ohne Ausbau und ohne Instandstellung denkbar (vgl. Fig. 2). Die Unsicherheiten in der Bestimmung der Szenarien für diesen Zustand und in der damit verbundenen Risikoberechnung sind jedoch sehr groß. Deshalb wird im vorliegenden Fall darauf verzichtet.

RISIKOMINDERUNG UND KOSTENTEILER

Direkte Verursacherkosten

Die direkten Verursacherkosten für einen hypothetischen Durchlass beim Bach Y. wurden zu 4'000'000 Fr. abgeschätzt. Dazu kommen die Kosten für eine Dammschüttung beim Bach X. von 230'000 Fr., welche verhindert, dass Wasser auf die Autobahn fließt und sich großräumig im Siedlungsgebiet verbreitet. Mit diesen beiden Maßnahmen wird der Einfluss der Autobahn eliminiert. Die gesamten direkten Verursacherkosten betragen 4'230'000 Fr. und gehen voll zu Lasten der Autobahn.

Interessenbeitrag gemäß Anteil Risikoreduktion

Die nach Abzug der direkten Verursacherkosten verbleibenden Investitionskosten werden anhand des Nutzens der jeweiligen Interessengruppen aufgeteilt. Die Gesamtrisiken können mit den Maßnahmen von 361'000 Fr./Jahr auf 85'000 Fr./Jahr reduziert werden. Der größte Teil der Risikoreduktion kann für das Siedlungsgebiet erzielt werden. Das Risiko für Überflutungen im Dorf A. kann um jährlich rund 226'000 Fr. auf verbleibende 74'000 Fr./Jahr reduziert werden. Dies sind 82 % der gesamten Risikoreduktion. Das Risiko der Autobahn kann durch das Projekt um 49'000 Fr./Jahr reduziert werden. Die Risikoverteilung auf die beiden Interessenträger ist in der Tab. 1 zusammengefasst. Die Anteile an der Gesamtrisikoreduktion bestimmen die Anteile an den Kosten des Projektes. Die Kostenanteile der jeweiligen Nutznießer am Gesamtprojekt sind in der Tab. 2 zusammengefasst.

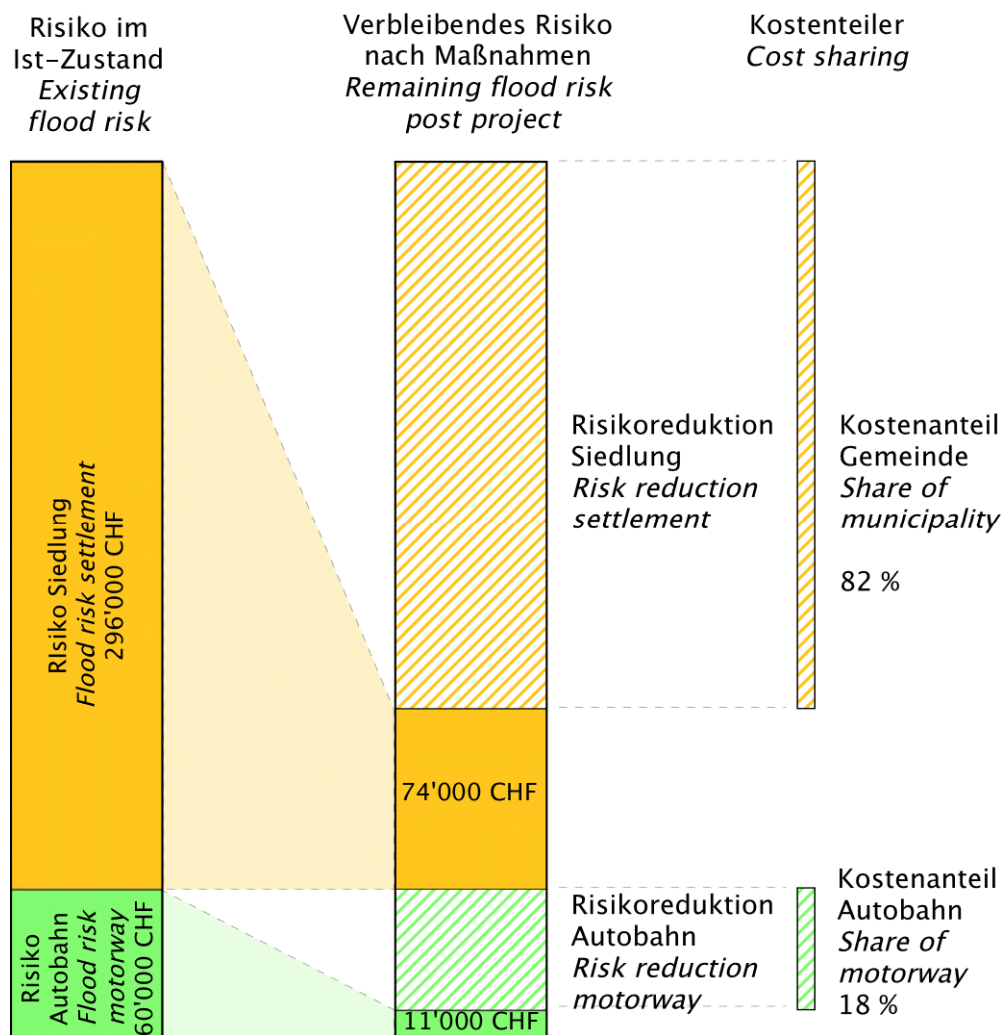


Fig. 4 Kostenteiler zwischen Gemeinde und Autobahn gestützt auf die Anteile der Risikoreduktion.

Fig. 4 Cost share between municipality and motorway based on risk reduction portions.

Tab. 2 Aufteilung der Gesamtkosten zwischen der Gemeinde und dem Betreiber der Autobahn.

Tab. 2 Share of costs between the municipality and the motorway administration.

	Total	Beitrag Autobahn Share of motorway		Beitrag Gemeinde Share of municipality	
	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]
Verursacherkosten Originator costs	4.23 Mio	100	4.23 Mio	0	0
Anrechenbare Kosten Chargeable costs	27.07 Mio	18	4.87 Mio	82	22.20 Mio
Total	31.30 Mio		9.10 Mio		22.20 Mio

SCHLUSSFOLGERUNG

Der Kostenteiler für das Hochwasserschutzprojekt im Dorf A. zeigt, dass die neuen Instrumente zur Bestimmung der Risikominderung und damit der Wirksamkeit von Schutzprojekten ein Hilfsmittel darstellen, um für ein Schutzprojekt einen Kostenteiler zu erarbeiten. Bei der Anwendung dieser Methoden ist unabdingbar, dass sich die beteiligten Akteure vorgängig auf eine gemeinsame Abgrenzung des betrachteten Systems einigen und die folgenden Fragen beantwortet haben:

- Welches sind die zu berücksichtigenden Gefahrenszenarien?
- Welche Risiken (direkte, indirekte) sollen berücksichtigt werden?
- Welches ist der zu betrachtende Ausgangszustand für die Ermittlung der Risikoreduktion?
- Auf welche Maßnahmen soll der Kostenteiler angewandt werden?

Die Reduktion direkter und indirekter volkswirtschaftlicher Risiken ist ein möglicher Nutzen eines Projektes. Andere Arten des Nutzens, z. B. die Erhaltung von Naturwerten, neu geschaffene Möglichkeiten der Landnutzung etc. können ebenfalls von Bedeutung sein. Zudem ist die Bestimmung des Risikos mit Unschärfen verbunden, denn sowohl die Gefahrenanalyse als auch die Erhebung potenzieller Schäden sind mit Fehlern behaftet. Die Ergebnisse der Risikoberechnung können daher als Grundlage für einen Kostenteiler dienen. In der Praxis wird die Kostenbeteiligung unterschiedlicher Akteure an einem Schutzprojekt aber politisch verhandelt werden müssen.

REFERENZEN

- Bründl M. (Hrsg.) (2009). Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2010). EconoMe 2.0. Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2008). Handbuch NFA im Umweltbereich. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Umwelt-Vollzug Nr. 0808. Bundesamt für Umwelt, Bern. 283 S.
- PLANAT (2007). Jährliche Aufwendungen für den Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz. Nationale Plattform Naturgefahren Schweiz, Bern.
- Utelli H.-H., Arnold Ph., Hunzinger L., Gruner U., Kipfer, A., Perren B., Cajos J. (2012). Management von Gravitativen Naturgefahren auf Nationalstrassen. Methodik Risikokzept und dessen Anwendung. 12th Congress Interpraevent 2012. Grenoble.

LE RISQUE INONDATION ET SA GESTION DANS UN LARGE TERRITOIRE: LA PLAINE DU RHÔNE EN AMONT DU LAC LÉMAN

FLOOD RISK AND ITS MANAGEMENT IN A LARGE AREA : THE RHONE PLAIN UPRIVER FROM LAKE GENEVA

Jean-Pierre Jordan¹ and Tony Arborino²

RÉSUMÉ

Plus de 13000 hectares de terres de la plaine du Rhône à l'amont du Lac Léman sont aujourd'hui menacés d'inondation dans la plaine du Rhône, dont plus de 1'000 hectares de zone à bâtir construite avec des intensités fortes. Il est prévu d'investir plus de 1,0 milliard d'euros d'ici 2030 pour protéger la plaine contre les crues centennales et les agglomérations contre les crues d'un temps de retour de 1'000 ans. Ces travaux vont s'étendre sur plusieurs décennies et durant cette période, une réponse appropriée doit être apportée aux demandes légitimes de protection rapide pour ne pas porter préjudice au développement de la plaine, sans toutefois aggraver le risque. Mesures structurelles rapidement exécutables, règles d'aménagement du territoire adaptées et communication transparente sur le risque sont développés ici comme conditions indispensables à une acceptation du projet.

Mots-clés: Carte de dangers, inondation, gestion territoriale, mesures anticipées, communication.

ABSTRACT

More than 13,000 hectares of land in the Rhone Plain upstream from Lake Geneva are currently susceptible to flooding, including a high-density development zone covering an area of around 1,000 hectares. There are plans to invest more than 1 billion euros up to 2030 in order to protect the Rhone Plain against hundred-year floods, and the agglomeration against thousand-year floods. The construction work will take several decades, and during this period a suitable response is to be made to the legitimate urgent calls for flood protection measures so that the development of the region can proceed without increasing the degree of risk. In order to secure the necessary level of acceptance for this major project, rapidly implementable structural measures, adapted land use planning and transparent communication about the degree of risk, will be essential.

Keywords: hazard maps, flooding, land use planning, anticipated measures, communication.

INTRODUCTION

Le Rhône de sa source au Léman s'écoule sur plus de 160km dans une plaine fortement urbanisée et industrialisée.

Les crues historiques du Rhône de ces dernières années, en 1987, 1993 et plus particulièrement en l'an 2000, ont clairement montré les limites de capacité hydraulique et de résistance des digues du Rhône. Sur la plus grande partie de son linéaire, l'aménagement actuel du Rhône n'est en effet pas à même de protéger la plaine contre la crue centennale. L'analyse de la capacité actuelle du fleuve le démontre.

¹ Dr. Jean-Pierre Jordan, Federal Office for the Environment, 3003 Bern, Switzerland (e-mail: jean-pierre.jordan@bafu.admin.ch)

² Tony Arborino, Service des routes et des cours d'eau, 1950 Sion, Switzerland (e-mail: tony.arborino@admin.vs.ch)

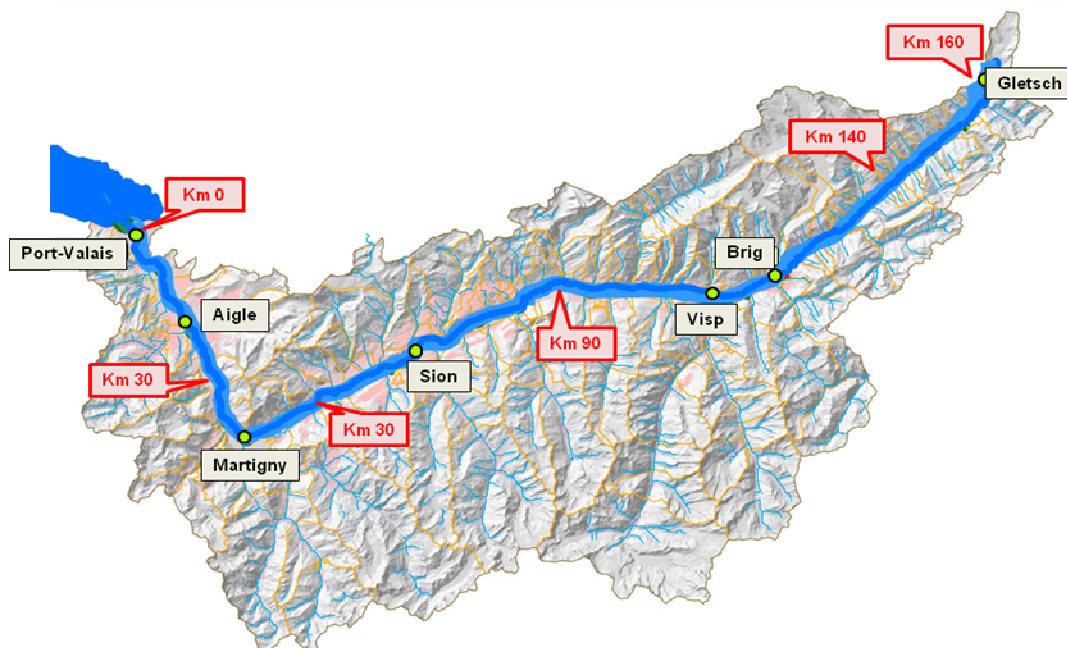


Fig. 1 Le Rhône et son bassin versant à l'amont du lac Léman

Fig. 1 The River Rhône and its watershed upstream of Lake Geneva

Ce manque de capacité n'est pas dû à des dépôts de sédiments sur le fond du lit. Au contraire. Depuis le milieu du siècle passé, on observe en général un abaissement du fond du Rhône, en raison de l'activité soutenue des gravières. Au manque de capacité hydraulique du Rhône, s'ajoute le très mauvais état dans lequel se trouvent ses digues: entre Brigue et le Léman, la moitié de celles-ci sont dangereuses, en raison de leur manque de stabilité (risques d'érosion interne et de renard hydraulique). A tel point qu'elles peuvent se rompre avant même que survienne un débordement. Les digues actuelles datent de la 2e correction du Rhône (1930 - 1960). Elles ont été construites par-dessus les digues de la 1re correction (1863 - 1884).

En Valais, plus de 11'000 hectares de terres de la plaine sont aujourd'hui menacés d'inondation, dont plus de 1'000 hectares de zone à bâtir déjà construite avec des intensités fortes. Les dégâts pourraient se chiffrer à plus de 10 milliards de francs. Une 3^e correction du Rhône est donc une nécessité absolue pour la protection des personnes et des biens et pour permettre le développement économique de la plaine.

Le projet planifié depuis le milieu des années 90 permettra de garantir la sécurité de toute la plaine jusqu'à la crue centennale. Les centres urbains et les grandes industries seront protégés jusqu'à des crues d'une période de récurrence bien supérieure. Mais, même s'il est prévu d'investir plus de 1,0 milliard d'euros d'ici 2030 et que des mesures prioritaires sont d'ors et déjà en chantier, la sécurisation totale de la plaine prendra plusieurs décennies. Dans ces conditions :

1. Quels sont les règles d'aménagement du territoire appropriées que l'on peut adopter durant cette période transitoire avant l'achèvement du projet sans prêter grandement le développement territorial ?
2. Quelles mesures structurelles peuvent être proposées pour sécuriser le plus rapidement possible les zones les plus sensibles ?
3. Quels sont les problèmes liés à la communication du risque et comment les affronter ?

Cette présentation fait donc le bilan des expériences acquises dans ces 3 domaines : planification du territoire, mesures structurelles et communication qui prennent une dimension nouvelle en raison de l'ampleur du projet. L'approche globale développée pourra sans aucun doute être précieuse pour les nombreux futurs projets de renouvellement des grandes infrastructures de protection contre les crues héritées du passé et qui ne correspondent plus aux normes actuelles.

BREF HISTORIQUE DES CRUES

Avant octobre 2000, la dernière grande crue du Rhône ayant provoqué des inondations remonte à 1948, avant la 2^e correction. Durant de nombreuses décennies, il n'y aura plus de grandes crues, jusqu'à celles de 1987, puis 1993 qui sont à l'origine de la 3^e correction du Rhône. Si les crues de 1987 et 1993 n'occasionnent que très peu d'inondations, elles ont chacune atteint la limite de capacité hydraulique et de résistance des digues. La situation était plus critique lors de l'événement d'octobre 2000 qui a provoqué une rupture de digue et d'importantes surfaces inondées. La situation aurait pu être encore plus critique si l'isotherme de zéro degré n'était pas brusquement descendu le dernier jour de précipitations intenses.

L'analyse des hydrogrammes de ces crues historiques de 1987, 1993 et 2000 a montré que les situations météorologiques lors desquelles ces événements rares se produisaient étaient relativement similaires : plusieurs jours de précipitations intenses, provenant du Sud des Alpes et amenées par un vent chaud chargé en humidité de la Méditerranée.

Mais, les crues du Rhône sont également fortement influencées par la répartition des précipitations et ainsi, par le moment de l'arrivée des débits de pointe des rivières latérales, à l'origine d'une éventuelle superposition de ces débits. Cela rend le comportement hydrologique de ce bassin versant complexe et augmente les incertitudes.

La position de l'isotherme du 0°C au-dessus de 3000 m et des précipitations antécédentes abondantes, facteurs déterminant pour la formation de ces crues exceptionnelles, sont difficiles à prévoir, spécialement si l'on prend en considération les effets du changement climatique.

Lors de ces trois crues, les débits de pointe ont nettement dépassés les valeurs historiques observées précédemment. Statistiquement, chacune de ces crues était proche de la crue centennale obtenue par ajustement statistique.

La 2^e correction n'a pas prévu des débits de cette importance. Ces événements historiques ont donc conduit à réviser les débits de projet à la hausse, en intégrant un intervalle de confiance à 90% pour mieux tenir compte des incertitudes mentionnées. Les débits de projet sont d'environ 30% supérieurs aux valeurs retenues lors de la 2^e correction.

LA CARTE DES ALÉAS DUS AUX CRUES DU RHÔNE

Les cartes des aléas représentent des documents de référence pour la prise en compte des dangers naturels en étant utilisées pour l'élaboration des plans d'affectation communaux (plans locaux). Ces cartes sont également importantes pour la planification ou l'élaboration de prescriptions pour des mesures de protection d'objets (réglementation sur la construction) et d'autres mesures visant à la réduction des dommages.

Les cartes d'aléas comportent des données sur les causes, le déroulement, l'intensité, le champ d'action et la probabilité d'occurrence des dangers naturels.

Les cartes des aléas pour les dangers naturels couvrent pratiquement tout le territoire suisse en respectant des critères homogènes. Le danger élevé est délimité en rouge, le moyen en bleu et le faible en jaune. La carte des aléas dus aux crues du Rhône de sa source jusqu'au Léman a été publiée en 2011. Auparavant, seule une carte indicative était disponible. L'échelle de représentation est le 1:10'000 hors zone à bâtir et 1:2'000 en zone à bâtir.

Les zones de danger reportées dans les plans d'affectation sont établies sur la base de la carte d'aléa calculée à l'aide d'un modèle d'inondation bidimensionnel prenant en compte l'expérience des dernières crues et les spécificités de la plaine du Rhône. Sa précision dans le calcul des niveaux d'inondation est de l'ordre de 10 centimètres.

Le modèle 2D mis en œuvre fait le lien entre celui du Rhône et celui de la plaine pour avoir une « maquette » virtuelle complète à l'intérieur de laquelle les flux hydrauliques sont calculés. Il prend en compte près de 1'300 profils en travers du Rhône et 1'600'000 points de hauteur dans la plaine pour une surface modélisée de 170 km², ce qui constitue une densité record à cette échelle. Il s'agit du plus grand modèle hydraulique jamais établi en Suisse, voire en Europe.

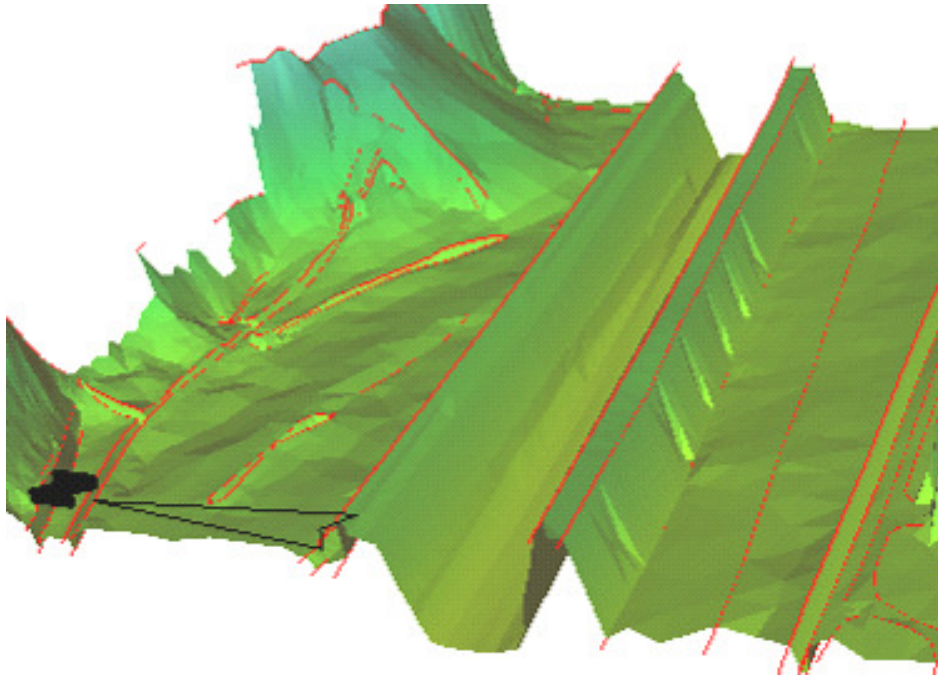


Fig. 2 Exemple de représentation du modèle 2D avec le chenal du Rhône et la plaine
Fig. 2 Example of representation of the 2D model with the channel of the Rhône and the floodplain

Ce modèle prend aussi en compte les particularités locales de la plaine grâce à de nombreuses visites et relevés de terrain complémentaires. Par exemple, les passages inférieurs sous l'autoroute, la route cantonale ou les voies de chemin de fer sont considérés, car l'inondation peut s'y propager.

Il en résulte que plus de 11'000 ha de plaine sont exposés à une inondation. En particulier, 1'055 ha de zone à bâtir sont situés en zone d'aléa élevé (rouge) et sont potentiellement inconstructibles compte tenu des prescriptions habituelles en matière de danger naturel. Cette situation de danger extrêmement étendue, concernant près de 100'000 personnes vivant dans la plaine et pouvant causer potentiellement pour plus de 10 milliards d'euros de dégâts est due à la situation du Rhône en crue surplombant la plaine de 4 mètres en moyenne, avec un risque de rupture de digue ou de débordement.

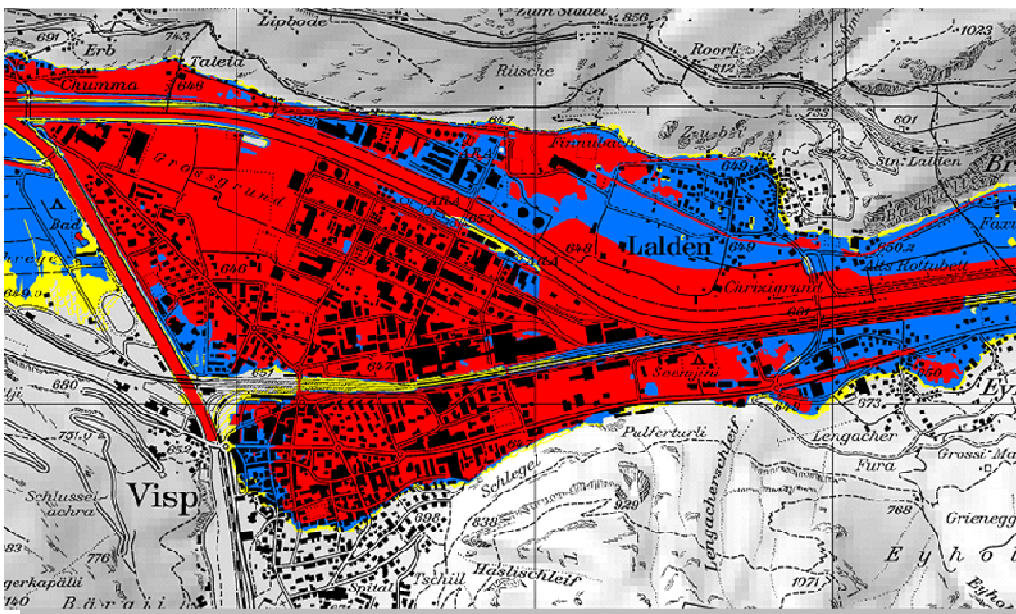


Fig. 3 Carte de dangers pour la ville de Viège et sa zone industrielle exposés à un danger élevé ou moyen couvrant la plus grande partie du territoire

Fig. 3 Hazard map of the city of Visp and its industrial area exposed to high or medium hazard covering most of the territory

LES RÈGLES D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Compte tenu des risques pour les personnes et les biens, des exigences issues de recommandations fédérales et appliquées uniformément en Suisse sont posées pour les autorisations de construire. Elles sont valables pour les différents dangers naturels. En zones d'aléa élevé (rouge), en principe, il y a interdiction de tout projet de construction (nouvelle ou transformée).

L'application de cette règle de gestion territoriale dans l'attente de la fin de la réalisation de la 3^e correction du Rhône prévue dans 30 ans serait disproportionnée et désastreuse pour le développement économique de la plaine.

Le canton a alors développé un complément au modèle de classification du danger (ou aléa) recommandé au niveau fédéral. Ce modèle prend en compte le temps de développement de la crue du Rhône et permet, sous conditions, la construction en danger élevé. Les prescriptions en situation de danger élevé du Rhône ont ainsi pu être allégées dans certains secteurs.

Une analyse plus fine des processus montre en effet deux particularités, dans le cas de la plaine, qui sont de nature à nuancer l'interprétation de l'aléa.

Le phénomène d'inondation de la plaine du Rhône est généralement un phénomène lent, à l'exception des secteurs situés en pied de berge où les vitesses sont élevées en cas de rupture de la digue. En cas d'inondation, le niveau d'eau monte dans un périmètre circonscrit par la digue du Rhône et un obstacle aval (souvent topographique). Compte tenu des étendues de ces périmètres, l'augmentation de la hauteur d'eau se fait lentement. Dans ces conditions, des mesures simples d'adaptations de la structure porteuse des nouveaux bâtiments leur permettront de résister à ces pressions d'eau statiques et d'éviter la rupture brusque qui caractérise les périmètres en aléa élevé (destruction soudaine des bâtiments).

Par ailleurs, la crue survient après plusieurs jours de météo défavorable, plusieurs heures de pluies et plusieurs heures de ruissellement et d'acheminement des eaux, en transitant par les retenues des barrages hydroélectriques dont l'effet de rétention est optimisé par l'outil de prévision et gestion des crues MINERVE. L'analyse dans le temps de ces phénomènes montre que si on fixe une cote d'alerte du niveau du Rhône définie par un temps de retour de 10 ans, on dispose d'un délai de 6 heures au minimum avant la pointe de crue. Une analyse globale des périmètres, du nombre de personnes et des habitations concernées par les spécialistes de l'organisation et de la planification des risques en cas de catastrophe montre que, si différentes conditions préalables sont réunies, ces périmètres peuvent être évacués dans ce laps de temps. Il s'agit principalement pour les communes d'avoir planifié et exercé de manière périodique l'évacuation dans son ensemble (mesures, délais et moyens).

Compte tenu de ces éléments (pas de destruction soudaine des bâtiments et possibilité d'évacuation durant la montée de la crue), et sous réserve de la garantie des conditions demandées pour permettre une évacuation rapide, les périmètres de danger d'inondation profonde ($h > 2\text{m}$) mais non concernés par des vitesses élevées ($v \cdot h < 2\text{m}^2/\text{s}$) pourraient être considérés comme des zones de réglementation (comme pour l'aléa moyen) et non comme des zones d'interdiction dans la réglementation territoriale.

Cette interprétation n'est cependant possible que dans le cas exceptionnel de danger lent et si les critères ci-dessous sont tous respectés de manière cumulative :

1. La zone est déjà affectée à la construction.
2. La zone à bâtir est largement bâtie.
3. Les nouvelles constructions ne conduisent pas à une augmentation significative du risque.
4. Le danger naturel est du type inondation statique.
5. Les nouvelles constructions ne sont autorisées qu'à la condition que la réglementation et/ou les restrictions d'utilisation permettent de limiter les atteintes à l'homme ou les dommages aux biens importants.
6. Des interventions d'urgence garantissent que les personnes concernées puissent être évacuées à temps hors du territoire dangereux et le système est validé par l'organisme cantonal compétent.
7. Les zones à construire ne se trouvent plus en zone rouge après réalisation de la 3^e correction du Rhône (selon la planification du plan d'aménagement).
8. Aucun autre danger naturel ne menace de manière forte le secteur.

De plus, le terrain à bâtir ne devrait faire l'objet d'aucune restriction de bâtir dans d'autres domaines (p.ex. bruit, protection des eaux souterraines,...)

LES MESURES STRUCTURELLES PRIORITAIRES

Un projet général a été élaboré depuis 2005 et a été mis en consultation auprès de la population. Sans entrer dans les détails, il prévoit un élargissement systématique du fleuve, dans les secteurs où cela est encore possible afin d'augmenter la capacité hydraulique sans devoir rehausser les digues. Cette dernière mesure est en effet peu robuste (notamment en raison du refoulement des eaux dans le réseau de plaine et dans les affluents) et conduit à aggraver les risques résiduels en cas de dépassement de la capacité hydraulique. Les coûts du projet dépassent le milliard d'euros et sa réalisation prendra plusieurs décennies.

C'est la raison pour laquelle, simultanément à l'élaboration du projet général, plusieurs secteurs prioritaires ont déjà fait l'objet d'étude de détail. A Viège notamment, site industriel et urbain, où les travaux sont aujourd'hui en cours.

Mais, la sécurisation sur cinq secteurs prioritaires, au centre d'agglomérations denses, prévue jusque vers 2025 ne suffit pas pour répondre aux attentes des autorités. Au-delà des craintes des citoyens auxquelles elles doivent en effet répondre, les contraintes sur l'aménagement du territoire ont un effet important sur le développement économique et touchent toute la plaine. Des solutions pouvant être mises en œuvre rapidement doivent donc également être proposées.

Plutôt qu'un phasage conventionnel des travaux, tronçon par tronçon, une réflexion a été menée pour proposer des mesures partielles ayant un maximum d'efficacité, mais compatibles avec le projet général.

Il s'agit de définir plusieurs phases de travaux dans chaque tronçon qui permettent d'atteindre plus rapidement les objectifs de protection tout en veillant à réduire les coûts d'investissements, notamment au niveau de la gestion des matériaux et à réduire l'impact écologique des travaux.

L'une des solutions envisagée a été de réaliser en priorité les arrières-digues prévues dans le projet général pour la gestion des risques résiduels et qui protègent uniquement les zones habitées. Mais, les arrières-digues définitives ne sont pas prévues pour gérer un scénario de rupture de digues du Rhône : S'il fallait les concevoir pour ce type de scénarios, ces arrières-digues devraient avoir des hauteurs dépassant celles des digues du Rhône et conduiraient à des emprises et à un impact très important dans la plaine.

La démarche générale de mise en œuvre échelonnée proposée consiste alors à construire la nouvelle digue prévue avec les matériaux de l'ancienne digue et à renforcer la digue maintenue. L'enrochement ou les anciens épis seront enlevés pour favoriser l'érosion naturelle et les blocs seront déposés temporairement en vrac au pied de la nouvelle digue.

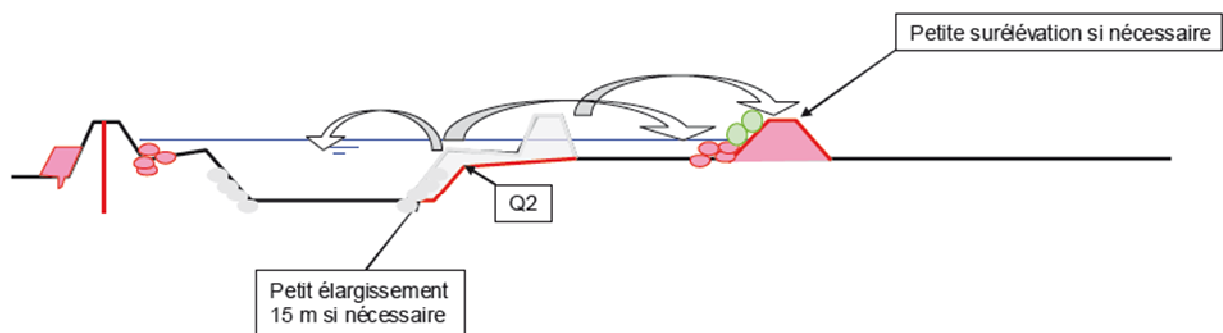


Fig. 4 Première phase de réalisation des mesures

Fig. 4 First phase of the implementation of the measures

Grâce à l'installation des gravières temporaires pendant 20-30 ans et au maintien de celles existantes, le déficit de charriage ainsi créé devrait faciliter l'auto-érosion latérale pour tendre vers le profil en travers définitif. Ce processus doit faire l'objet d'une surveillance régulière et au besoin être accompagné activement par des corrections à l'aide d'une excavatrice.

Les mesures préconisées devront faire l'objet de test sur un premier secteur. En cas de résultats concluants, la première étape décrite ci-dessus qui permettra de sécuriser une grande partie de la plaine contre les crues centennales devrait pouvoir être réalisée dans une période de 10 ans au lieu des 30 à 40 ans prévus.

Dans le même temps, les digues seront équipées de déversoir de sécurité afin de gérer au mieux les cas de surcharge. Il est en effet essentiel de privilégier une gestion globale du risque dans toute la gamme de débits. Cette préférence par rapport à des mesures qui ne font que repousser le seuil d'une inondation, sans permettre la maîtrise du risque résiduel, voire en l'aggravant est un des éléments clefs de la réflexion pour développer des solutions de sécurisation rapides et efficaces.

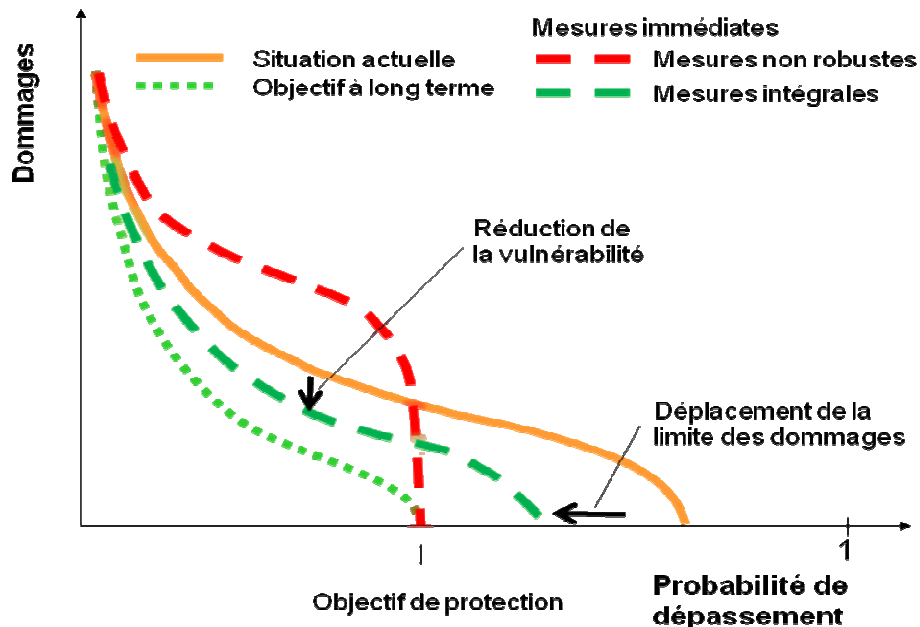


Fig. 5 Effets des différentes actions sur le risque

Fig. 5 Effects of different actions on the risk

LA COMMUNICATION SUR LE RISQUE – LA PROBLÉMATIQUE

La publication des zones de danger d'inondation du Rhône a mis en évidence la difficulté pour la population d'accepter l'idée d'être en danger, dans une société qui vise le danger zéro et cherche des coupables lors de chaque catastrophe.

Une gestion territoriale efficace passe pourtant par une acceptation et une intégration du risque par la population et les autorités, faute de quoi les mesures de restriction à la construction ne sont pas comprises et non respectées. Il s'agit donc d'améliorer la sensibilité et la compréhension du risque, voir de retrouver la mémoire du risque.

Une analyse globale des dynamiques sociales en lien avec le risque (fig. 5) montre en effet que, dans une première phase de développement territorial de la plaine du Rhône, la mémoire du risque était très présente et prise en compte.

Suite aux grands travaux de protection, le risque a été oublié et le développement territorial s'est fait sans le prendre en compte.

La publication des cartes et zones de d'aléas, basées sur l'expérience des grandes crues permet de disposer aujourd'hui d'une « matérialisation » de la mémoire du risque qui est prise en compte dans le développement territorial à travers les outils d'aménagement du territoire.

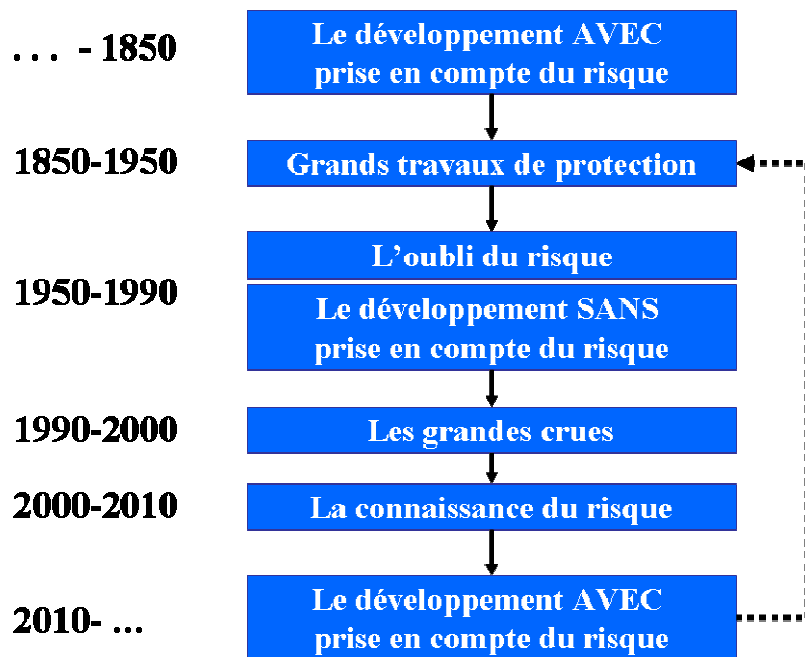


Fig. 6 Evolution au cours du temps de la prise en compte du risque

Fig. 6 Evolution with time of taking into account the risk

Finalement, les grands projets de protection contre les crues doivent prendre en compte la notion de risque résiduel après travaux et les cartographier, pour éviter une boucle et la répétition du schéma dès 1850.

Les mesures de réglementation du territoire après réalisation des mesures structurelles de protection sont alors cruciales pour éviter une nouvelle augmentation du potentiel de dommages. Une réglementation des constructions doit donc être maintenue dans les zones de risques résiduels. Selon les recommandations actuelles de la Confédération, les zones exposées à un aléa en cas d'événement extrême sont cartographiées en jaune strié et ceci indépendamment de l'intensité.

Pour une meilleure différenciation des mesures d'aménagement du territoire, le canton du Valais propose de garder l'information sur l'intensité en distinguant des zones striées jaune, bleue et rouge. Cette distinction peut s'avérer particulièrement utile lorsque la première étape de mise en œuvre échelonnée sera réalisée.

Car si la protection contre les crues rares sera effectivement atteinte après cette première étape, les objectifs de robustesse des mesures ne pourront être atteints qu'après réalisation de la totalité des mesures, ce qui doit être traduit sur les cartes d'aléa intermédiaires.

LA COMMUNICATION SUR LE RISQUE – LES OUTILS

L'outil principal de communication sur les aléas est le plan des zones de danger. Il est mis à l'enquête publique et donc consultable par toute la population. Il est ensuite reporté à titre indicatif sur les plans d'affectation des zones (voir fig. 3).

La représentation en trois degrés d'aléa (élevé – moyen – faible) correspondant à trois couleurs (rouge – bleu – jaune) simplifie la communication de ce type de plan.

Cette information sur l'aléa est présentée sous d'autres aspects pour en faciliter la consultation ou la compréhension.

Le film d'animation présentant les zones de danger depuis une vue virtuelle d'hélicoptère survolant la plaine permet une présentation du sujet en conférence avec une lisibilité accrue.

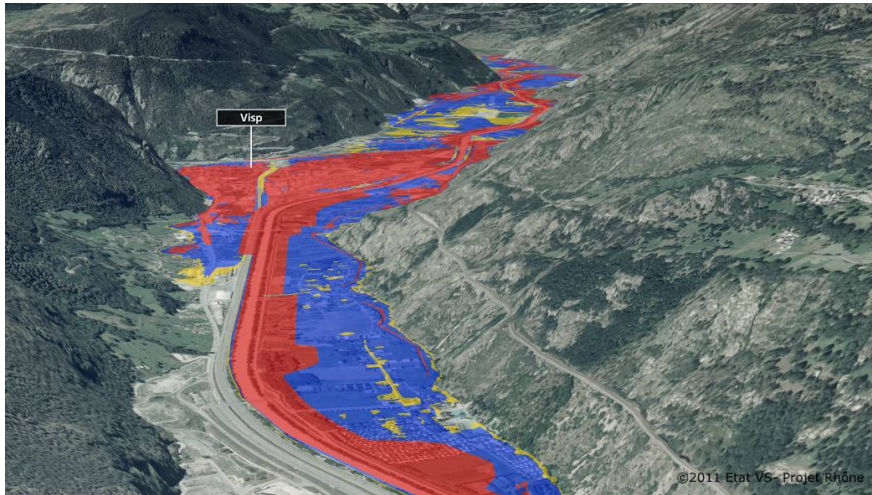


Fig. 7 Représentation virtuelle des dangers pour améliorer la communication
Fig. 7 Virtual representation of the hazards for improving the communication

Le site internet et le plug-in SIG (www.vs.ch → Accueil > Transports, équipement et environnement > Protection contre les crues du Rhône > Danger et territoire) permettent à tout intéressé de consulter on-line le plan des zones de danger sur le secteur le concernant, d'imprimer la carte souhaitée et de consulter les informations essentielles comme le niveau d'eau en un point. L'information peut donc être très facilement accessible par toute la population à l'échelle de la parcelle.

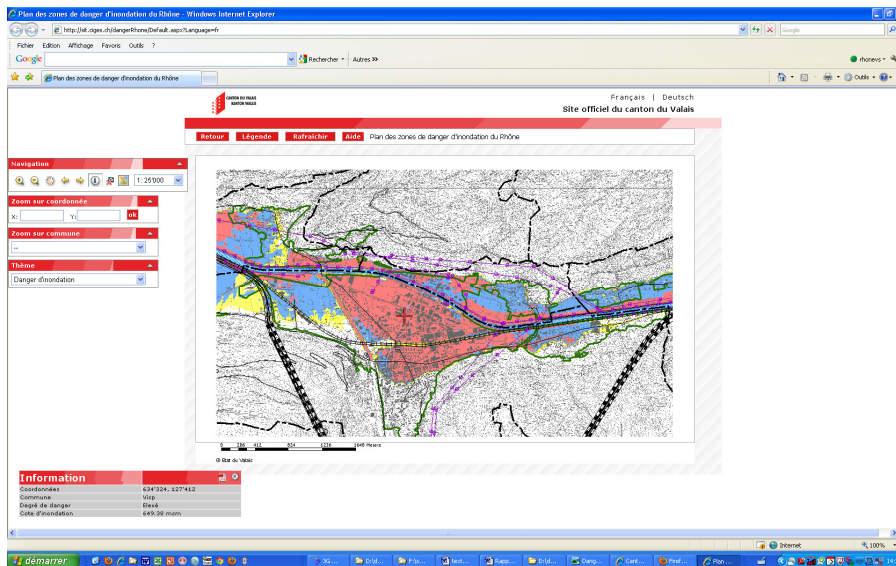


Fig. 8 Site Internet de l'Etat du Valais
Fig. 8 Website of the canton of Valais

Une feuille d'information (A3 recto-verso) présentant de manière synthétique les zones de danger ainsi que les réponses aux questions fréquentes a été éditée et distribuée aux communes concernées.

Des exercices d'évacuation sont demandés aux communes menacées par des dangers élevés. Sans l'organisation spécifique de leur plan d'intervention d'urgence et le test de leur structure et de leur faculté à assurer l'évacuation de la population menacée, le canton préavise négativement les demandes de construction en danger élevé sur cette commune.

Finalement, une hot-line a été organisée et un groupe de travail ad-hoc constitué pour répondre aux questions et cas échéant cerner de nouveaux besoins en communication.

CONCLUSIONS

Le projet d'aménagement du Rhône à l'amont du lac Léman est exemplaire des problèmes que posent une situation critique de danger sur un très grand territoire ne pouvant être résorbée qu'aux moyens de travaux s'étendant sur plusieurs décennies. Il faut alors pouvoir répondre aux craintes des habitants et à la pression des demandes de sécurisation rapide. Pour ne pas compromettre l'acceptabilité de mesures durables, d'autres actions doivent être développées tout en assurant une gestion intégrale des risques.

Durant les décennies que dureront les travaux de ce grand projet d'aménagement de cours d'eau, des mesures d'aménagement du territoire adaptées à la situation sont et seront appliquées pour éviter une augmentation des dommages, sans toutefois porter fortement préjudice au développement de la plaine. Outre les mesures prioritaires, la réalisation échelonnées des mesures sur pratiquement l'entier du linéaire devrait permettre de réduire efficacement et globalement le risque dans un délai deux fois plus court que celui prévu pour la réalisation de la totalité des travaux.

Ce projet constitue ainsi à ce jour un cas unique d'adaptation à grande échelle d'ouvrages hérités des grands aménagements hydrauliques du XIX^e siècle et du début du XX^e. La prise en compte pour de tels travaux des nouveaux paradigmes dans le domaine de la protection contre les crues nécessite alors le développement d'outils spécifiques tant en terme d'aménagement du territoire, qu'en terme de participation et d'information. Cette expérience sera très utile pour les futurs grands projets de renouvellement des endiguements, en Suisse ou en Europe, à l'exemple du projet international sur le Rhin alpin à l'amont du lac de Constance dont la planification des mesures a commencé il y a quelques années.

Les travaux en cours depuis 2008 pour la mesure prioritaire de Viège apporteront également des enseignements importants sur l'exécution des travaux et permettra de vérifier les résultats des modèles mathématiques et physiques. La protection durable d'un centre urbain et industriel avec des dommages potentiels dépassant le milliard d'euros est toutefois déjà sur la bonne voie.

REFERENCES

Département des transports, de l'équipement et de l'environnement du canton du Valais. Département de la sécurité et de l'environnement du canton de Vaud (2008). Rapport de synthèse du plan d'aménagement de la 3e correction du Rhône + (2010) Rapport intermédiaire sur l'information/la consultation publique de l'avant-projet du Plan d'aménagement (PA-R3) et du Plan sectoriel Vaud (PS-R3 VD) de la 3e correction du Rhône (mai à septembre 2008).*

Hernandez J.G., Horton P., Tobin C., Boillat J.-L. (2009). MINERVE 2010: prévision hydrométéorologique et gestion des crues sur le Rhône alpin, Wasser Energie Luft, 04-2009, pp 297-302.

Petrascheck A., Hegg C., et al. OFEG, WSL (2000). Les crues 2000. Analyse des événements, cas exemplaires. Rapports de l'OFEG, série Eaux, no. 2, Office fédéral des eaux et de la géologie.

OFEG (2001). Directives protection contre les crues des cours d'eau. Office fédéral des eaux et de la géologie.

Roduit B., Arborino T. (2010). Crues 2000, Saillon se souvient.

Boillat J.L. (2005). L'influence des retenues valaisannes sur les crues, le projet MINERVE, Wasser Energie Luft, 11/12-2005, pp 317-324.

*Téléchargeable sur le site de l'état du Valais : www.vs.ch → **Accueil > Transports, équipement et environnement > Protection contre les crues du Rhône**

WIRTSCHAFTLICHE SCHÄDEN DURCH GRAVITATIVE MASSENBEWEGUNGEN

ENTWICKLUNG EINES EMPIRISCHEN BERECHNUNGSMODELLS MIT REGIONALER ANWENDUNG

Martin Klose¹, Bodo Damm², Birgit Terhorst³, Norbert Schulz⁴ und Gerhard Gerold⁵

ZUSAMMENFASSUNG

Weltweit verursachen gravitative Massenbewegungen jährliche wirtschaftliche Schäden in Milliardenhöhe. Auch in den deutschen Mittelgebirgen sind Massenbewegungen weit verbreitet und für hohe finanzielle Verluste verantwortlich. Trotzdem basieren Schadenserfassungen bisher weitgehend auf pauschalen und unsystematischen Schätzungen. In der vorliegenden Arbeit werden ein empirisches und auf einer Rutschungsdatenbank aufbauendes Berechnungsmodell sowie ausgewählte Ergebnisse einer Modellanwendung auf das nordhessisch-südniedersächsische Bergland vorgestellt. Die Grundlage der Schadensberechnung sind Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodelle. Diese simulieren die kostenrelevanten Tätigkeitsabläufe nach einem Rutschereignis. Kostenmodule, objektspezifische Wert- bzw. Ertragsverluste, Abrechnungen sowie Expertenwissen werden zur Kalkulation der im Prozessverlauf anfallenden Kosten eingesetzt. Beide Modellsäulen beruhen auf Experteninterviews, Baupreisdatabanken, bautechnischen und verwaltungsrechtlichen Grundlagen sowie gängigen Methoden der Grundstücksbewertung. Die regionale Modellanwendung bestätigt die Funktionalität der Berechnungsmethodik und schafft eine wertvolle Datengrundlage für ein kostenbewusstes Naturgefahrenmanagement.

Keywords: Gravitative Massenbewegungen, direkte wirtschaftliche Schäden, empirisches Berechnungsmodell, regionale Anwendung

ABSTRACT

Each year, landslides cause billions in economic loss worldwide. Mass movements are also widespread in German subdued mountains and are responsible for remarkable amounts of financial costs. However, previous surveys mainly base on non-systematic estimations. This study presents an empirical and database-driven calculation model as well as selected results of a model application to the northern Hessian and southern Lower Saxon uplands. Reaction, prevention, maintenance and repair process models are the basis for the calculation. These simulate the cost-relevant activities after a landslide event. Cost modules, object-specific asset and income losses as well as available accountings are implemented to compute the economic losses outlined by the process models. Both pillars of the model are predicated on expert interviews, construction cost databases, fundamentals in natural hazard engineering and administrative law as well as prevalent real estate appraisal methods.

¹ Dipl.-Geogr. Martin Klose, University of Vechta, Institute for Spatial Analysis and Planning in Rural Areas (ISPA), Universitätsstr. 5, 49377 Vechta, Germany (e-mail: mklose@ispa.uni-vechta.de) / University of Göttingen, Institute of Geography, Department of Landscape Ecology, Goldschmidtstr. 5, 37077 Göttingen, Germany

² Prof. Dr. Bodo Damm, University of Vechta, Institute for Spatial Analysis and Planning in Rural Areas (ISPA), Germany

³ Prof. Dr. Birgit Terhorst, University of Würzburg, Institute of Geography and Geology, Germany

⁴ Prof. Norbert Schulz, Ph.D., University of Würzburg, Institute of Economics, Germany

⁵ Prof. Dr. Gerhard Gerold, University of Göttingen, Institute of Geography, Department of Landscape Ecology, Germany

The regional model application confirms the functionality of the calculation method and provides a valuable data basis for a cost-conscious natural hazard management.

Keywords: landslides, direct economic losses, empirical calculation model, regional application

EINLEITUNG

In vielen Ländern der Erde belaufen sich die wirtschaftlichen Schäden durch Massenbewegungen auf mehrere Milliarden EUR pro Jahr (u.a. Schuster et al., 1986; Schuster, 1996; Kjekstad et al., 2009). Massenbewegungen sind auch in den deutschen Mittelgebirgen eine bedeutende Naturgefahr (u.a. Damm, 2005; Neuhäuser et al., 2006; Terhorst et al., 2009), die älteren Schätzungen zufolge zu jährlichen Verlusten von etwa 110 Mio. EUR führt (vgl. Krauter, 1992). Ungeachtet dieses hohen Schadensaufkommens bestehen bislang keine ausreichenden Kenntnisse über die räumliche Verteilung und die Art von wirtschaftlichen Schäden durch Massenbewegungen. Meist basieren Schadenserfassungen auf pauschalen Schätzungen, ein systematisches Erhebungsverfahren fehlt hingegen. Ein zentrales Teilziel der International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) der Vereinten Nationen fordert jedoch, die wirtschaftlichen Schäden von Naturgefahren durch eine bessere Kenntnis deren gesellschaftlichen Folgen zu reduzieren (DKKV, 2011).

In dieser Arbeit wird ein empirisches Berechnungsmodell präsentiert, das gestützt auf einer Rutschungsdatenbank erstmals eine systematische Quantifizierung direkter wirtschaftlicher Schäden ermöglicht. Darüber hinaus werden Ergebnisse einer regionalen Modellanwendung auf das nordhessisch-südniedersächsische Bergland für den Zeitraum 1980-2010 vorgestellt. Das Berechnungsmodell betrachtet auf Grundlage eines mikroökonomischen Schadensverständnisses ausschließlich direkte, tangible, primäre und sekundäre Schäden. Wirtschaftliche Schäden sind finanzielle Nachteile für natürliche oder juristische Personen, deren Sachwerte innerhalb des Prozessweges einer schadensverursachenden Massenbewegung liegen (vgl. Erdmann, 1994; Schuster, 1996). Mit dem Schadens- und Vermeidungskostenansatz bestehen zwei differenzierte Konzepte, die grundlegend für die Berechnung sind. Kosten werden als der in Geldeinheiten bewertete Verbrauch von Gütern und Diensten zum Zwecke der Wiederherstellung oder der Sicherung der durch Massenbewegungen beschädigten oder gefährdeten Sachwerte definiert (vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. et al., 2001). Schadenskosten beziehen sich nicht nur auf Aufwendungen, die durch Wiederherstellungsmaßnahmen anfallen, sondern auch auf Vermögens- und Ertragsverluste nicht wieder herstellbarer Sachwerte. Demgegenüber werden unter Vermeidungskosten jene Finanzmittel subsumiert, die natürliche oder juristische Personen aufbringen, um durch Präventionsmaßnahmen zukünftige Schadensfälle zu vermeiden (vgl. Baum et al., 2010; Rogall, 2002).

EMPIRISCHES BERECHNUNGSMODELL

Das entwickelte Berechnungsmodell basiert in seiner Grundstruktur auf drei differenzierten Modellsäulen, die untereinander funktional verknüpft sind und eine prozessorientierte Schadensberechnung ermöglichen (vgl. Fig. 1). Die erste Modellsäule ist die Rutschungsdatenbank „Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen“ (Damm, 2011). Diese enthält qualitative und quantitative Daten über die Rahmenbedingungen, Charakteristika und Schäden von Massenbewegungen. Das Kalkulationsverfahren ist in seiner Funktionalität nicht an die vorliegende Rutschungsdatenbank gebunden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bieten verschiedene im Aufbau befindlichen Inventare und Datenbanken, beispielsweise aus Deutschland (u.a. LfU, 2011; LfULG, 2011). Die Qualität von Inventardaten ist für numerische Berechnungsansätze in der Regel zu gering. Datenbankgestützte Kostenkalkulationen verlangen ein detailliertes Verständnis der Zuständigkeiten im Umgang mit Massenbewegungen. Die zweite Modellsäule sieht daher den Einsatz von Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodellen vor. Auf Basis von Rechtsgrundlagen und Praxiswissen simulieren Prozessmodelle die kostenrelevanten Tätigkeiten nach einem Rutschereignis.

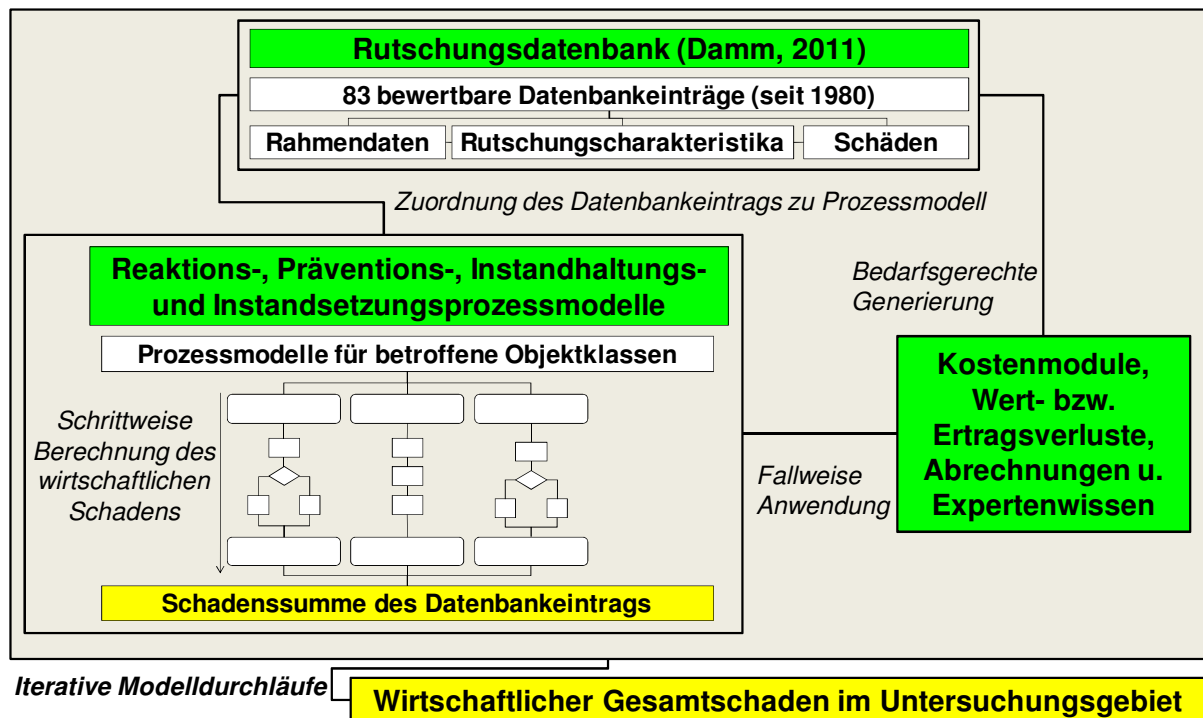


Fig. 1 Grundstruktur des empirischen Berechnungsmodells (Klose, 2011)

Fig. 1 Framework of the empirical calculation model (Klose, 2011)

Das Berechnungsverfahren ordnet die Datenbankeinträge definierter Objektklassen standardisierten Prozessmodellen zu. Dies ermöglicht auch bei geringer Güte der Eingangsdaten robuste Aussagen über die im Prozessverlauf durchgeführten Maßnahmen. Alle Prozessstufen entsprechen monetär quantifizierbaren Tätigkeiten, die anhand der dritten Modellsäule, bestehend aus Kostenmodulen, Wert- und Ertragsverlusten, Abrechnungen sowie Expertenwissen, kalkuliert werden. Die Generierung dieser Modellbestandteile erfolgt bedarfsgerecht und unter Einbeziehung der vorhandenen Schadensinformationen. Abrechnungsmengen und wertbeeinflussende Objektdaten werden direkt aus dem Inventar entnommen oder aus den verfügbaren Angaben abgeleitet. Mit Hilfe der entwickelten Methodik kann die Schadenssumme eines Datenbankeintrags schrittweise und systematisch kalkuliert werden. Zur Berechnung des Gesamtschadens im Untersuchungsgebiet ist das Modell iterativ für alle bewertbaren Datenbankeinträge zu durchlaufen.

REAKTIONS-, PRÄVENTIONS-, INSTANDHALTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSPROZESSMODELLE

Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodelle liegen für alle betroffenen Objektklassen vor. Übergeordneter Rahmen der Prozessmodellierung sind Grundlagen des allgemeinen und speziellen Verwaltungsrechts. Die relevanten Gesetzestexte und die dazugehörige juristische Fachliteratur erlauben eine Klärung der generellen Zuständigkeiten. Detaillierte Informationen über die Abläufe im Ereignisfall müssen über Befragungen von Experten, die Praxiskenntnisse im Management von Rutschgefahren besitzen, erhoben werden. Hierzu wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit Fachleuten aus Behörden, Katastrophenschutzorganisationen und Infrastrukturunternehmen durchgeführt. Das gewonnene Datenmaterial wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse systematisiert und komprimiert. Im Mittelpunkt standen die Identifikation von standardisierten Tätigkeitsabläufen und das Herausarbeiten von Kostenfaktoren. Prozessmodelle dienen in Anlehnung an die Verfahren des Geschäftsprozessmanagements (vgl. Weske, 2007) der graphischen Visualisierung der aufbereiteten Daten. Als Modellierungstechnik werden Flussdiagramme verwendet. Jedes Prozessmodell ist ein Berechnungsalgorithmus, der die zu kalkulierenden Maßnahmen standardisiert vorgibt. Die entwickelten Flussdiagramme sind einfache Kostenketten, um die Simulation zu vereinfachen und

Kompatibilität mit der dritten Modellsäule zu gewährleisten. Ausführliche Begleittexte beinhalten rechtliche, technische und kalkulatorische Hintergrundinformationen. Ein hoher Standardisierungsgrad stellt die universelle Anwendbarkeit der Prozessmodelle sicher. Fallspezifische Tätigkeitsabläufe sind für komplexe Schadensfälle charakteristisch und werden in der Modellierung explizit berücksichtigt. Das Ziel der Implementierung ist es, Kostenfaktoren zu identifizieren und den Berechnungsgang zu systematisieren.

KOSTENMODULE, WERT- UND ERTRAGSVERLUSTE, ABRECHNUNGEN UND EXPERTENWISSEN

Die wirtschaftlichen Schäden der verschiedenen Prozessstufen werden anhand von Kostenmodulen, Wert- bzw. Ertragsverlusten, Abrechnungen und Expertenwissen kalkuliert. Kostenmodule sind standardisierte und preislich bewertete Soforthilfe-, Wiederherstellungs- oder Präventionsleistungen mit klar definierten Abrechnungseinheiten. Um eine möglichst hohe Praxisrelevanz zu gewährleisten, erfolgte deren Bildung in Rücksprache mit Sachverständigen aus Fachbehörden und Privatunternehmen. So beziehen sich beispielsweise alle Kostenmodule, die zur Kalkulation von baulichen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden, auf Bauverfahren, die von Spezialfirmen angewendet werden. Neben Expertenwissen stellen die Vorgaben technischer Regelwerke und die geo- sowie bautechnische Fachliteratur wesentliche Informationsquellen dar. Hinsichtlich der Datenanforderung ist zwischen pauschal zu kalkulierenden Kostenmodulen und Kostenmodulen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Teilleistungen zu differenzieren. Insbesondere bauwerksbezogene Kostenmodule verlangen fundierte Daten über die zugrunde liegenden Rutschungsdimensionen und das zu bewertende Bauwerk. Zur Ermittlung der Abrechnungsmengen wird in diesen Fällen auch auf Dimensionierungsrichtlinien und Bemessungskennwerte zurückgegriffen. Preisliche Bewertungsgrundlagen der Kostenmodule sind Baupreisdatenbanken, Unternehmensbefragungen und Kostensatzungen.

Wert- bzw. Ertragsverluste sind objektindividuell kalkulierte Sach- bzw. Ertragswerte eines nicht wieder herstellbaren Schadensobjekts. Die Kalkulation orientiert sich an gängigen Methoden der Grundstücks- und Waldbewertung. Aufgrund der hohen Datenanforderungen sind diese Verfahren nur in ihren Grundzügen anwendbar und müssen teilweise durch alternative Konzepte ersetzt werden. Technische Totalschäden von Wohn- und Gewerbegebäuden werden anhand des Sachwerts vor Schadenseintritt bewertet. Die an Forstflächen durch vorzeitige Holzernte und dauerhaften Nutzungsverzicht entstehenden Wertverluste berechnen sich aus erhobenen Kostensätzen und verfügbaren Holzproduktionswerten (vgl. Möhring et al., 2006).

Die Schadensermittlung anhand von Abrechnungen basiert im Wesentlichen auf Rechnungsdokumenten, Baukalkulationen und Projektkostenerfassungen. Abrechnungen zu den Gesamtkosten von Schadensfällen erleichtern die Kalkulation und optimieren die Berechnungsgenauigkeit. Als hervorragende Kalkulationsgrundlagen erweisen sich unter anderem die von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) bereitgestellten Daten aus der Straßeninformationsbank (SIB)-Bauwerke sowie dem Projektinformations- und Managementsystem (PRIMAS). Darüber hinaus kann Expertenwissen von Zeitzeugen wertvolle Kosteninformationen liefern.

Die notwendige Preisanpassung erfolgt anhand möglichst plausibler Preisindizes und Lohndaten des Statistischen Bundesamts Deutschland. Kostenmodule für Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen an Verkehrswegen werden beispielsweise mit dem Preisindex für den Straßenbau inflationsbereinigt. Für Soforthilfemaßnahmen sowie lohnintensive Planungs- und Gutachterleistungen liegen keine geeigneten Indizes vor. Zweckmäßig ist jedoch eine Preisanpassung mit einem Index aus der Zeitreihe der Lohnkosten je Arbeitnehmerstunde. Folglich basiert die Kalkulation stets auf realen Werten. Den ermittelten Nettopreisen wird die aktuell gültige Umsatzsteuer in Höhe von 19 % hinzugerechnet. Ausgenommen hiervon sind Eigenleistungen und nicht umsatzsteuerpflichtige Behördengebühren von Polizei, Feuerwehr und THW.

BERECHNUNGSBEISPIEL

Die Anwendung des Berechnungsmodells wird am Beispiel einer Straßenverschüttung durch eine Lockergesteinsrutschung an einem Prallhang des Wesertals fallbezogen erläutert (vgl. Fig. 2). Zunächst wird der zu bewertende Datenbankeintrag dem relevanten Reaktionsprozessmodell Straßeninfrastruktur zugeordnet. Mit Hilfe dieses Prozessmodells und des dazugehörigen Begleittexts kann der Tätigkeitsablauf realitätsnah nachvollzogen und die relevanten Kostenfaktoren bestimmt werden. Der gelb markierte Reaktionsprozess beginnt mit einer Soforthilfe, die im betrachteten Fallbeispiel eine provisorische Verkehrssicherung durch die Polizei und Feuerwehr umfasst. Nach der Einrichtung einer dauerhaften Verkehrsumleitung, findet eine Expertenbegehung durch einen Straßenmeister und einen Ingenieur des Straßenbauamts statt. Einfache erdbauliche Sanierungsmaßnahmen, wie der im vorliegenden Fall eingesetzte Steinkeil, verlangen erfahrungsgemäß ein kleines Gutachten. Bei besonderer Dringlichkeit können Beräumungsleistungen freihändig und ohne großen Planungsaufwand an ein örtliches Bauunternehmen vergeben werden (vgl. § 3 Abs. 5 Nr. 2 VOB/A). Schließlich ist davon auszugehen, dass die Sanierung nicht unverzüglich, sondern erst nach abgeschlossener Planung und bei bereits fließendem Verkehr vorgenommen wird.

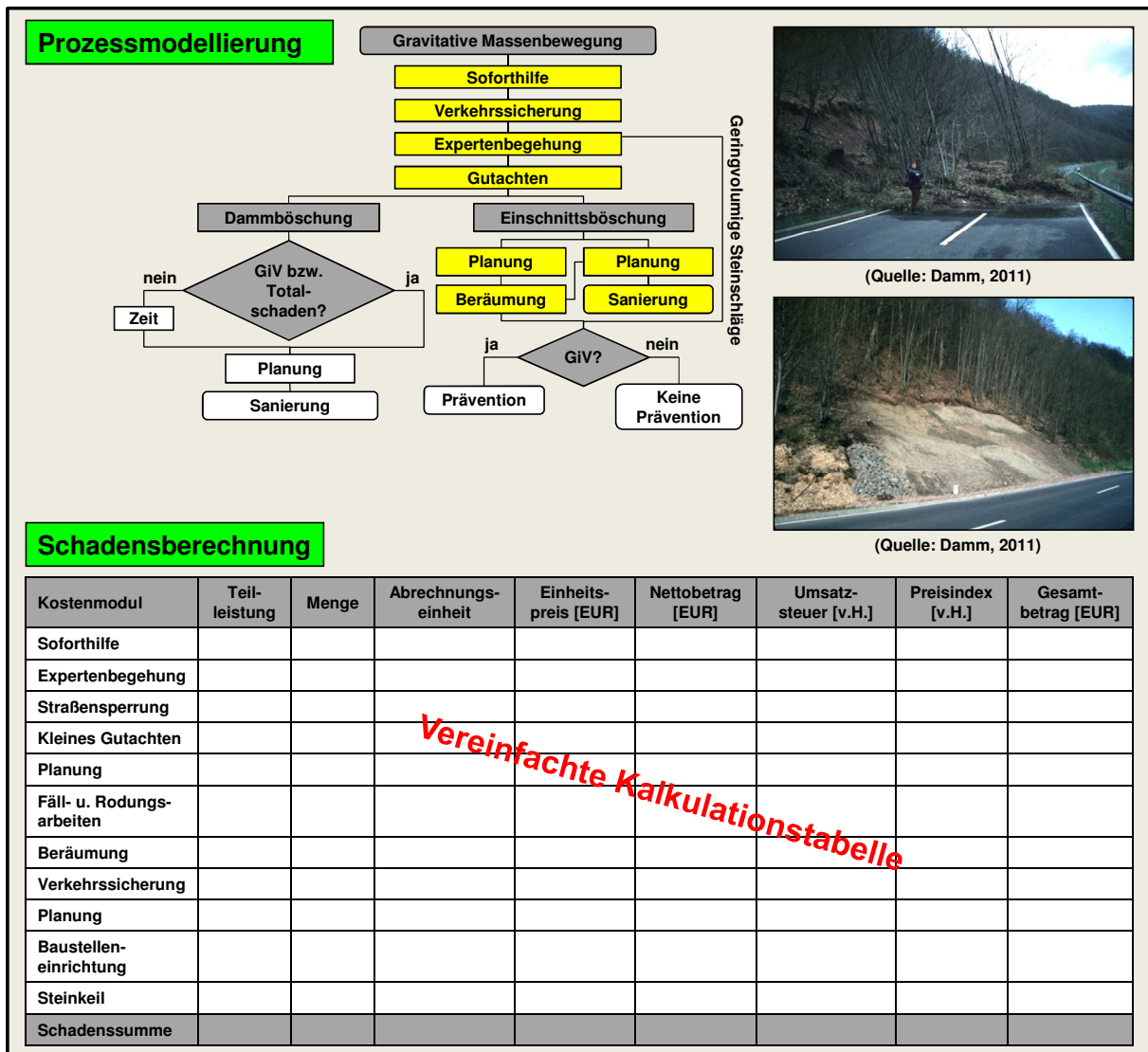


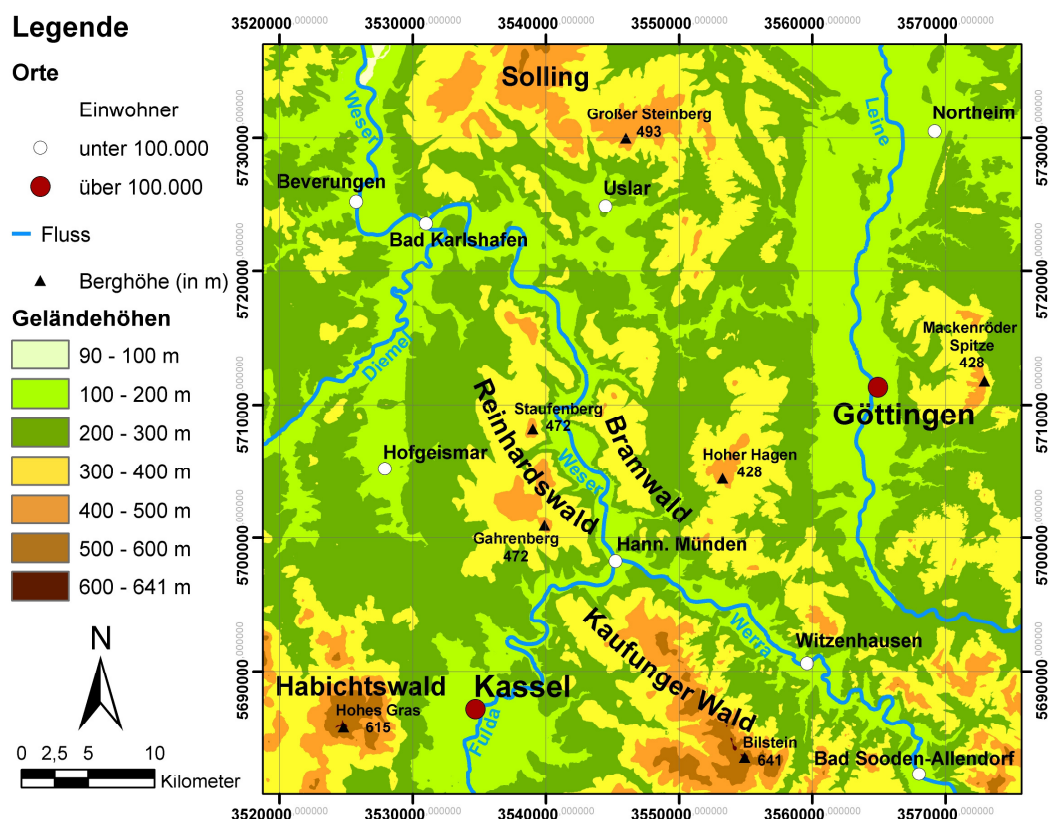
Fig. 2 Exemplarische Prozessmodellierung und Schadensberechnung (Klose, 2011)

Fig. 2 Exemplary process modeling and cost calculation (Klose, 2011)

In einer Kalkulationstabelle werden die angewandten Kostenmodule nach Teilleistungen, Abrechnungsmengen und Einheitspreisen aufgeführt. Die verfügbaren Datenbankinformationen dienen zur Ermittlung der Abrechnungsmengen und ermöglichen die Kalkulation der Nettobeträge. Aus den besteuerten und preisangepassten Gesamtbeträgen ergibt sich die Schadenssumme des Datenbankeintrags. Die Kostenmodule Soforthilfe und Expertenbegehung gehen pauschal in die Kalkulation ein und beruhen auf erhobenen Kostensätzen sowie praktischen Erfahrungen über die Einsatzdauer, Personalstärke und Einsatztechnik. Mit Hilfe einer von der Vorhaltungsdauer abhängigen Kostenformel können die Aufwendungen der Straßensperrung berechnet werden. Diese basiert auf einem orthogonalen Straßennetz und Expertenwissen über die Vorhaltungs-, Aufbau- und Abbaukosten der relevanten Umleitungsbeschilderung. Die Beträge der Kostenmodule Kleingutachten, Planung und Baustelleneinrichtung sind Erfahrungswerten angelehnt oder ermitteln sich als Prozentwert aus den Nettobaukosten. Verschiedene Annahmen bezüglich der Bestockungsfläche, der Anfahrdauer zum Schadensort und der stündlichen Beräumungsleistung stellen die Kalkulation der Teilleistungen von Rodungs- und Beräumungsarbeiten sicher. Anhand eines Regelplans der Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) und hierzu kompatiblen Kostensätzen lassen sich die Verkehrssicherungskosten quantifizieren. Die Kalkulation des Steinkeils stützt sich auf den Angaben zur Tiefe, Breite und Länge der Gleitfläche. Für den betrachteten Datenbankeintrag kann somit eine Schadenssumme von 37.000,- EUR veranschlagt werden.

UNTERSUCHUNGSGBIET

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des nordhessisch-südniedersächsischen Berglandes und erstreckt sich zwischen den Städten Kassel und Göttingen auf einer Fläche von 3.100 km² (vgl. Fig. 3).



Die Geländehöhen reichen von unter 200 m NN in den Tallagen bis auf über 600 m NN an den Höhenzügen von Kaufunger Wald und Habichtswald. Eine hohe Rutschungsdisposition weisen insbesondere die Prallhänge und Engtalabschnitte der bis zu 300 m tief eingeschnittenen Flusstäler

von Fulda, Werra und Weser auf. Rutschanfällige geologische Einheiten sind vor allem die Schichtwechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins, die Röt-Muschelkalk-Grenze und die dem Mittleren Buntsandstein auflagernden Fließerden (vgl. Ackermann, 1959; Damm, 2005; Damm et al., 2010; Schunke, 1971). Neben der geologischen und reliefbedingten Grunddisposition besitzen klimatische Steuerungsfaktoren maßgeblichen Einfluss auf das Auftreten von Massenbewegungen. Auslösendes Moment ist vielfach eine intensive Durchfeuchtung der rutschgefährdeten Lockergesteine während niederschlagsreicher Witterungsperioden, aufgrund intensiver Starkregen oder durch Schichtwasser aus dem klüftigen Buntsandsteingebirge. Darüber hinaus stellen der Siedlungs- und Verkehrswegebau wichtige Eingriffe in das Faktorengefüge von Massenbewegungen dar. Im Analysezeitraum dominierten flachgründige Lockergesteins- und Felsrutschungen, Fließungen sowie Stein- und Blockschläge mit Kubaturen von meist $< 300 \text{ m}^3$. Nur in Einzelfällen wurden Volumina von bis zu 100.000 m^3 registriert. Massenbewegungen führen im Untersuchungsgebiet zu Sachschäden an Verkehrswegen (vgl. Fig. 4), Gebäuden, Ver- und Entsorgungsanlagen sowie Forst- und Landwirtschaftsflächen.



Fig. 4 Rutschungsschaden an der Bundesstraße 3 bei Hann. Münden im Januar 2003 (Damm, 2011)

Fig. 4 Landslide damage at the federal road 3 near Hann. Münden in January 2003 (Damm, 2011)

ERGEBNISSE DER REGIONALEN MODELLANWENDUNG

Im nordhessisch-südniedersächsischen Bergland entstand zwischen 1980 und 2010 ein wirtschaftlicher Gesamtschaden von 26,6 Mio. EUR. Pro Jahr waren somit Verluste von durchschnittlich 0,9 Mio. EUR zu registrieren. Die Entwicklung der jährlichen Schadenssummen weist eine starke Konzentration auf, wobei die Jahre 1985, 2006 und 2007 als besonders schadensreich gelten (vgl. Fig. 5). Keine Verluste sind unter anderem für die Jahre 1984, 1992 und

1997 festzustellen. Als Rutschungsjahre mit einer erhöhten Anzahl an bewerteten Datenbankeinträgen können vor allem die Jahre 1998 und 1999 hervorgehoben werden. Die jährlichen wirtschaftlichen Schäden korrelieren im Untersuchungsgebiet nicht mit der Rutschungsaktivität. Vielmehr sind die jährlichen Verluste von den Bewegungstypen und Dimensionen der inventarisierten Massenverlagerungen abhängig.

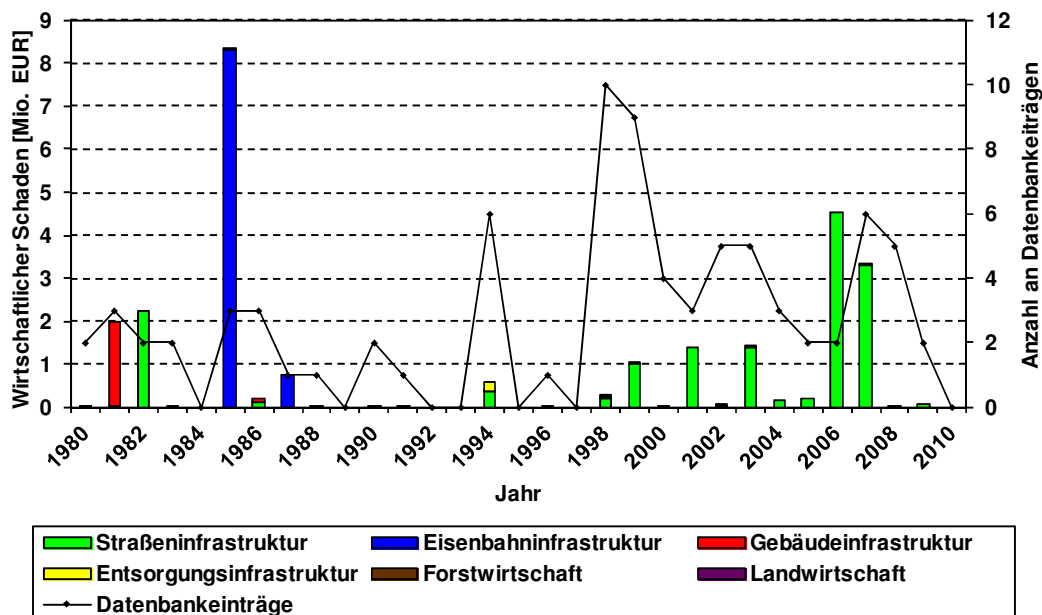


Fig. 5 Schadensentwicklung und Rutschungsaktivität im Untersuchungsgebiet (Klose, 2011)

Fig. 5 Loss trend and landslide activity in the study area (Klose, 2011)

Hangbewegungen betreffen im Untersuchungsgebiet vor allem die Straßeninfrastruktur. Der wirtschaftliche Schaden dieser Objektklasse beträgt 15,1 Mio. EUR (vgl. Fig. 6). Insgesamt beziehen sich 56,8 % des gesamten Verlusts und 62,1 % aller Datenbankeinträge auf Schadensfälle an Anlagen des Straßenverkehrs. Die Eisenbahninfrastruktur verzeichnet eine Schadenssumme von 9,1 Mio. EUR. Trotz einer niedrigen Anzahl an Inventardaten, entfallen 34,2 % der Gesamtkosten auf diese Objektklasse. An Verkehrswegen werden Verluste von 24,2 Mio. EUR registriert. Dies entspricht 91,0 % aller finanziellen Aufwendungen. Gebäudeschäden besitzen eine Häufigkeit von 6,8 % und steuern mit einer Schadenssumme von 2,1 Mio. EUR lediglich 7,9 % zum Gesamtverlust bei. Die Kostenbeträge der Objektklassen Entsorgungsinfrastruktur sowie Forst- und Landwirtschaft sind von nachrangiger Bedeutung. Aufgrund geringer Datenqualität bleiben 20 Schadensfälle und folglich 19,4 % des Inventarbestands unbewertet.

Die Klassenbildung für die Häufigkeitsverteilung der gruppierten wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag erfolgt nach sachlogischen Gesichtspunkten (vgl. Fig. 7). Als Modus weist diese Verteilung die Klasse ≤ 10.000 EUR auf. Exemplarische Reaktionsmaßnahmen der Modalklasse sind einfache Beräumungsleistungen, präventive Verkehrssicherungen sowie Expertenbegehungen. Umfangreiche Verschüttungsfälle an Straßen und Gebäuden, Sanierungen mit Steinkeilen sowie Gleisberäumungen sind in der Klasse > 10.000 bis ≤ 50.000 EUR vorzufinden. Diese besitzt eine Häufigkeit von 24,1 %. Für die Klasse > 50.000 bis ≤ 100.000 EUR, die 8,4 % der bewerteten Datenbankeinträge umfasst, lässt sich keine Typisierung vornehmen. Die Klasse > 100.000 bis ≤ 500.000 EUR hat eine Häufigkeit von 12,1 % und bezieht sich insbesondere auf Dammsanierungen, Steinplomben, Stützmauern und großdimensionierte Fangvorrichtungen. Lediglich 2,4 % der bewerteten Datenbankeinträge sind in der Klasse > 500.000 bis $\leq 1.000.000$ EUR zusammengefasst. Eine Typisierung ist daher nicht möglich. Konstruktive Böschungssicherungen sind charakteristische Präventionsmaßnahmen der Schadensklasse $> 1.000.000$ EUR, der 10,8 % der bewerteten Datenbankeinträge angehören.

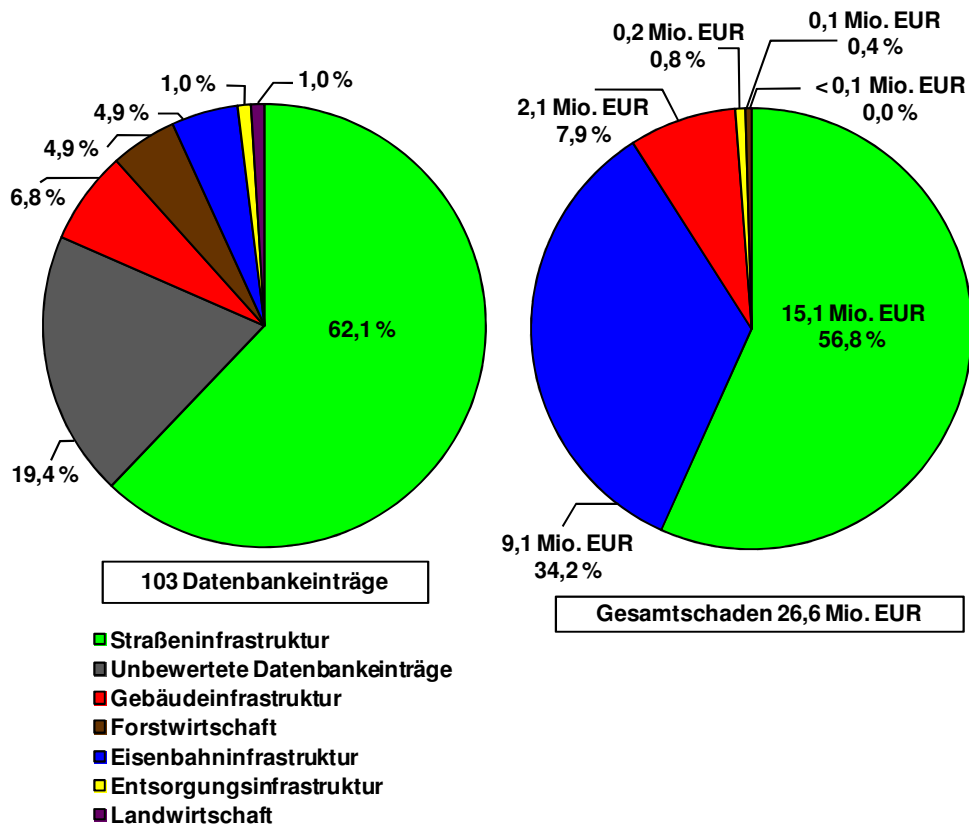


Fig. 6 Häufigkeiten, Schadenssummen und Schadensanteile der betroffenen Objektklassen (Klose, 2011)

Fig. 6 Frequencies as well as total and relative economic losses of affected object classes (Klose, 2011)

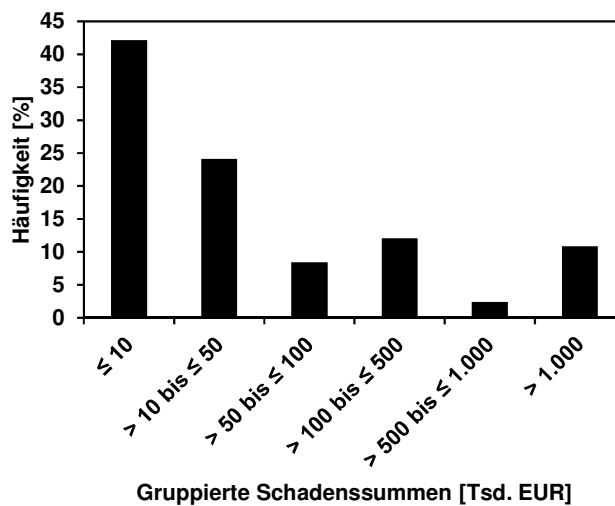


Fig. 7 Prozentuale Häufigkeitsverteilung der gruppierten wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag (Klose, 2011)

Fig. 7 Percentage frequency distribution of the grouped economic losses per evaluated database entry (Klose, 2011)

Die wirtschaftlichen Schäden konzentrieren sich nicht nur auf einzelne Rutschungsjahre, sondern auch auf wenige kostenintensive Großereignisse (vgl. Fig. 8). So verantworten 10 bzw. 20 % der verlustreichsten Ereignisse 80 bzw. 94 % der Gesamtkosten. Die starke Schadenskonzentration verdeutlicht auch der normierte Gini-Koeffizient (G^*). Dieser weist im Wertebereich zwischen 0 und 1 einen Betrag von 0,88 auf.

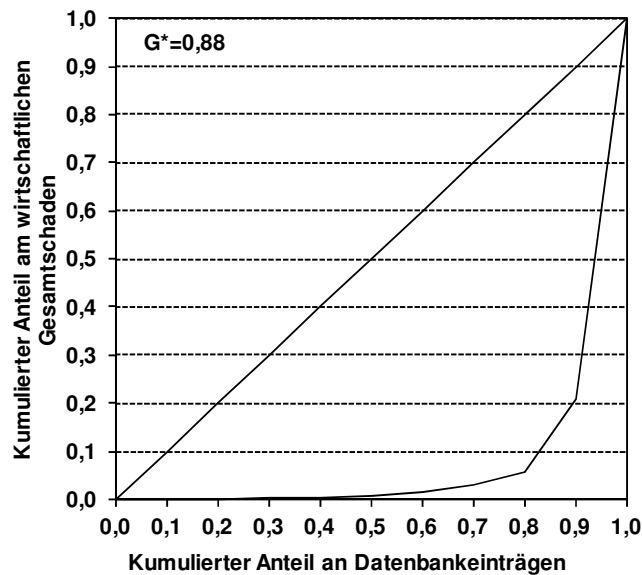


Fig. 8 Lorenzkurve der Verteilung der wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag (Klose, 2011)
Fig. 8 Lorenz curve of the distribution of the economic losses per evaluated database entry (Klose, 2011)

Im Untersuchungsgebiet werden hauptsächlich Reaktionsmaßnahmen vorgenommen. Hierdurch entstehen Verluste von 18,0 Mio. EUR, was 67,7 % des gesamten Finanzbedarfs entspricht. Nur 18,1 % der Datenbankeinträge sind den ausschließlich an Verkehrswegen durchgeführten Präventionsmaßnahmen zuzuordnen. Die getätigten Investitionen belaufen sich auf 8,4 Mio. EUR und tragen 31,6 % zu den Gesamtkosten bei. Maßnahmen zur Vorbeugung von Rutschgefahren werden zwar selten realisiert, erfordern jedoch meist hohe Investitionssummen. Die Aufwendungen für Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen sind zu vernachlässigen.

Statistische Kennzahlen können aufgrund des begrenzten Datenumfangs lediglich für die Objektklasse Straßeninfrastruktur generiert werden (vgl. Tab. 1). Aus statistischer Sicht überwiegen Datenbankeinträge und Jahre mit keinen oder nur geringen Kosten. In der behördlichen Finanzplanung besitzen die anfallenden Schadenssummen jedoch eine hohe Relevanz. So verzeichnen 19,4 % der analysierten Jahre, und damit fast jedes fünfte Jahr, einen Verlust von über 1 Mio. EUR. Demnach sind hohe jährliche Kosten keine einzelnen Ausreißer, sondern charakteristische Merkmalsausprägungen der betrachteten Schadensverteilung. Die Werte der arithmetischen Mittel und Standardabweichungen belegen auch für diese Objektklasse eine starke Streuung und Konzentration der wirtschaftlichen Schäden.

Tab. 1 Statistische Kennzahlen (in EUR) für ausgewählte Schadensverteilungen der Objektklasse Straßeninfrastruktur (Klose, 2011)

Tab. 1 Statistical measures (in EUR) for selected loss distributions of the object class road infrastructure (Klose, 2011)

Betrachtete Schadensverteilung	x_{\min}	$x_{0.25}$	x_{med}	$x_{0.75}$	x_{\max}	\bar{x}	σ_x
Wirtschaftlicher Schaden je bewerteten Datenbankeintrag	311,-	5.290,-	11.296,-	82.412,-	2.812.214,-	236.366,-	612.793,-
Wirtschaftlicher Schaden pro Jahr	0,-	0,-	19.032,-	206.285,-	4.513.235,-	487.982,-	1.047.535,-

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Massenbewegungen verursachen im Untersuchungsgebiet vor allem an Verkehrswegen verhältnismäßig hohe Verluste. Befragungen haben gezeigt, dass Straßenbaubehörden und Eisenbahnunternehmen das Schadensaufkommen bislang weitgehend unbekannt ist. Ein großes Interesse besteht seitens der Verkehrspraxis an zusammenfassenden Schadensanalysen und der Ableitung planungsrelevanter Kennzahlen. Die Bereitstellung von Finanzmitteln für Sanierungs- oder

Sicherungsmaßnahmen erfolgt im Verkehrswegebau meist reaktiv durch Umschichtung in Bauprogrammen unter zum Teil hohen Opportunitätskosten (vgl. Klose, 2011). Anzustreben ist jedoch ein proaktives Schadensmanagement, das den möglichen Finanzbedarf bereits im Vorfeld einplant, um so Kostenrisiken zu verringern und eine effiziente Mittelallokation zu gewährleisten. Eine fundierte Kenntnis der Höhe, Struktur und Einflussgrößen der in Vergangenheit eingetretenen Schäden stellt hierbei eine entscheidende Managementgrundlage dar. Die gewonnenen Erkenntnisse (vgl. Tab. 1) können den zuständigen Behörden als Basis für einen wirtschaftlichen Umgang mit Rutschgefahren dienen.

Indirekte Schäden bleiben im Berechnungsmodell unbeachtet, haben jedoch für Eisenbahnunternehmen eine immense Bedeutung. Hervorzuheben sind vor allem Fahrplanänderungen, Schienenersatzverkehre sowie Anpassungen in der Signal- und Sicherungstechnik. Hohe Folgekosten können sich auch aus dem Verlust des Bestandsschutzes von bislang unbeschädigten Streckenabschnitten ergeben.

Statistische Kennzahlen sind für die Gebäudeinfrastruktur nicht ableitbar. Die Ergebnisse untermauern jedoch den bestehenden Konflikt zwischen hohen, aber seltenen privaten Vermögensschäden, behördlicher Fürsorgepflicht und wirtschaftlichen Raumnutzungsinteressen (vgl. Damm & Pflum 2004). Im Untersuchungsgebiet führten Schadensfälle mehrfach zu existenzbedrohenden Belastungen privater Grundeigentümer. Trotz klarer Haftungsgrundsätze lässt sich die Schuldfrage in der Praxis nur schwer klären, weshalb der wirtschaftliche Schaden nicht selten beim Betroffenen verbleibt. Ziel der Bauleitplanung sollte es daher sein, Rutschgefahren mit Hilfe von Risiko- und Wirtschaftlichkeitsanalysen kritisch zu bewerten, um Vermögensschäden für Immobilienbesitzer und Verluste aus eingeschränkter Baulandentwicklung zu minimieren.

Langsame Kriechbewegungen bedingen an kommunalen Infrastrukturen häufig schleichende Schäden, die in unregelmäßigen Abständen unter hohen Kosten behoben werden. In der Stadt Hann. Münden beträgt der Finanzbedarf für die Sanierung von Straßenabsenkungen, Verkipnungen von Stützmauern sowie defekten Rohrleitungen etwa 14 Mio. EUR. Das jährliche Tiefbaubudget von ca. 2 Mio. EUR verdeutlicht den hohen stadtwirtschaftlichen Stellenwert dieser Aufwendungen.

Die Befunde zeigen, dass selbst großvolumige Massenbewegungen an forstlich genutzten Hängen geringe wirtschaftliche Schäden verursachen. In der Regel werden Rutschflächen nach Aufarbeitung des beschädigten Bestands wieder in Kultur genommen. Der wirtschaftliche Schaden ergibt sich aus den Verlusten durch die vorzeitige Holzernte und den zukünftig erhöhten Durchforstungskosten. Wenn Massenbewegungen großflächige Geländeprofilierungen erfordern, sind dauerhafte Nutzungsverzichte meist die wirtschaftlichste Alternative. Kostenintensive Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen sind aufgrund geltender Verkehrssicherungspflichten lediglich an Waldwegen praxisüblich.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Berechnungsmodell stellt einen neuen Ansatz in der Erfassung der wirtschaftlichen Schäden von Massenbewegungen dar. Standardisierte Prozessmodelle und praxisnahe Kalkulationstechniken ermöglichen erstmals eine systematische Schadensquantifizierung. Die Funktionalität des Berechnungsmodells wird durch die regionale Anwendung nachgewiesen. Die entwickelte Methodik und die neuen Erkenntnisse über das raum-zeitliche Schadensaufkommen besitzen vielfältige Anwendungspotenziale in zukünftigen Studien und einem kostenbewussten Naturgefahrenmanagement.

LITERATUR

- Ackermann E. (1959). Der Abtragungsmechanismus bei Massenverlagerungen an der Wellenkalk-Schichtstufe. Zeitschrift für Geomorphologie 3: 193-226.
- Baum H., Kranz T., Westerkamp U. (2010). Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit M 208. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft. Bremerhaven.

- Damm B. (2005). Gravitative Massenbewegungen in Südniedersachsen. Die Altmündener Wand – Analyse und Bewertung eines Rutschungsstandortes. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd. 138: 189-209.
- Damm B. (2011). Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen. Datenbank deutscher Mittelgebirgsraum von 1137-2011. Stand Oktober 2011. Vechta.
- Damm B., Becht M., Varga K., Heckmann T. (2010). Relevance of tectonic and structural parameters in Triassic bedrock formations to landslide susceptibility in Quaternary hillslope sediments. *Quaternary International* 222: 143-153.
- Damm B., Pflum S. (2004). Geomorphologische Naturgefahren und Raumplanung – Bewertungsprobleme am Beispiel von Rutschgefahren in Südniedersachsen. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd. 135: 127-146.
- DKKV – Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e. V. (2011). ISDR Mission and Objectives. <http://www.dkkv.org/de/about/default.asp?h=9>.
- Erdmann G. (1994). Der Schadensbegriff in der Ökonomik. In: Berg M., Erdmann G., Hofmann M., Jaggy M., Scheringer M., Seiler H. (Hrsg.). Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffs in der Risikowissenschaft. vdf Verlag, Zürich: 95-113.
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. (2001). KLR Bau. Kosten- und Leistungsrechnung der Bauunternehmen. Bauverlag. Wiesbaden. Berlin. Werner-Verlag. Düsseldorf.
- Kjekstad O., Highland L. M. (2009). Economic and Social Impacts of Landslides. In: Sassa K., Canuti P. (Hrsg.). Landslides – Disaster Risk Reduction. Springer. Berlin. Heidelberg: 573-587.
- Klose M. (2011). Wirtschaftliche Schäden durch gravitative Massenbewegungen: Entwicklung eines empirischen Berechnungsmodells mit regionaler Anwendung auf Nordhessen und Südniedersachsen. Diplomarbeit. Institut für Geographie und Geologie. Universität Würzburg.
- Krauter E. (1992). Hangrutschungen – ein Umweltproblem. In: Matthias H. J., Grün A. (Hrsg.). Ingenieurvermessung 92. Beiträge zum XI. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung 2. Ferd. Dümmlers. Bonn: V4/1-V4/12.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011). GEORISK-Datenbank. <http://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/georisk/index.htm>.
- LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011). Felssturzdatenbank. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/9605.htm>.
- Möhring B., Rüping U. (2006). Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen. Schriften zur Forstökonomie 32. Sauerländer's Verlag. Frankfurt a. M..
- Neuhäuser B., Terhorst B. (2006). Landslide susceptibility assessment using „weights-of-evidence“ applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology* 86: 12-24.
- Rogall H. (2002). Neue Umweltökonomie – Ökologische Ökonomie. Ökonomische und ethische Grundlagen der Nachhaltigkeit, Instrumente zu ihrer Durchsetzung. Leske + Budrich. Opladen.
- Schunke E. (1971). Die Massenverlagerungen an den Schichtstufen und Schichtkämmen des Leine-Weser-Berglandes. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen. II. Math.-phys. Kl.* 1971/3: 41-77.
- Schuster R. L. (1996). Socioeconomic significance of landslides. In: Turner A. K., Schuster R. L. (Hrsg.). Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D. C.: 12-35.
- Schuster R. L., Fleming R. W. (1986). Economic Losses and Fatalities Due to Landslides. *Bulletin of Engineering Geologists* 23: 11-28.
- Terhorst B., Kreja R. (2009). Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. *Landslides* 6: 309-319.
- VOB/A – Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen. Fassung 2009. <http://dejure.org/gesetze/VOB-A>.
- Weske M. (2007). Business process management. Concepts, languages, architectures. Springer. Berlin. Heidelberg.

RISIKODIALOG NATURGEFAHREN

AKTIONSPLAN RISIKODIALOG FÖRDERT PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Astrid Leutwiler¹, Marco Baumann², Thomas Egli³, Gaby Wyser⁴ und Dörte Aller⁵

ZUSAMMENFASSUNG

Mithilfe des Aktionsplans Risikodialog, ausgearbeitet durch die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, wird die Risikokommunikation zu Naturgefahrenthemen in der Schweiz systematisch aufgebaut und weiterentwickelt. In acht Projekten wurden Zuständigkeiten und Schnittstellen aufgezeigt und Hilfsmittel für die beteiligten Akteure in den folgenden Bereichen geschaffen:

- (1) Vorhandenes Wissen für alle Akteure zugänglich machen und bündeln
- (2) Praxisunterstützung bieten, insbesondere mit Schulungen und praxisorientierten Hilfsmitteln für die Umsetzung des Risikodialogs
- (3) Zuständigkeiten und Aufgaben für alle relevanten Akteure klären
- (4) Vernetzungs- und Austauschmöglichkeiten zum Thema Risikokommunikation schaffen
- (5) Bevölkerung zu Naturgefahrenthemen sensibilisieren

Bei der Erarbeitung wurde konsequent auf den engen Einbezug der künftigen Nutzerinnen und Nutzer gesetzt. Der partizipative Ansatz trägt dazu bei, den Bewusstseinswandel bereits im Entwicklungsprozess in Gang zu setzen und die neuen Instrumente zu verankern. Der Fokus liegt auf der Gemeinde-Ebene, wo der Dialog mit der Bevölkerung effektiv zu führen ist.

Keywords: Risikokommunikation, Dialog, Bewusstseinsbildung, Integrales Risikomanagement, Strategie, Prävention, Social Marketing

ABSTRACT

With the support of the Action Plan on Risk Dialogue, elaborated by the National Platform for Natural Hazards PLANAT, communication concerning natural hazards is being systematically developed. The responsibilities and interfaces, as well as instruments for the involved players, are being defined on the basis of eight different projects in the following fields of action:

- (1) Existing know-how is bundled and accessible
- (2) Practical support is provided, especially with trainings and auxiliary devices for best Risk Dialogue practice.
- (3) Tasks and responsibilities are clarified for all relevant players
- (4) Opportunities for exchanges on the topic of risk communication are created
- (5) The population is sensitised to natural hazards

With respect to methodology, attention is to be consistently paid to the direct integration of future users. The focus is on the municipal level, where the dialogue with the population is to be actually carried out.

Keywords: risk communication, dialogue, awareness building, integrated risk management, strategic work, prevention, social marketing

¹ Astrid Leutwiler. National Platform for Natural Hazards (PLANAT), c/o Federal Office for the Environment (FOEN), CH-3003 Bern, Switzerland (e-mail: astrid.leutwiler@bafu.admin.ch)

² Marco Baumann. National Platform for Natural Hazards (PLANAT), Flood Control, Canton of Thurgau, Switzerland

³ Thomas Egli. Egli Engineering AG, Switzerland

⁴ Gaby Wyser. Weissgrund Kommunikation AG, Switzerland

⁵ Dörte Aller. Aller Risk Management, Switzerland

EINLEITUNG

Die Schweizerische Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) ist eine ausserparlamentarische Kommission, die sich auf strategischer Ebene für einen verbesserten Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz einsetzt.

Die von der PLANAT ausgearbeitete „Strategie Naturgefahren Schweiz“ (PLANAT, 2002) sieht vor, dass im Umgang mit Naturgefahren ein Paradigmenwechsel stattfinden soll. Von der reinen Gefahrenabwehr früherer Jahre soll schrittweise zu einer gelebten Risikokultur übergegangen werden. So soll nicht mehr die Einstellung vorherrschen, dass drohende Gefahren mit allen Mitteln aus der Welt geschafft werden können. Vielmehr muss sich neu die Erkenntnis durchsetzen, dass es keinen hundertprozentigen Schutz vor Naturgefahren geben kann und darum vielmehr die Frage im Zentrum steht, welcher Schutz zu welchem Preis erreicht werden soll.

Diese Risikokultur kann aber nur durch den Einbezug sämtlicher involvierter Akteure gelebt werden, insbesondere auch der betroffenen Bevölkerung (Abb. 1). Denn um bestehende Risiken bestmöglich minimieren zu können, ist es unablässig, dass Betroffene in Eigenverantwortung gewisse Massnahmen ergreifen. Dies kann aber nur tun, wer sich der Risiken und deren Konsequenzen bewusst ist und wer auch weiss, wie er/sie sich dagegen schützen kann (vgl. Grothmann et al., 2002).

Aus diesem Grund setzt die PLANAT seit mehreren Jahren einen Schwerpunkt ihrer Aktivitäten auf den Risikodialog. Untersuchungen früherer Jahre haben aufgezeigt, dass in der Schweiz zwar vielerlei Bemühungen zum Risikodialog laufen. Es musste aber festgestellt werden, dass die Aktivitäten nicht koordiniert sind, bestehende Instrumente für den Nutzer in vielen Fällen schwer zugänglich sind und das Angebot an praxistauglichen Instrumenten erhebliche Lücken aufweist (PLANAT, 2009). Durch den PLANAT Aktionsplan Risikodialog werden wichtige Lücken geschlossen und der Risikodialog institutionalisiert und koordiniert.

AKTIONSPLAN RISIKODIALOG IM ÜBERBLICK

Die PLANAT hat in den Jahren 2009 und 2010 ein Gesamtkonzept für einen Aktionsplan erstellt, um die erhobenen Lücken in den Koordinationsgrundlagen und Instrumentarien zu schliessen. Dieser umfasst acht Einzelprojekte, welche zwischen Mitte 2010 und Ende 2011 umgesetzt wurden. Bei den Arbeiten sind Akteure der PLANAT, der Behördenstufen Bund, Kantone und Gemeinden sowie Versicherungen, Forschung und Private involviert.

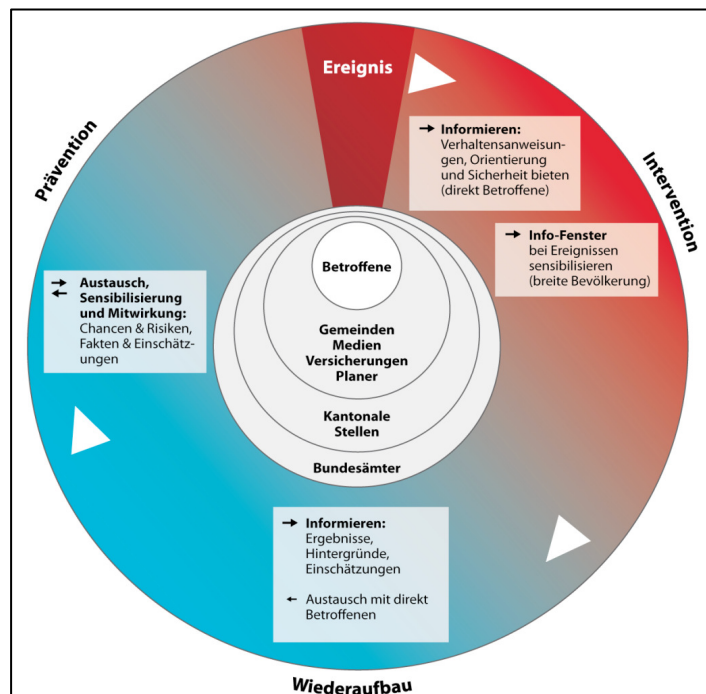


Abb. 1 Risikodialog Naturgefahren in der Gesamtsicht
Fig. 1 Overview of risk dialogue on natural hazards

Innerhalb des Integralen Risikomanagements soll der Schwerpunkt beim Aufbau des Risikodialogs auf den Teilbereich Prävention gelegt werden. Dies deshalb, weil im Bereich Intervention die wesentlichen Instrumente vorhanden sind und die Zusammenarbeit bereits relativ gut koordiniert ist (Abb. 1).

Der Aktionsplan Risikodialog Naturgefahren hat zum Ziel, den Risikodialog Naturgefahren mit den Hauptbeteiligten bei Bund, Kantonen, Gemeinden und Privaten in der ganzen Schweiz koordiniert einzuleiten. Ziele wurden für die folgenden 3 Bereiche formuliert:

- (1) **Institutionalisierung:** Aufgaben, Schnittstellen und Zuständigkeiten der Hauptakteure im Risikodialog Naturgefahren sind geklärt, die Vernetzung in der Schweiz läuft an.
- (2) **Basismittel:** Die wesentlichen Grundlagen und praktischen Hilfsmittel für die Umsetzung des Risikodialogs Naturgefahren stehen bereit.
- (3) **Bewusstseinsbildung:** Massnahmen für die Wissensvermittlung und die Bewusstseinsbildung im Umgang mit Naturgefahren sind festgelegt – und laufen zum Teil an.

ERARBEITUNG DES AKTIONSPLANS

Aus methodischer Sicht wird konsequent auf den engen Einbezug der künftigen Nutzerinnen und Nutzer gesetzt. Der Fokus liegt auf der Gemeinde-Ebene, wo der Dialog mit der Bevölkerung effektiv zu führen ist (Abb. 2). Der partizipative Ansatz trägt dazu bei, die Bewusstseinswandel bereits im Entwicklungsprozess in Gang zu setzen und die neuen Instrumente zu verankern. Diese Strategie erlaubt, die Wirkung der Instrumente bei der Einführung und der späteren Nutzung zu überprüfen (Monitoring). Die Erkenntnisse daraus können für weitere Aspekte im Naturgefahrenbereich – und andere gesellschaftsrelevante Themen – genutzt werden.

Bei der Ausarbeitung des Aktionsplans orientierte sich die PLANAT anhand folgender Handlungsfelder:

- (1) Vorhandenes Wissen für alle Akteure zugänglich machen und bündeln
- (2) Praxisunterstützung bieten, insbesondere mit Schulung zu kommunikativen Themen und praxisorientierten Hilfsmitteln für die Umsetzung des Risikodialogs
- (3) Zuständigkeiten und Aufgaben klären und bekannt machen – für alle Behördenstufen sowie für die weiteren relevanten Akteure
- (4) Vernetzungsmöglichkeiten und Austauschmöglichkeiten zum Thema Risikokommunikation schaffen
- (5) Bevölkerung zu Naturgefahrenthemen sensibilisieren

Es wurde besonders darauf geachtet, dass die Resultate möglichst benutzerfreundlich aufbereitet wurden. So wird Wert gelegt auf eine Reduktion auf das Wesentliche, eine einfache präzise Sprache, Übersichtlichkeit sowie eine attraktive grafische Umsetzung der wichtigsten Dokumente. Dabei wird nicht unbedingt auf eine möglichst vollständige und korrekte Erklärung von Themen und Begriffen geachtet, sondern in erster Linie auf die Verständlichkeit für den Laien.

Die Projekte des Aktionsplans Risikodialog entstanden auf Initiative und in enger Zusammenarbeit mit den Naturgefahrenexperten der PLANAT. Zur Ausführung wurden die Teilprojekte an Kommunikationsfachleute, Didaktiker und Medienverantwortliche gegeben.



Abb. 2 Akteure involviert in Risikodialog auf Gemeindeebene (aus: Checkliste Ansprechpartner)

Fig. 2 Actors involved in risk dialogue on communal level (source: "Checkliste Ansprechpartner")

GRUNDLAGEN ZUM RISIKODIALOG

Der Umgang mit Naturgefahren beschäftigt die Öffentlichkeit zunehmend. Für die Verantwortlichen bei den Behörden kann darum der Eindruck entstehen, dass der „Risikodialog Naturgefahren“ eine uferlose Aufgabe ist. Um die Kommunikation zu vereinfachen, wurden deshalb Grundlagen erarbeitet, die aufzeigen, in welchen Situationen mit welchen Akteuren der Risikodialog geführt werden sollte.

Die Praxis hat dabei gezeigt, dass es sich lohnt, die wichtigen Momente für den Dialog zu nutzen. Diese umfassen im Wesentlichen die folgenden Situationen (Abb. 3):

- (1) Gefahrenkarten (Erarbeitung bzw. Überarbeitung, Einführung, Nutzung)
- (2) Risikostrategie (Erarbeitung, Einführung, Umsetzung)
- (3) Raumplanerische Instrumente (Erarbeitung bzw. Überarbeitung, Einführung, Umsetzung)
- (4) Schutzbauten (Realisierung bzw. Anpassung, Einführung, Nutzung)
- (5) Bauprojekte (Kauf, Planung, Bewilligung, Umsetzung)
- (6) Bestehende Liegenschaften (Planung, Umsetzung)
- (7) Ereignisbewältigung (im Falle eines Naturgefahren-Ereignisses)



Abb. 3 Wichtigste Momente für den Risikodialog
Fig. 3 Most important opportunities for communication measures

Für jeden einzelnen dieser 7 Brennpunkte des Risikodialogs Naturgefahren wurden Aufgaben und Verantwortlichkeiten definiert. Eine Übersicht zeigt auf, welche Hilfsmittel für den Dialog zur Verfügung stehen und für welche Aufgaben der Einbezug von Kommunikations- Fachpersonen empfohlen wird. Die Unterlagen wurden in Form von übersichtlichen Checklisten erstellt, welche kurz und präzise die wichtigsten Hinweise zu den einzelnen Aufgaben aufzeigen.

Als Grundlage für sämtliche Hilfsmittel, welche im Rahmen des Aktionsplans Risikodialog erarbeitet wurden, gilt die Website der PLANAT. Diese wurde visuell attraktiv gestaltet und benutzerfreundlich strukturiert. Sie dient als Einstiegsplattform für interessierte Privatpersonen, aber auch für Behörden sämtlicher Stufen sowie Kommunikations- und Naturgefahrenfachleute.

Die Website ist das Basisinstrument für sämtliche Hilfsmittel, welche im Rahmen des Aktionsplans Risikodialog erarbeitet wurden. In einem separaten Bereich der Website sind alle verfügbaren Instrumente zu finden. Der so genannte „Marktplatz“ erlaubt zudem einen Austausch unter den Besuchern der Website. Dabei soll insbesondere auch ein Austausch zwischen Experten und Laien gefördert werden.

HILFSMITTEL FÜR PLANUNG UND VORBEREITUNG

Beteiligte und Betroffene müssen frühzeitig über Naturgefahrensituationen aufgeklärt werden, damit gemeinsam tragfähige Lösungen entwickelt werden können. Aus diesem Grund sind ein frühzeitiger Einbezug der Kommunikation sowie eine klare, lösungsorientierte Kommunikationsstrategie unerlässlich. Eine sorgfältige und vorausschauende Planung hilft, die richtigen Akteure zur richtigen Zeit einzubeziehen und mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen.

Für die Planung und Vorbereitung von Dialogmassnahmen stehen darum Hilfsmittel zur Verfügung, welche den dialogführenden Personen wertvolle Informationen und Hinweise liefern. So bestehen mehrere Checklisten, welche Anregungen für die Kommunikationsarbeit geben und dazu beitragen, dass wichtige Aspekte nicht vergessen werden:

- (1) Checkliste Ansprechpartner: Dieses Dokument befasst sich mit dem Umgang mit den verschiedenen Ansprechpartnern, die am Naturgefahrenmanagement beteiligt oder davon betroffen sind. Das Dokument besteht aus einer „Übersichtsliste möglicher Ansprechpartner“ sowie einer Reihe

von Hinweisen und Empfehlungen, welche den Austausch mit und unter den Ansprechpartnern verbessern und erleichtern sollen. Die Liste gibt praktische Hinweise zum Einbezug der Ansprechpartner in den einzelnen Phasen des Risikomanagements sowie dazu, wie den Interessen und unterschiedlichen Wissensständen der Akteure Rechnung getragen werden kann.

(2) Checkliste Projektinformation: Die Erfahrung zeigt, dass Projekte ideale Gelegenheiten bieten, um ein Anliegen ins Gespräch zu bringen. Aus diesem Grund sollte die Kommunikation bei der Projekterarbeitung von Anfang an miteinbezogen werden. Die Checkliste liefert Hinweise über den Zeitpunkt, die Ansprechpersonen und den Umfang der Projektkommunikation.

(3) Informations- und Dialogmassnahmen: Eine Zusammenstellung der wichtigsten schriftlichen und mündlichen Massnahmen gibt Anregungen für die Kommunikationsarbeit. Es werden Massnahmen aufgezeigt, wie Grundlagen im Umgang mit Naturgefahren kommuniziert werden können (z.B. Website, periodische Newsletter, FAQ bereithalten etc.), aber auch mögliche Massnahmen zu bestimmten Anlässen und Themen (z.B. Informationsveranstaltungen, Kurzfilme, Artikel in Gemeindeblättern u.a.).

Zudem steht den Dialogführenden eine Zusammenstellung von Tipps zur Kommunikation im Umgang mit Naturgefahren zur Verfügung. Eine Reihe von Empfehlungen soll die Vorbereitung der Kommunikation vereinfachen und dafür sorgen, dass Schwierigkeiten frühzeitig erkannt werden können. Dabei handelt es sich um allgemeine kommunikative Ratschläge (wie beispielsweise, sich in das Gegenüber hinein zu versetzen), aber auch um Ratschläge spezifisch in der Kommunikation von Naturgefahrensthemen (zum Beispiel: Gefahren sichtbar machen, Erinnerungen an vergangene Ereignisse wecken u.a.; Abb. 4).



Abb. 4 Positive Würdigung von vorbeugenden Massnahmen

Fig. 4 Positive appraisal of preventive measures

Im Umgang mit Medienschaaffenden kann ebenfalls auf vorbereitete Hilfsmittel zurückgegriffen werden, da die Berichterstattung in den Medien wesentlich zur Bildung einer neuen Risikokultur im Sinn des Social Marketing beitragen kann (vgl. Fischer 2000). Die „Windows of Opportunity“ der Medienberichterstattung, beispielsweise nach einem Ereignis, müssen dazu genutzt werden auch vorbeugende Massnahmen zu kommunizieren. Deshalb sollen die Anliegen der Prävention und der Vorsorge gemeinsam in die Medienarbeit der behördlichen Kommunikationsdienste integriert werden. Im Rahmen des Aktionsplans Risikodialog Naturgefahren wurden deshalb Hilfsmittel erarbeitet, welche für eine gemeinsame Sprache bei den betroffenen Amtsstellen sorgen sollen. Zudem liegen Grundlagen zu präventiven Themen vor, die im Fall eines Ereignisses in die Berichterstattung integriert werden können. Eine Sammlung von „Good Practice“ Beispielen zu erfolgreichen Schutzmassnahmen und Wiederaufbauprojekten komplettiert die Instrumente für die Medienarbeit.

HILFSMITTEL FÜR DEN DIREKTEN DIALOG

Um den Risikodialog mit unterschiedlichen Akteuren zu führen, ist es wichtig, dass die Situation von allen Beteiligten richtig verstanden wird (Renn et al. 2007:197). Um dieses gemeinsame Verständnis zu erleichtern, stehen Hilfsmittel zur Verfügung, welche den Sprung von den technischen Konzepten zum alltäglichen Verständnis von Naturgefahren erleichtern. Diese können von dialogführenden Personen in der Praxis direkt angewandt und nach Bedarf auf die unterschiedlichen Situationen angepasst werden.

Ein wichtiges Hilfsmittel für das gemeinsame Verständnis ist eine Begriffsliste zum Thema Naturgefahrenmanagement. Diese wurde ausgearbeitet mit dem Ziel, dass schwer verständliche Fachbegriffe auf möglichst einfache Weise erklärt werden können. So erläutert die Liste wichtige Fachbegriffe und führt Laien in die Begriffskonzepte des Naturgefahrenmanagements ein. Dies hilft aber nicht nur Laien, sondern auch den dialogführenden Personen selber, da es sich bei diesen nicht

immer um geschulte Naturgefahrenfachleute handelt. Begriffe werden erklärt zu den Themenaspekten Naturgefahren, Risiko und Schaden sowie Schutz und Schutzmassnahmen.

Oft helfen auch visuelle Darstellungen, das Verständnis von komplexen Situationen zu fördern. Aus diesem Grund wurden Illustrationen angefertigt, welche die Naturgefahrensituationen im Gelände aufzeigen sowie mögliche Schutzmassnahmen darstellen (Abb. 5). Die Übersichtsdarstellungen zeigen zwei verschiedene Geländesituationen auf, eine im Gebirge und eine in der Ebene, wobei verschiedene Gefahrenprozesse behandelt werden.

Mögliche Schutzmassnahmen werden mit detaillierten Zeichnungen zusätzlich bildlich dargestellt. Die Bilder sollen aufzeigen, welche Massnahmen für welche Situationen möglich sind, wobei sowohl bauliche Massnahmen als auch planerische und temporäre Massnahmen sowie Massnahmen an der Quelle dargestellt werden.

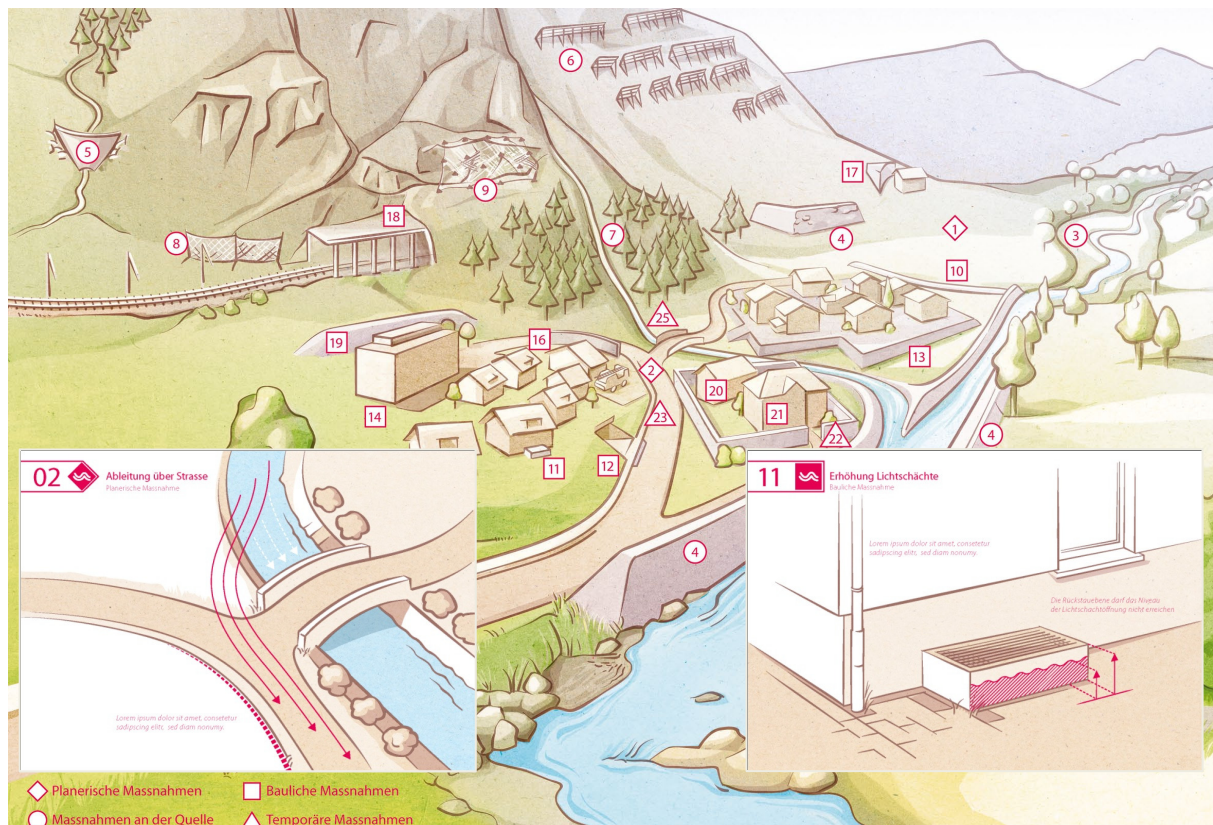


Abb. 5 Übersichtsdarstellung mit Risiko- und Massnahmenpotential

Fig. 5 Illustration showing risk potential and possible measures

Als weiteres Hilfsmittel für die Kommunikation mit anderen Beteiligten dient eine Präsentation zu Naturgefahren und den wichtigsten Aspekten des integralen Risikomanagements. Ziel ist, dass die Präsentation dazu genutzt wird, die Ansprechpartner über Grundlagen im Umgang mit Naturgefahren zu informieren. Sie kann von Akteuren der Gemeindeebene, aber auch von Fachpersonen genutzt werden, beispielsweise im Rahmen einer Gemeindeversammlung oder eines Informationsanlasses. Es handelt sich um eine Grundlagenpräsentation, welche den unterschiedlichen Regionen der Schweiz Rechnung trägt. Sie kann beliebig angepasst und auf die Gegebenheiten einer einzelnen Gemeinde oder Region abgestimmt werden. Anschauliche visuelle Beispiele sind genauso vorhanden wie Sprechtexte und Hintergrundinformationen für die Referierenden.

Die tägliche Arbeit von vielen Naturgefahren-Fachleuten in der Schweiz hat gezeigt, dass das Thema „Gefahrenkarte“ für die Kommunikation eine besondere Herausforderung darstellt. Dies deshalb, weil die Resultate und deren Bedeutung zu vielen Widerständen führen können, die Karte an sich und deren Entstehung aber für viele Laien schwierig zu verstehen ist. Aus diesem Grund wurde hier ein besonderer Fokus gelegt und eine „Lesehilfe Gefahrenkarten“ ausgearbeitet. Diese fasst in allgemein verständlicher Art die Funktion und den Inhalt von Gefahrenkarten für gravitative Naturgefahren

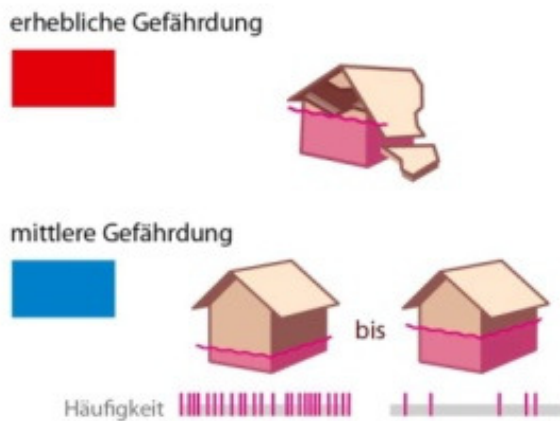


Abb. 6 Illustration aus der „Lesehilfe Gefahrenkarten“

Fig. 6 Illustration in “Lesehilfe Gefahrenkarten”

zusammen und erläutert, welche Aussagen aufgrund der Karte möglich bzw. nicht möglich sind (Abb. 6). Die Gefahrenkarte wird zudem in den Gesamtzusammenhang verschiedener Kartenwerke wie Risiko- und Intensitätskarten gestellt.

WEITERBILDUNG

Das Bedürfnis nach Trainings und Tipps für die Umsetzung des Risikodialogs Naturgefahren ist bei den beteiligten Akteuren gross (Aller & Wyser, 2009). Besonders für das Vermitteln komplexer Sachverhalte oder für Konfliktsituationen besteht bei vielen Behördenvertretern und Fachleuten Interesse für eine vertiefte Auseinandersetzung und entsprechende Schulung. Treten nämlich Behördenvertreter oder Naturgefahrenspezialisten gegenüber Betroffenen, der Öffentlichkeit und

Entscheidungsträgern sicher und verständlich auf, gelingt es ihnen besser, Verständnis für notwendige Massnahmen zu schaffen.

Aus diesem Grund wurden Konzepte und Inhalte erstellt für Schulungs-Workshops zum Thema Risikodialog Naturgefahren. Die Workshops sollen Behördenvertretern und Naturgefahrenspezialisten aufzeigen, wie man im Risikodialog optimal kommuniziert und mit welchen Hilfsmitteln und Strategien man das Verständnis beim Gegenüber erreichen kann. Dies ist ein wichtiger Schritt im Risikodialog Naturgefahren. Verstehen die Menschen über was gesprochen wird, werden sie sich eher mit dem Thema befassen. Bleibt das Thema hingegen ein Brief mit sieben Siegeln so steigt die Abwehrhaltung, und die Beteiligten können oft nicht vom Sinn der zu treffenden Massnahmen überzeugt werden.



Abb. 7 Risikodialogsituationen

Fig. 7 Situations for risk dialogue

Entstanden sind 2 Workshops mit 4 bzw. 8 Lektionen. Diese umfassen jeweils einen Theorieteil (Wahrnehmungs- und Aktionsebenen, Kommunikationstechnik, Möglichkeiten der Gesprächssteuerung) sowie einen Praxisteil (Bearbeitung von 6 Szenarien in Gruppen, inkl. Rollenspielen). In letzterem wird anhand von Beispielen aus dem Alltag eines Behördenvertreters oder einer Fachperson eine möglichst reale Situation nachgespielt und die bestmöglichen Kommunikationstechniken geübt (Abb. 7).

BEST PRACTICE BEISPIELE

Untersuchungen der PLANAT (2009) haben aufgezeigt, dass in der Schweiz bereits in den letzten Jahren und Jahrzehnten vielerlei Bemühungen zum Risikodialog angestellt wurden. Es musste aber festgestellt werden, dass die Aktivitäten oft nicht koordiniert waren und bestehende Instrumente für den Nutzer in vielen Fällen schwer zugänglich sind.

Dieses Potenzial hat die PLANAT nun genutzt und sorgt dafür, dass die Hilfsmittel besser zugänglich sind. So soll vermieden werden, dass einzelne Akteure Kommunikationsmassnahmen erarbeiten, die andernorts bereits in gleicher oder ähnlicher Weise ausgeführt wurden. Dadurch kann die Effizienz in der Kommunikationsarbeit rund um das Naturgefahrenmanagement weiter gesteigert werden.

Auf der Website der PLANAT besteht nun ein Katalog von guten Beispielen von bereits realisierten Kommunikationsmassnahmen. Dazu wurden bestehende Materialien und durchgeführte Massnahmen zur Information der Bevölkerung gesammelt und nach deren Wirkung ausgewählt. Der Zugriff auf bereits realisierte Informationsmassnahmen erleichtert den Akteuren die eigene Informationsarbeit, liefert Ideen für Nachahmungen und Weiterentwicklungen und trägt so zum aktiveren Risikodialog bei.

Bei der Zusammenstellung der Hilfsmittel wurde ein besonderes Augenmerk auf eine klare Strukturierung gelegt, die dem Interessierten dabei helfen kann, in übersichtlicher und effizienter Weise die gewünschten Informationen aufzufinden. Zu jeder Kommunikationsmassnahme wurden Informationen erfasst zu Art der Kommunikationsmassnahme, der kommunizierten Naturgefahrenart, den Kommunikationszielen, Absender und Empfänger, Sprache und weiteren Aspekten. Auf der Website dienen entsprechende Kategorien zur Sortierung der Massnahmen, sodass der Interessierte gezielt nach Themen suchen kann.

Die aufgeführten Massnahmen werden zudem mit Kurztextrn beschrieben. Direktlinks führen zu den externen Webseiten oder in die Download-Bereiche diverser Flyer und Broschüren. Die Übersicht wird mit Hinweisen auf Lehrpfade, Ausstellungen, Filme, SMS-Service-Tools und interaktive Lernmodule vervollständigt.

Eine weitere Sammlung von guten Beispielen wurde erstellt, um Behörden die Kommunikation rund um das Thema „Gefahrenkarten“ zu vereinfachen. Denn die Praxis hat bisher in den meisten Fällen gezeigt, dass die Informationen zu Gefahrenkarten für die Bevölkerung nur dann zu finden sind, wenn man gezielt danach sucht – und dann meistens nur für fachlich Versierte verständlich. Gefahreninformationen sollen deshalb für Eigentümer, Käufer, Mieter und Planer einfach zugänglich und verständlich sein (Bezzola et al. 2008). Denn wenn Eigentümer, Käufer, Mieter und Planer Gefahreninformationen finden und verstehen – auch ohne dass sie gezielt danach suchen – so werden sie eher zum Handeln motiviert und Gespräche und Abläufe, z.B. im Baubewilligungsverfahren, werden einfacher.

In einzelnen Kantonen sind bereits gute Ansätze vorhanden, um diese Informationen einfacher zugänglich zu machen. Aus diesem Grund wurde ein praktisches Faktenblatt zusammengestellt, welches kantonalen und Gemeindebehörden zielführende Möglichkeiten für den Web-basierten Zugang zu Gefahreninformationen aufzeigt. Es liefert zudem Tipps, bereits realisierte Beispiele und Hilfsmittel für die Umsetzung.

AUSBLICK

Der Aktionsplan Risikodialog Naturgefahren wurde Anfang 2012 fertig gestellt und die Resultate auf der Website der PLANAT publiziert. Die Erarbeitung der Instrumente ist somit abgeschlossen sowie der Betrieb der Einzelprojekte sichergestellt.

Im Sinne des Social Marketing (Fischer 2000) sollen die Projekte des Aktionsplans einerseits Fachstellen der Gemeinden und Kantone, sowie die nationalen Stakeholder zu intensiver und professioneller Naturgefahrenkommunikation anregen. Andererseits erhofft sich die PLANAT die vollständige Umsetzung des „integralen Risikomanagements“ (PLANAT 2002) bis zur betroffenen

Bevölkerung. Ziel der Angebote ist es Anstoss für Neues und Beispiel für Aufgabentrennung und Zuständigkeitsklärung gleichzeitig zu sein.

Die praktischen Hilfsmittel erleichtern die Kommunikationsarbeit erheblich und sorgen für eine höhere Effizienz bei der Erarbeitung von Massnahmen sowie für eine erhöhte Motivation bei beteiligten Akteuren auf kommunaler und kantonaler Ebene. Die Resultate der Arbeiten tragen dazu bei, dass viel eher kommunikative Massnahmen getroffen werden und der Risikodialog insgesamt erheblich erleichtert wird.

In der ersten Jahreshälfte 2012 werden die Resultate bei den kantonalen Behörden sowie via Veröffentlichungen in Fach- und Gemeindepublikationen bekannt gemacht. Die PLANAT ist zudem damit befasst, die praktische Umsetzung der Instrumente anzuregen und zu fördern.

Eine besondere Herausforderung stellt die Umsetzung für die Kantone dar. Denn diesen wurde die Aufgabe übertragen, als „Mittler“ die entstandenen Hilfsmittel bei den zuständigen Akteuren bekanntzumachen und den Einsatz der Instrumente anzuregen und zu erleichtern. Für die Anwendung der Instrumente besteht keine Verpflichtung. Das Bedürfnis nach Hilfsmitteln ist aber bei allen Beteiligten gross, und aus diesem Grund kann mit einer vielfältigen Anwendung der Instrumente gerechnet werden.

Die PLANAT hat für die kommende Phase die Funktion der Koordinationsstelle für die Umsetzung und Institutionalisierung der Aktivitäten inne. In den nächsten Schritten wird die PLANAT das Angebot weiter bekannt machen, Unterstützung bei der Umsetzung anzubieten und zur Qualitätswahrung periodisch Aktualisierungen und Überarbeitungen zu veranlassen.

LITERATUR

- Aller D., Wyser G. (2009). Die Kommunikation über das Risiko von Naturgefahren in der Schweiz. Stand von Information und Kommunikation in den zuständigen Bundesämtern. Bern: Interner PLANAT Bericht.
- Bezzola G.R., Hegg C. (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bern: Bundesamt für Umwelt, Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Fischer W. (2000). Sozialmarketing für Non-Profit-Organisationen. Ein Handbuch. Zürich: Orell Füssli.
- Grothmann T., Reusswig F. & Linneweber V. (2003). Lernen aus Erfahrung? Ursachen der Eigen- und Bauvorsorge hochwasserbetreffener Haushalte und Unternehmen. In: DKKV (Hrsg.), Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet (Schriftenreihe des DKKV 29). Bonn: DKKV.
- PLANAT (2002). Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie. Bern: Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT.
- Renn O., Schweizer P-J., Dreyer M. & Klinke A. (2007). Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit. München.
- Wyser G., Aller D. (2009). PLANAT Synthesebericht zum Risikodialog Naturgefahren. PLANAT, Ittigen.
- WEB: <http://www.planat.ch> >Risikodialog

QUANTIFIZIERUNG DER NATURGEFAHRENBASIERTEN RISIKEN AUF DEM NETZWERK DER SCHWEIZERISCHEN BUNDESBAHNEN

Serena Liener¹, Peter Gsteiger², Esther Schönthal³ and Marc Hauser⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Für das gesamte Streckennetz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) soll eine Übersicht über die durch Naturgefahren verursachten Risiken erstellt werden. Als Grundlage für die Risikoübersicht werden schweizweit verfügbare Geodaten verwendet. Das **Gefahrenpotenzial** wurde mit verschiedenen Prozessmodellen nach einheitlichen Kriterien modelliert. Dabei wurden ausser den Tunnelstrecken keine Schutzbauten berücksichtigt. Die Schutzwirkung des Waldes ist lediglich in den potenziellen Lawinenanrissgebieten berücksichtigt, indem die potenziellen Gefahrenggebiete nur für Fliesslawinen aus Anrissgebieten ausserhalb des Waldes berechnet werden.

Als **Schadenpotenzial** werden das Streckennetz der SBB sowie die massgebenden Angaben zur Streckennutzung (Durchfahrten pro Tag, mittlere Belegung, Geschwindigkeit) verwendet. Das Gefahrenpotenzial wird mit dem Schadenpotenzial überlagert. Dabei werden die potenziell gefährdeten Streckenabschnitte ausgeschieden und die naturgefahrenbedingten Risiken bestimmt.

Keywords: Risikoanalyse, Simulationsmodell, Gefahrenhinweiskarte, Risiko auf Verkehrswegen

ABSTRACT

In Switzerland different natural hazards such as snow avalanches, rockfall, shallow landslides, debris flow and flooding were modelled nationwide by means of different simulation approaches (Liener et al. 2008). The hazard potential affecting the SBB network is determined based upon this set of spatial data. Thereby, protective structures (such as rock fall catch fences) are not considered unless they are clearly visible in the elevation model. Protective effects of forests are only considered in avalanche starting zones, whereas tunnels are assumed to offer a complete protection against all types of hazards.

The damage potential comprises the value of the SBB line. In order to quantify a realistic damage potential, the number of passenger trains per section and day, the respective occupancy rate as well as the speed of the composition has to be considered.

The hazard potential is connected to the damage potential by overlaying both data layers. Thereby, the potentially vulnerable parts of the network are determined and the natural hazards-related risks are quantified.

Keywords: risk analysis, simulation model, hazard index map

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Naturgefahren wie Steinschlag, Hangmuren, Wassergefahren oder Lawinen können einzelne Abschnitte des Streckennetzes der schweizerischen Bundesbahnen (SBB) tangieren. Im Projekt “Übersicht Risiken Naturgefahren SBB” wird basierend auf schweizweit verfügbaren Daten eine Übersicht über die durch Naturgefahren verursachten Risiken erarbeitet.

¹ Serena Liener. geo7 AG, Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern, Switzerland (e-mail: serena.liener@geo7.ch)

² Peter Gsteiger. geo7 AG, Switzerland (e-mail: peter.gsteiger@geo7.ch)

³ Esther Schönthal. geo7 AG, Switzerland (e-mail: esther.schoenthal@geo7.ch)

⁴ Marc Hauser. SBB, Infrastructure, Natural Hazard, Mittelstr. 43, 3000 Bern 65, Switzerland (e-mail: marc.hauser@sbb.ch)

Das Projekt soll folgende Ergebnisse liefern:

- Gefahrenhinweiskarte: Lokalisierung potenziell gefährdeter Streckenteile zu definierten Gefahrenarten auf der Basis landesweit verfügbarer Geodaten auf Gefahrenhinweisstufe.
- Risikoanalyse und Risikokarte: Analyse, Lokalisierung und Quantifizierung der naturgefahrenbedingten Risiken auf dem Streckennetz der SBB auf der Grundlage der Gefahrenhinweiskarte und unter Einbezug streckenbezogener Informationen (beispielsweise Anzahl Züge pro Tag) der SBB zum Schadenpotenzial.

VORGEHEN

Das Projekt umfasst folgende Schritte:

1. Identifikation der Gefahren- und Schadenpotenziale
2. GIS-Analyse Schadenpotenzialrelevanz
3. Validierung der Gefahrenpotenziale durch Streckenkenner
4. Berechnung des kollektiven und individuellen Todesfallrisikos

IDENTIFIKATION DER GEFAHREN- UND SCHADENPOTENZIALE

Für die Gewinnung der Übersicht Risiken Naturgefahren SBB werden bestehende, landesweit verfügbare Geodaten verwendet.

Das **Gefahrenpotenzial** wurde schweizweit mit verschiedenen Prozessmodellen nach einheitlichen Kriterien modelliert (SILVAPROTECT-CH siehe auch Liener et al., 2008). Die Modellierungen liefern keine Angaben zu Intensität und Häufigkeit der Gefahrenprozesse. Sie weisen die Bearbeitungstiefe Gefahrenhinweis auf und bezeichnen den potenziellen Wirkungsbereich der modellierten Gefahr unter pessimistischen Rahmenbedingungen (ohne Berücksichtigung von Schutzbauten).

Gewisse Unschärfen bestehen in der Abbildung der topografischen Gegebenheiten. Bedingt durch die verfügbare Grundlage (DTM10 auf Basis DTM25) werden prozessrelevante Erhebungen wie zum Beispiel Dämme nur dann annähernd abgebildet, wenn sie eine gewisse Ausdehnung aufweisen.

Die Gefahrenpotenziale entsprechen somit einer Gefahrenhinweiskarte und berücksichtigen keine Schutzbauten. Die Schutzwirkung des Waldes ist lediglich in den potenziellen Lawinanrissgebieten berücksichtigt, indem die potenziellen Gefahrenggebiete nur für Fliesslawinen aus Anrissgebieten ausserhalb des Waldes berechnet werden. Somit werden alle potenziellen Gefahrenbereiche ausgeschieden und bilden eine einheitliche Basis für weitergehende Überprüfungen und Beurteilungen. Es wird keine Differenzierung nach Wiederkehrperioden gemacht.

Das **Schadenpotenzial** umfasst das schweizweite Streckennetz der SBB (siehe Fig. 1). Für die Risikoanalyse notwendig sind streckenbezogene Angaben über die Anzahl Durchfahrten pro Tag, den mittleren Besetzungsgrad der Züge sowie die Geschwindigkeit. Weiter werden Angaben zu den Tunnelstrecken berücksichtigt.



Fig. 1 Streckennetz zur Übersicht Risiken Naturgefahren SBB (Daten: SBB/ Kartengrundlage: Bundesamt für Statistik)

Fig. 1 Railway network for an overview of hazard risks SBB (Data: SBB/ Map: swiss federal statistical office)

GIS-ANALYSE SCHADENPOTENZIALRELEVANZ

In einem nächsten Schritt werden die Gefahrenpotenziale mit dem Streckennetz SBB überlagert. Im Bereich von Tunnels werden die Gefahrenpotenziale Lawine, Sturz, Hangmure und Murgang ausgeblendet. Am Beispiel Sturzgefährdung wird der Analyseprozess illustriert und erläutert. Die modellierten Wirkungsgebiete der Prozesse Sturz, Hangmuren und Murgang (Silvaprotect CH, BAFU) liegen als so genannte Trajektorien vor. Sie zeigen die berechnete Bahn des Prozesses zwischen Quelle und Ablagerungsort.

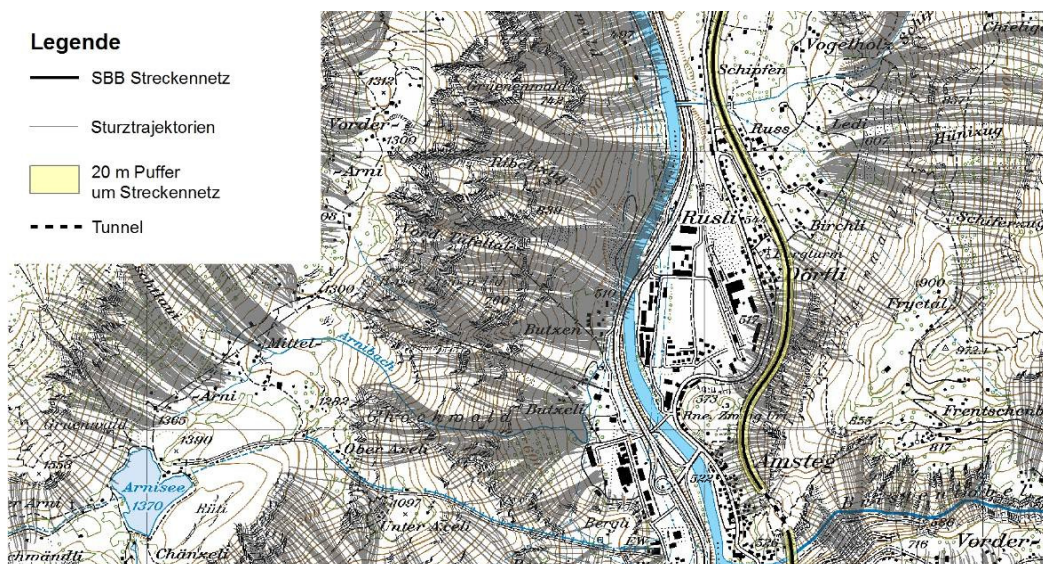


Fig. 2 Die Sturz-Trajektorien, die ausserhalb der Tunnel den 20 Meter Puffer um das Streckennetz (auf der östlichen Talseite berühren), sind schadenpotenzialrelevant. (Kartengrundlage:swisstopo)

Fig. 2 The rock fall trajectories (on the east side of the valley) are touching the railway line (black) and/or its surrounding (yellow). They are thus relevant for the damage potential (map: swisstopo).

Fig. 2 zeigt die Ausgangslage der GIS-Analyse für die Sturztrajektorien. Trajektorien, die ausserhalb der Tunnel den 20 Meter Puffer um das Streckennetz berühren, gelten als potenziell schadenpotenzialrelevant. Für die Weiterverarbeitung im GIS werden die Trajektorien mit unterschiedlichen Pufferdistanzen in Polygone überführt.

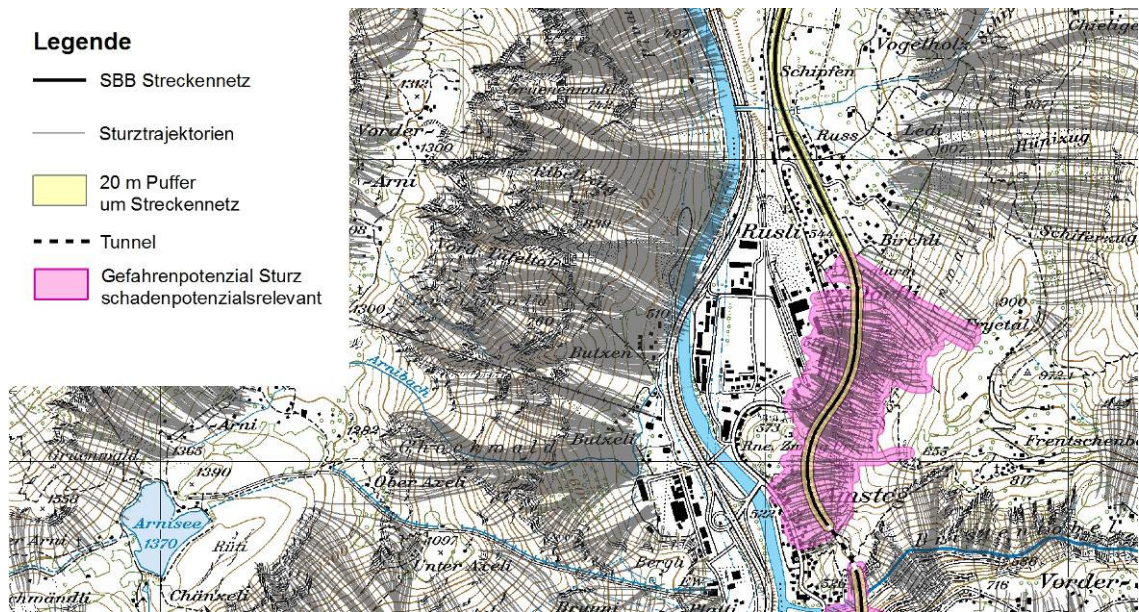


Fig. 3 Schadenpotenzialrelevantes Gefahrenpotenzial Sturz und Streckennetz SBB (Kartengrundlage: swisstopo)

Fig. 3 Hazard potential (on the east side of the valley) for rock fall that is relevant for the damage potential (map: swisstopo).

Auf Fig. 3 ist das Ergebnis der Polygonisierung der schadenpotenzialrelevanten Sturztrajektorien ersichtlich. Die Sturztrajektorien werden mit 20 Meter gepuffert und so zu Polygonen zum Gefahrenpotenzial Sturz weiterverarbeitet. Innerhalb der Polygone liegende kleine Löcher werden eliminiert.

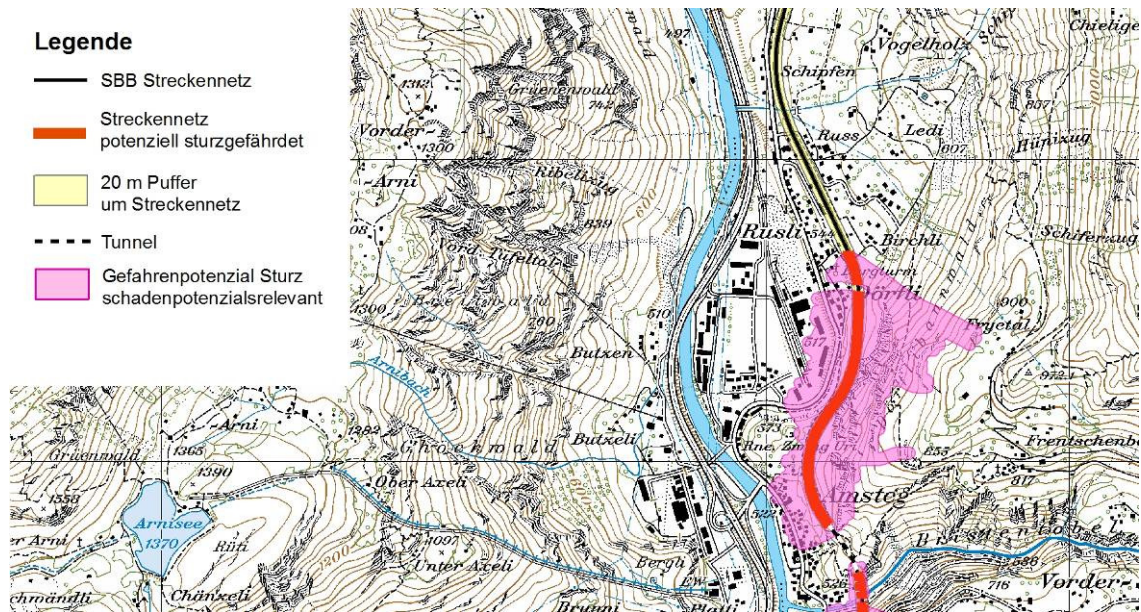


Fig. 4 Gefahrenpotenzial Sturz und das potenziell gefährdete Streckennetz der SBB (Kartengrundlage: swisstopo)

Fig. 4 Hazard potential and the potentially vulnerable railway network if the SBB (map: swisstopo).

Fig. 4 zeigt die potenziell sturzgefährdeten Abschnitte auf dem Streckennetz ausserhalb der Tunnels sowie die relevanten Prozessräume. Sie werden anhand der im vorangehenden Schritt berechneten Polygone und der Strecken SBB ausserhalb der Tunnel identifiziert.

VALIDIERUNG DER GEFAHRENPOTENZIALE DURCH STRECKENKENNER

Die verwendeten Grundlagen zum Gefahrenpotenzial enthalten mit Ausnahme der Überflutungsflächen der Talflüsse und Seen (Aquaprotect, BAFU) keine Angaben zur Wiederkehrperiode der abgebildeten Prozesse. Zur Berechnung der Risikodisposition wird deshalb für die restlichen Prozesse eine einheitliche Wiederkehrperiode von mindestens 100 Jahren eingesetzt. In einer zweiten Projektetappe werden die Gefahrenpotenziale mit dem betriebsinternen Erfahrungswissen von der SBB validiert und bezüglich Wiederkehrperioden präzisiert.

Die Validierung umfasst folgende Aufgaben:

- Plausibilisierung
- Zuweisung Wiederkehrperioden
- Lokalisierung Gefahrenpotenziale Ufererosion und permanente Rutschungen

Bei der Plausibilisierung werden Gefährdungen, die nach Einschätzung des Streckenkenner dort nicht vorliegt, gelöscht. Dies betrifft beispielsweise Hangmuren, welche aufgrund einer Dammlage die Bahngeleise nicht erreichen können. Dort, wo Schutzbauten vorhanden sind, wird die Schutzwirkung berücksichtigt und das Gefahrenpotenzial entsprechend reduziert. Ist eine bekannte Gefahrenstrecke auf der digitalen Gefahrenübersicht nicht abgebildet, wird diese ergänzt.

Die Bearbeiter weisen jedem potenziell gefährdeten Streckenabschnitt eine Wiederkehrperiode zu, je einzeln für die Prozesse Steinschlag, Hangmuren, Murgänge und Lawine. Die Wiederkehrperiode entspricht der persönlichen Einschätzung des Bearbeiters und basiert auf dessen Erfahrung und Lokalkennntnis. Der Ereigniskataster SBB soll bei der Abschätzung konsultiert werden. In jedem Fall ist die geschätzte Wiederkehrperiode des Prozesses für die Situation ohne Verbauungen anzugeben. Die Wiederkehrperiode ist wie folgt abzubilden:

Ufererosion sowie permanente Rutschungen sind im Hinblick auf die zu bewertenden Risiken relevante Gefahrenprozesse, der durch den vorliegenden Datenbestand nicht abgebildet werden. Abschnitte, die gemäss Einschätzung der Streckenkenner SBB potenziell von Ufererosion resp. permanenten Rutschprozessen betroffen werden könnten, werden lokalisiert und können dann in der Risikoberechnung ebenfalls berücksichtigt werden.

BERECHNUNG DER KOLLEKTIVEN UND INDIVIDUELLEN RISIKEN

Für sämtliche durch Naturgefahren tangierte Streckenabschnitte wurden das kollektive sowie das individuelle Personenrisiko berechnet. Die Risikoberechnung erfolgt im Wesentlichen gemäss EconoMe Railway (vgl. BAFU et al. 2011). EconoMe Railway ist eine standardisierte Risikoberechnung, welche für Nutzen - Kosten – Berechnungen eingesetzt werden kann. Zur Berechnung werden Angaben zum Gefahrenpotential (Prozessart, Intensität, Wiederkehrdauer) sowie zum Schadenpotential (Zugsdichte, Geschwindigkeit usw.) benötigt.

Tab. 1 Massgebende Gefahrenprozesse und die für die Risikoberechnung gewählten Parameter
Tab. 1 Significant hazard processes and the parameters chosen for the calculation of risk.

Prozess	Eintretenshäufigkeit	Prozess gemäss EconoMe 2.0	Räumliche Auftretensw.	Intensität
Fliesslawine, Anriss ausserhalb Wald	Gemäss Validierung Streckenkenner	Lawinen	0.6	mittel
Steinschlag, Blockschlag, kleine Felsstürze	Gemäss Validierung Streckenkenner	Stein- / Blockschlag	0.03	mittel
Übersarung, Überflutung steile Gerinne	100	Dynamische Überschwemmung	0.7	mittel
Überflutung Talflüsse, Seen	100	Statische Überschwemmung	1	mittel
Übermürung	Gemäss Validierung Streckenkenner	Murgang	0.6	mittel
Hangmuren	Gemäss Validierung Streckenkenner	Hangmure/ spontane Rutschung	0.5	mittel

Die grundlegenden Parameter wurden gemäss Tab. 1 übernommen. Die Wahrscheinlichkeiten der vorsorglichen Sperrung und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zug nicht in die Ablagerung fährt, werden prozessweise entsprechend den Vorgaben von EconoMe Railway in die Berechnung übernommen. Des Weiteren werden auch die Letalitätswerte gemäss EconoMe Railway verwendet. EconoMe Railway gibt für die statische Überschwemmung bei einem 100 jährlichen Szenario eine vorsorgliche Sperrung von 100% und für die restlichen Wassergefahren 95% vor (siehe Tab. 2).

Tab. 2 Werte pro Prozess für vorsorgliche Sperrung, Zug fährt nicht in Ablagerung sowie Letalitätswerte für Direkttreffer und für Auffahrunfall (gemäss EconoMe Railway)

Tab. 2 Values per process for precautionary blocking probability, probability that the train does not run in the deposition and lethality values for direct hit and for rear-end collision (according EconoMe Railway)

Prozess	Wahrscheinlichkeit in %		Letalitätswerte			
	Vorsorgliche Sperrung (100j.)	Zug fährt nicht in Ablagerung	Direkttreffer (100j)	Auffahrunfall 30 – 50 km/h	Auffahrunfall 81 - 100 km/h	Auffahrunfall > 120 km/h
Fliesslawine	95	55	0.03	0.001	0.03	0.08
Steinschlag, Blockschlag, kleine Felsstürze	0	10	0.25	0.001	0.03	0.08
Übersarung, Überflutung steile Gerinne	95	60	4.25E-05	0.001	0.03	0.08
Überflutung Talflüsse, Seen	100	30	8E-09	0.001	0.03	0.08
Übermuring	95	19	0.00095	0.001	0.03	0.08
Hangmuren	0	10	0.0007	0.001	0.03	0.08

AUSWERTUNG SCHADENPOTENZIALRELEVANZ

Erste Auswertungen, welche auf den modellierten (nicht validierten) Prozessdaten basieren, zeigen folgende Resultate: Schweizweit sind insgesamt rund 1200 km des Streckennetzes durch Naturgefahren betroffen (siehe Tab. 3). Dies entspricht etwa 38 % des Streckennetzes. Der grösste Teil davon entfällt auf die Wassergefahren gefolgt von Hangmurenprozessen. Nur gerade 4 % des Streckennetzes sind durch Stein- und Blockschlag gefährdet. Die durch Fliesslawinen betroffenen Strecken sind mit einer Streckenlänge von 17 km relativ unbedeutend. Zu beachten ist, dass die Gesamtstrecke, welche durch Naturgefahren betroffen ist (synoptisch), nicht der Summe der gefährdeten Strecken der Einzelprozesse entspricht, da gewisse Teilstrecken eine Gefährdung durch verschiedene Gefahrenprozesse aufweisen.

Tab. 3 Länge der durch Naturgefahrenprozesse tangierten Strecken

Tab. 3 Length of the sections touched on by natural hazard processes

	Länge [km]	Streckenlänge in [%]
Untersuchtes Streckennetz SBB	3114	100
davon Tunnel	225	7
Exposition Naturgefahren (synoptisch)	1171	38
Exposition Hangmuren	319	10
Exposition Stein- und Blockschlag	117	4
Exposition Fliesslawinen (Anriss ausserhalb Wald)	17	0.5
Exposition Wassergefahren (inkl. Murgang), steile Gerinne	382	12
Exposition Wassergefahren Talflüsse und Seen (100j.)	647	21

RESULTATE RISIKOANALYSE

Die Risiken werden für jede Teilstrecke, welche von einer Naturgefahr betroffen ist, einzeln berechnet. Zuerst werden die Risiken pro Prozessart gemäss EconoMe Railway (BAFU et al. 2011) bestimmt.

Anschliessend werden diese Risiken zusammengesetzt um eine Aussage zum synoptischen Risiko zu

erhalten. Grundsätzlich wird dafür die Summe aller Einzelprozessrisiken gebildet. Bei der Überlagerung der einzelnen Prozesse entstehen Teilstrecken, welche von einem Prozess oder mehreren betroffen sind. Um eine Aussage zum synoptischen Risiko für diese Teilstrecken zu erhalten, wird der prozentuale Streckenanteil der Teilstrecke an der Prozessstrecke bestimmt. Die berechneten Risikowerte werden anschliessend mit dem erhaltenen Anteil multipliziert. Mit diesem Vorgehen bleibt das synoptische Risiko konstant und es kann eine Aussage für jede Teilstrecke (abhängig von den einzelnen Prozessarten) gemacht werden.

Die beiden Risikowerte (kollektiv, individuell) wurden einerseits für das gesamte SBB Streckennetz gerechnet um einen schweizweiten Überblick über die Risikosituation zu erhalten. Andererseits wurden sämtliche Berechnungen auch pro Linie (gemäss SBB) durchgeführt. Um die Werte der einzelnen Linien miteinander vergleichen zu können, wurden die erhaltenen Risikowerte der Einzelprozesse auf eine Strecke von 100m normiert. Zudem beziehen sich sämtliche Kennzahlen auf das SBB Streckennetz ohne Tunnelstrecken.

Tab. 4 Übersicht Risikosituation gesamtes SBB Streckennetz basierend auf den nicht validierten Prozessdaten
Tab. 4 Overview of the risk situation of the entire SBB route network based on not validated process data

Risikosituation SBB Streckennetz schweizweit	Gesamtstrecke [km]	Risikoanteil in [%]
Einzelprozesse		
Gefährdung durch Wassergefahren	382	1
Gefährdung durch Hangmuren	319	78
Gefährdung durch Steinschlag	117	21
Gefährdung durch Fliesslawinen	17	< 1

Die Angaben zu den Wassergefahren repräsentieren die zusammengefasste Situation (keine doppelten Strecken) der Wasserprozesse (Murgang, Überschwemmung, Übersarung). Trotz des hohen Streckenanteils mit einer Gefährdung durch Wassergefahren, fällt der entsprechende Risikoanteil mit 1% eher gering aus. Erklärungen dafür sind einerseits, dass bei der Risikoberechnung der Anteil der gefährdeten Strecken durch statische Überflutung entfallen, da diese eine vorsorgliche Sperrung von 100% aufweisen. Andererseits wurde davon ausgegangen, dass im Ereignisfall ein Streckenabschnitt jeweils nur von einem Wasserprozess, d.h. Murgang, Überschwemmung oder Übersarung, betroffen ist. Deshalb wurde bei sich überlagernden Wasserprozessen für die Berechnung des Risikos jeweils nur der Prozess mit dem höchsten kollektiven Risiko berücksichtigt.

Mit 78% entfällt der grösste Risikoanteil auf Hangmuren. Dies kann einerseits mit der Streckenlänge, welche durch Hangmuren gefährdet sind erklärt werden, andererseits bewirken die verwendeten Parameter für die vorsorgliche Sperrung und die Wahrscheinlichkeit, dass der Zug nicht in die Ablagerung fährt, hohe Risikowerte.

Für das Gesamtrisiko ist der Auffahrunfall mit einem Anteil von 99.9% die entscheidende Grösse. Die Analyse zeigte, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Anprall auf abgelagertes Material durchschnittlich rund um einen Faktor 100 grösser ausfällt als für den Fall des Direkttreffers. Zudem hängt das Schadenausmass beim Auffahrunfall nur von der Geschwindigkeit des Zuges sowie dem Besetzungsgrad ab. Die entsprechenden Letalitätswerte sind meist höher als die Werte, welche bei der Berechnung des Risikos durch Direkttreffer (siehe Tab. 3) verwendet werden. Dementsprechend wirken sich die verschiedenen Letalitätswerte auf das Gesamtrisiko aus.

Das berechnete Risiko kann streckenbezogen dargestellt werden. Für eine Übersicht kann beispielsweise für das gesamte Streckennetz der SBB das kollektive Personenrisiko aufgezeigt werden. Damit die Risiken vergleichbarer sind, wurden sie auf 100m Streckenlänge normiert. **Fig. 5** zeigt eine Übersicht des kollektiven Personenrisikos normiert auf 100 m. Die roten Querstriche zeigen das Ausmass des Personenrisikos an. Je länger der Querstrich ist, desto grösser ist das kollektive Personenrisiko auf diesem Streckenabschnitt. Wo kein roter Strich zu sehen ist, liegt kein Risiko vor.

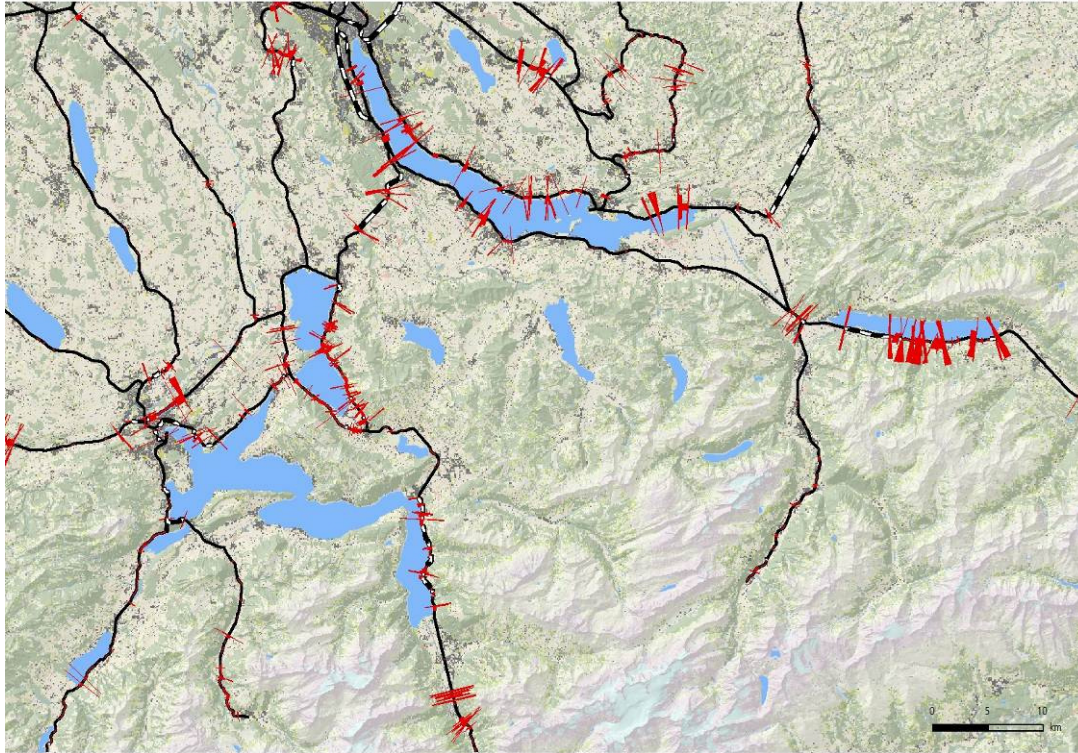


Fig. 5 Übersicht kollektives Personenrisiko, normiert auf 100 m. Die roten Querstriche zeigen die Höhe des Personenrisikos an. Je länger der Strich, desto höher ist das kollektive Personenrisiko. Wo kein roter Strich zu sehen ist, liegt kein Risiko vor. (Ausschnitt)

Fig. 5 Overview collective person risk, normalized to 100 m. The red lines indicate the level of person risk. The longer the line, the higher the collective person risk. Where no red line is visible, there is no risk. (detail)

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das hier vorgestellte Vorgehen ermöglicht es mit vorhandenen Daten eine nachvollziehbare, grossräumige Risikoübersicht zu erstellen. Die Projektergebnisse dienen als Planungsgrundlage für die Naturgefahrenprävention der SBB sowie der Abschätzung des entsprechenden Mittelbedarfs.

LITERATUR

- Bundesamt für Umwelt BAFU (2010). EconoMe 2.0 Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Verkehr BAV, Bahnunternehmungen BLS, BOB, MGB RHB, SBB und zb (2011). EconoMe Railway 1.0 (2011)
- Liener S., Pfeifer R., Giamboni M. (2008). Simulation von Gefahrenhinweisflächen als Grundlage zur Schutzwaldauscheidung in der Schweiz. Interprävent 2008, Dornbirn.

OPTIMETH

BEITRAG ZUR OPTIMALEN ANWENDUNG VON METHODEN ZUR BESCHREIBUNG VON WILDBACHPROZESSEN

Anton Loipersberger¹, **Rainer Höhne**² and Andreas Rimböck³

ZUSAMMENFASSUNG

Eine zuverlässige Einschätzung von Wildbachprozessen (Hochwasser, Muren, Schwemmholz) ist eine entscheidende Grundlage für die Bestimmung von Gefahrenzonen und Entwicklung von integralen Schutzkonzepten. Diese Aufgabe stellt sich jedoch meist als sehr schwierig heraus, weil die Prozesse sehr schnell und komplex ablaufen und genaue Beobachtungen oder gar Messungen zum Ablauf der Ereignisse in der Regel nicht verfügbar sind. Heute steht zwar eine ganze Reihe von Verfahren, Berechnungs- und Modellansätzen, die im folgenden als Methoden bezeichnet werden, zur Verfügung, es ist jedoch in der Praxis ein Problem, deren Zuverlässigkeit und die Randbedingungen für deren Anwendung richtig einzuschätzen. Dies gab Anlass, im Rahmen einer internationalen Arbeitsgruppe namens OPTIMETH Hinweise und Anregungen für die Praxis zur Anwendung von Methoden zu erarbeiten mit dem Ziel, die Qualität der Ergebnisse zu verbessern und auch international ein vergleichbares Niveau sicher zu stellen. Die Arbeitsgruppe wurde von der Internationalen Forschungsgesellschaft Interpraevent ins Leben gerufen und stand unter der Leitung Bayerns. Der Bericht der Arbeitsgruppe wird auf der Homepage Interpraevent zum Download zur Verfügung gestellt.

Stichworte: Wildbachprozesse, Methodenvergleich, Vergleichsberechnungen

ABSTRACT

A reliable assessment of torrential processes (floods, debris flow, woody debris) is an essential basis for the definition of hazard zones or the development of integral measures. This task turns out to be mostly rather difficult as the processes use to occur very quickly and complex and exact observations or even measurements are usually not available. Nowadays there is a number of methods and approaches for calculation or modelling at disposal, which will be subsumed under the term “method” in the following. But in practice it is a problem to evaluate their reliability and the boundary conditions for the application correctly. This gave reason to establish an international working group named OPTIMETH to elaborate information and suggestions for the application of methods in practice. The aim is to improve the quality of the results and also to ensure a comparable standard on international level. The working group chaired by Bavaria was established by the International Research Society Interpraevent. The final report of the working group will be available on the website of Interpraevent.

Keywords: torrential processes, method comparison, comparative calculations

¹ Former: Department for Alpine Natural Disasters, Bavarian Environment Agency, Lazarettstr. 67, D-80636 Munich

² Department for Alpine Natural Disasters, Bavarian Environment Agency, Lazarettstr. 67, D-80636 Munich, (phone: +49-(0)89-9214-1022; fax: +49-(0)89-9214-1052; e-mail: rainer.hoehne@lfu.bayern.de)

³ Department for Alpine Natural Disasters, Bavarian Environment Agency, Lazarettstr. 67, D-80636 Munich (phone: +49-(0)89-9214-1038; fax: +49-(0)89-9214-1052; e-mail: andreas.rimboeck@lfu.bayern.de)

EINLEITUNG

Bei allen Überlegungen zum Schutz vor Naturgefahren stellt sich immer als Erstes die Frage „Was kann passieren?“. Man braucht also möglichst zuverlässige Aussagen darüber, mit welcher Häufigkeit, Größe und Intensität die Prozesse ablaufen werden, um darauf aufbauend Schutzkonzepte zu entwickeln, wie z.B. eine Gefahrenzonenplanung oder Entwürfe für technische Schutzbauwerke. Gerade bei alpinen Prozessen stellt diese Aufgabe jedoch regelmäßig eine große Herausforderung dar. Heute stehen dafür als Hilfsmittel zwar eine ganze Reihe von Formeln und auch mehr oder weniger komplexe, computerbasierte Modelle zur Verfügung. Die Anwendung dieser Methoden erfordert jedoch eine vertiefte Kenntnis nicht nur der ablaufenden Prozesse, sondern insbesondere auch über den Aufbau der Modelle, eventuelle Anwendungsgrenzen oder die Sensibilität der zu wählenden Eingangsparameter. Um zu plausiblen Ergebnissen zu kommen, ist es regelmäßig ratsam, dafür spezielle Fachleute einzusetzen, die sich vertieft mit der Materie und insbesondere auch mit dem jeweiligen Modell auseinandergesetzt haben. Die Arbeitsgruppe OPTIMETH hat es sich zur Aufgabe gemacht, dazu Anregungen und Hinweise zu erarbeiten.

DIE EINSCHÄTZUNG VON WILDBACHPROZESSEN

Schon die ersten Pioniere der Wildbachverbauung vor ca. 150 Jahren wussten, dass am Anfang aller Überlegungen zur Einschätzung von Wildbachprozessen eine gründliche Kenntnis der naturräumlichen Gegebenheiten im Einzugsgebiet stehen muss (z.B. Geologie, Topographie, Vegetation, Boden). Heute stehen zudem mehr oder weniger umfangreiche Daten auf digitaler Basis zur Verfügung, die diese Arbeit erheblich erleichtern. Dennoch bleiben detaillierte Ortsbegehungen durch Experten unverzichtbar, um die aus den Daten abgeleiteten Schlüsse zu verifizieren, zu ergänzen oder auch zu korrigieren. Als Ergebnis erhält man zunächst eine Bewertung der möglichen Leitprozesse, die in einem Gebiet auftreten können. Fig. 1 stellt einen schematischen Überblick über den Planungsablauf dar. Hochwasser mit mehr oder weniger großer Geschiebeführung und auch Schwemmholz wird man in Wildbächen regelmäßig erwarten können. Schwieriger ist da schon die Einschätzung der Murfähigkeit eines Wildbaches oder der Intensität des Schwemmholztransportes. Zu berücksichtigen sind auch Hangprozesse wie Hang- und Böschungsrutschungen, die den Bachlauf erreichen können und in der Folge den Prozessablauf wesentlich beeinflussen oder z.B. bei Murstößen erst auslösen. Es braucht erfahrene Experten, um hier zu einer einigermaßen zuverlässigen Einschätzung des Prozessgeschehens zu kommen. Ein ganz wesentliches Hilfsmittel sind auch die Ergebnisse der Ereignisdokumentation, die seit einigen Jahren in allen Alpenregionen konsequent durchgeführt wird. Sie liefern zwar meist nur qualitative und keine quantitativen Aussagen, aber schon das ist zur Verifizierung der Einschätzung eine wertvolle Hilfe. Bei aller gebotenen Vorsicht können auch aus Gesprächen mit Ortsansässigen brauchbare Hinweise gewonnen werden.

PROBLEME BEI DER BESTIMMUNG DES BEMESSUNGSEREIGNISSES

Die Resultate der Vorüberlegungen sind die Grundlage für die Planung von geeigneten Schutzkonzepten wie etwa die Festlegung von Gefahrenzonen oder den Entwurf von Schutzbauwerken. In den Alpenregionen werden dafür in der Regel Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 100 bis 150 Jahren zu Grunde gelegt. Und damit kommt man zu einem entscheidenden Problem. Die Ereignisse im Bergland treten regelmäßig sehr kleinräumig auf und laufen sehr schnell ab. Anders als im Flachland stehen daher kaum zuverlässige Messeinrichtungen und –ergebnisse zur Verfügung. Dies macht es meist unmöglich, statistische Auswertungen durchzuführen und die Ergebnisse aus Modellansätzen durch die Nachrechnung abgelaufener Ereignisse zu verifizieren. Bestimmte Parameter wie etwa die Geschiebeführung oder die Schwemmholzmenge sind messtechnisch kaum erfassbar. In der Vergangenheit hat man sich stark auf die Erfahrung der Experten oder abgelaufene Ereignisse gestützt. Zusätzlich wurden empirische oder stark vereinfachte Schätzformeln entwickelt. Vielfach bekannt ist die Formel von Wundt (1953) B90 mit der Gleichung $HQ = 13,8 \times E^{0,6}$. Damit erhält man zwar sehr rasch einen Wert für einen Extremabfluss, dem jedoch keine Jährlichkeit zugeordnet werden kann. Über viele Jahre gab es zu

dieser Vorgehensweise keine Alternative, wobei man anerkennen muss, dass sich viele der von unseren Vorgängern erstellten Bauwerke über viele Jahre durchaus bewährt haben. In den letzten 10 bis 15 Jahren wurden jedoch immer komplexere Modelle zu Berechnungen im Bereich von Hydrologie, Hydraulik mit Geschiebe und auch Murgängen entwickelt. Ermöglicht wurde das durch die intensive Forschung von Universitäten und Instituten, aber auch durch die rasante Entwicklung der Rechenleistung von Computern und der Möglichkeit zur Verwendung digitaler Daten. Zweifellos können diese Möglichkeiten zur Verbesserung der Bestimmung von Bemessungsereignissen beitragen. Zudem erwartet die Öffentlichkeit, dass in der heutigen Zeit unsere Planungen auf der Basis des aktuellen, modernen Wissensstandes erarbeitet werden. Für den Praktiker vor Ort sind damit jedoch die Probleme noch nicht gelöst.

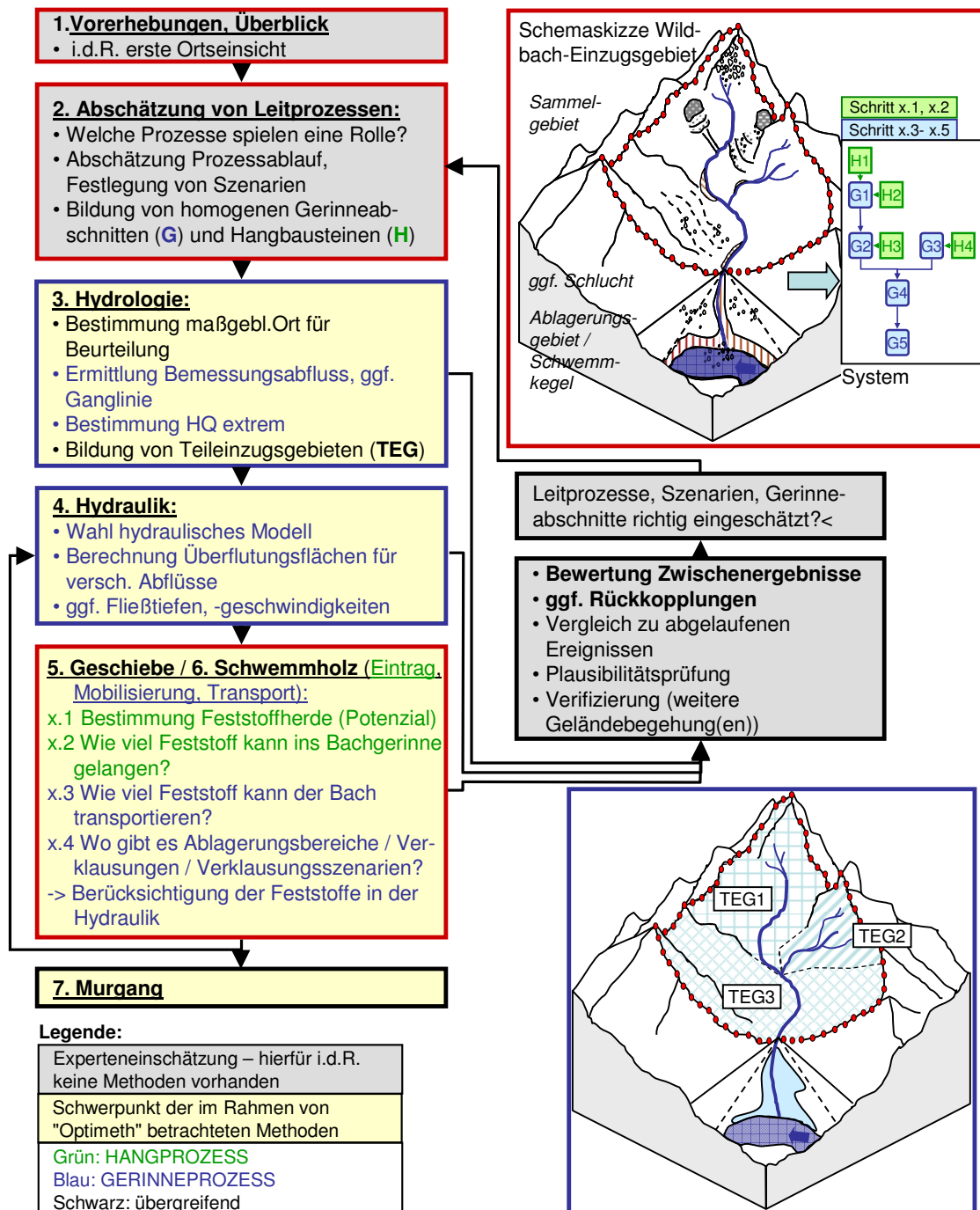


Fig. 1 Planungsablauf
Fig. 1 Planning process

ORGANISATION UND ZIELE DER ARBEITSGRUPPE OPTIMETH

Die dargestellten Schwierigkeiten beim Einsatz der Methoden bestehen mehr oder weniger im gesamten Alpenraum. Dies gab Anlass, dass die Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent im Herbst 2009 eine internationale Arbeitsgruppe OPTIMETH unter der Leitung Bayerns eingerichtet hat. In der AG waren Experten aus Bayern, Schweiz und Österreich vertreten; Fachleute aus Südtirol und Slowenien waren regelmäßig eingebunden, indem diese die Niederschriften zu den Sitzungen sowie die erarbeiteten Ergebnisse mit der Bitte um Stellungnahme erhielten. In seiner ersten Sitzung hat sich die AG folgende Ziele gesetzt:

1. Die AG beschränkt sich auf die Wildbachprozesse Hochwasser, Geschiebe, Schwemmh Holz und Muren, um in absehbarer Zeit zu Ergebnissen zu kommen. Andere alpine Prozesse wie etwa Lawinen oder geologische Prozesse müssen von anderen Expertengruppen bearbeitet werden.
2. Mit dieser Einschränkung ist konsequenterweise die Betrachtung auch auf kleine, wildbachtypische Einzugsgebiete < 25 bis 50 km² beschränkt.
3. Wesentliches Ziel ist es zunächst, den „State of the Art“ im Alpenraum zu beschreiben, also welche Methoden und Modelle derzeit verwendet werden. Weiterhin sollten für die Praxis Hinweise und Anregungen für deren Anwendung entwickelt werden. Also was sind die Stärken und Schwächen bzw. Anwendungsgrenzen der verschiedenen Modelle und wo liegen die sensiblen Parameter bzw. Eingangsgrößen. Es sollten auch Aussagen über den Vertrauensbereich der Ergebnisse getroffen werden. Hinweise, wo für die Zukunft ein Bedarf für verstärkte Untersuchungen gesehen wird, runden die Arbeiten ab.
4. Betrachtet wurden lediglich solche Modellansätze, die in der Praxis allgemein verfügbar sind und die sich in der Anwendung bereits bewährt haben. Es war keineswegs die Absicht, etwas Neues zu „erfinden“.

ARBEITSABLAUF

Die Arbeit der AG wurde in die Themen Hydrologie, Hydraulik, Geschiebe, Schwemmh Holz und Muren gegliedert. Zunächst wurden zu den verschiedenen Themen die Methoden gesammelt, die sich in den jeweiligen Ländern derzeit Anwendung finden. Im nächsten Schritt wurden dafür einheitliche „Steckbriefe“ erarbeitet. Darin finden sich eine ganze Reihe von Angaben, z.B. Verfügbarkeit, erforderliche Eingangsparameter oder Anwendungsgrenzen, Aufwand, Literaturhinweise sowie eine grundsätzliche Bewertung der Methoden. Die Steckbriefe enthalten auch Aussagen zur Sensitivität von Eingangsparametern oder zu Vertrauensbereichen. Für das Thema Hydrologie wurden zusätzlich Vergleichsberechnungen für gleiche Einzugsgebiete mit unterschiedlichen Modellen durchgeführt. Bei den regelmäßigen AG-Sitzungen wurden die vorgelegten Beiträge diskutiert und daraus allgemeine Hinweise für die Praxis abgeleitet.

EMPFEHLUNGEN DER ARBEITSGRUPPE

Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, wollte man alle Ergebnisse im Einzelnen darstellen. Dazu sei auf den Schlussbericht der AG auf der Website der Forschungsgesellschaft Interpraevent verwiesen. Es werden daher hier nur die wesentlichen Aussagen knapp dargestellt.

Grundsätzlich gelten folgende Empfehlungen:

- Zunächst sind alle vorhandenen Daten und Informationen zu sammeln und zu bewerten. Dies ist die Grundlage für eine erste Einschätzung der Situation.
- Daran muss sich eine gründliche Begehung des gesamten Einzugsgebietes anschließen. Dabei sind die Schlüsse der ersten Bewertung kritisch zu hinterfragen, zu ergänzen oder auch zu korrigieren. Es sind auch die möglichen Leitprozesse zu definieren.
- Die soweit gewonnenen Erkenntnisse sind mit der Ereignisdokumentation abzugleichen. Exakte Ergebnisse aus Messungen werden regelmäßig nicht verfügbar sein, aber auch eine

fundierte Schätzung kann schon weiter helfen („Eine vernünftige Schätzung ist besser als eine exakte, aber falsche Berechnung“).

- Als nächstes ist zu überlegen, welche Informationen für die weiteren Planungsüberlegungen benötigt werden. Genügt es z.B. nur einen Spitzenwert für eine Gerinnebemessung zu ermitteln oder wird für ein Dosierungsbauwerk eine Ganglinie benötigt? Geht es um eine erste grobe Abschätzung möglicher Szenarien oder soll konkret ein Bauwerk auf ein z.B. 100jähriges Ereignis bemessen werden? Dies ist bereits für die Auswahl geeigneter Modelle ein wichtiger Hinweis.
- Aufgrund der unvermeidbaren Unsicherheiten der verschiedenen Modelle ist die Anwendung mehrerer Ansätze zu empfehlen. Damit lässt sich der wahrscheinlichste Bemessungswert realistisch einschätzen.
- Es liegt schließlich in der Verantwortung des zuständigen Experten, einen realistischen Bemessungswert festzulegen. Er muss sich dabei jedoch über die Unsicherheiten bzw. Bandbreiten im Klaren sein und die Methodenergebnisse kritisch hinterfragen. Um dieses Problem kommt man nicht herum. Es ist jedoch wichtig, dass die Entscheidung für einen Wert nachvollziehbar begründet wird. Deshalb sollte grundsätzlich auch der Überlastfall betrachtet werden. Also was passiert, wenn der Bemessungsansatz überschritten wird? Versagt das Schutzsystem plötzlich und ohne Vorwarnung oder gibt es noch Spielraum, darauf zu reagieren? Ist dieses letztlich unvermeidbare Restrisiko akzeptabel?
- Auch in Bayern werden Planungsleistungen zunehmend an Ingenieurbüros vergeben. Hier ist besonders darauf zu achten, dass geeignete Büros ausgewählt werden, die auch über die sehr spezifischen Kenntnisse zur Beurteilung des Wildbachgeschehens verfügen und ihre Ergebnisse transparent darstellen (keine „black-box“ Methoden). Die grundsätzlichen Überlegungen sollten auch bei einer Vergabe bei der verantwortlichen Stelle durchgeführt und die gelieferten Ergebnisse stets kritisch hinterfragt werden.

Diese allgemeinen Empfehlungen gelten für alle Prozesse und werden im Folgenden nicht mehr wiederholt. Es sollen nur einige Einzelheiten zu den verschiedenen Teilprozessen näher erläutert werden.

HYDROLOGIE

In den Alpenländern werden Niederschlags-Abflussmodelle verwendet, die im Wesentlichen auf den gleichen Grundlagen/Ansätzen beruhen (z.B. Einheitsganglinienverfahren). Diese Modelle sind an die regionalspezifischen Besonderheiten angepasst (Spreafico et al., 2003). Statistische Verfahren scheiden in der Regel wegen der fehlenden Messwerte aus.

An einigen Einzugsgebieten wurden Vergleichsberechnungen für ein HQ100 mit verschiedenen Verfahren durchgeführt. Beispielhaft sind die Ergebnisse für den Laingraben (Einzugsgebietsgröße 2,3 km²) in Fig. 2 dargestellt. Lässt man Wundt (1953) B90 außer acht, der in der Regel den HQ100 – Wert mehr oder weniger deutlich überschätzt, so ergeben sich bei den verwendeten Modellen trotzdem noch erhebliche Differenzen in einer Größenordnung des Faktors 2. Dafür gibt es zwei Wesentliche Gründe:

- Eine nicht unerhebliche Rolle spielt die Aufteilung eines Einzugsgebietes auf in sich homogene Teileinzugsgebiete.
- Der meist entscheidende Faktor ist jedoch eine zutreffende Wahl der Abflussbeiwerte bzw. der CN-Werte.

Zudem ist zu beachten, dass schon im Ansatz des Gebietsniederschlags, z.B. in Bayern nach dem KOSTRA-Atlas (Bartels et al., 2005), die Unsicherheiten im Bereich von 20% liegen. Zusätzlich spielt die Wahl der räumlichen und zeitlichen Verteilung eine Rolle.

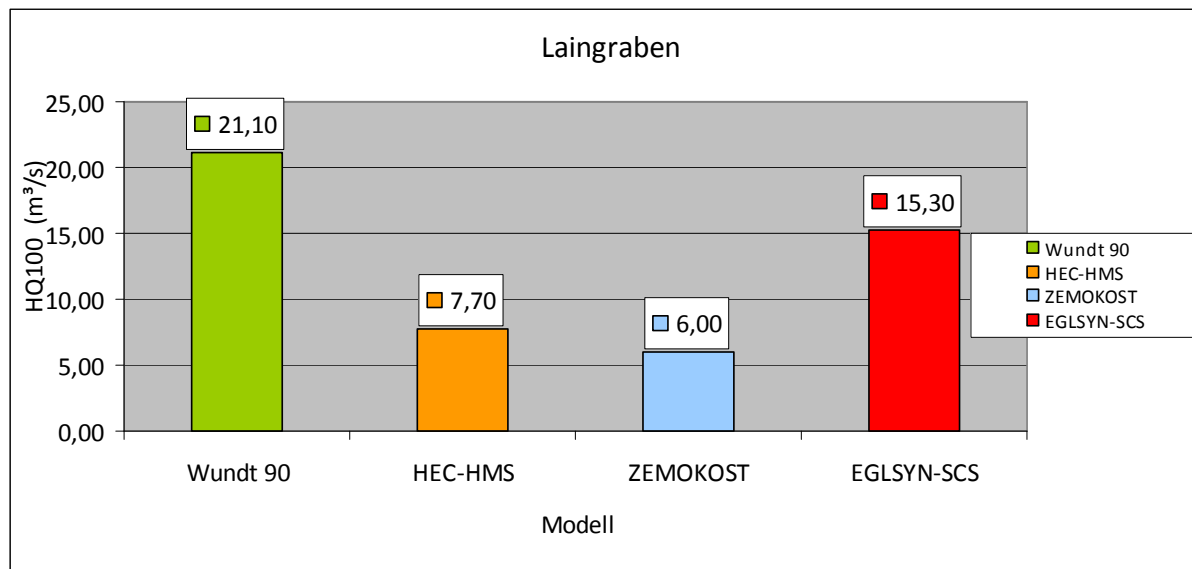


Fig. 2 Vergleichsberechnungen am Laingraben
Fig. 2 Comparative calculations in the Laingraben torrent

Die Diskussion in der AG führte zu dem Ergebnis, dass letztlich alle betrachteten gängigen Niederschlags-Abfluss-Modelle gleichwertig sind. Es können daher nur Empfehlungen gegeben werden, wie die Qualität der Ergebnisse verbessert werden kann:

- Es sollte ein Ausbau der Pegelmessstellen angestrebt werden, um mittel- und langfristig die Anwendung statistischer Methoden zu ermöglichen und die Grundlage für Modellkalibrierungen zu bilden. Ein weiterer Schritt in die Richtung ist die Ausarbeitung und Bereitstellung von Regionalisierungsverfahren. Diese beiden Vorschläge sind von den hydrologischen Diensten der jeweiligen Länder umzusetzen und können wesentlich zu einer Verbesserung der Ergebnisse beitragen.
- Bei der Anwendung von Modellen sollten in jedem Fall verschiedene Szenarien betrachtet werden, z.B. Variation der Niederschlagsverteilung (räumlich und zeitlich) oder der Einteilung in Teileinzugsgebiete.
- Zur Absicherung der Ergebnisse sollten stets mehrere Verfahren zur Anwendung kommen.
- Ein ganz besonderes Augenmerk ist schließlich auf die Festlegung der Abflussbeiwerte/CN-Werte zu legen, da diese natürlich einen sehr großen Einfluss auf das Ergebnis haben. In Bayern und auch an der BOKU Wien werden derzeit Methoden getestet, die Abflussbeiwerte direkt aus den relativ detaillierten und flächendeckend verfügbaren EGAR-Daten zu ermitteln. Damit kann erreicht werden, dass die stets subjektive Sicht des jeweiligen Bearbeiters objektiviert wird.

REINWASSER-HYDRAULIK

Zunächst wird nur die Reinwasserhydraulik betrachtet. Wie schon bei den hydrologischen Modellen gibt es auch in der Hydraulik verschiedene Ansätze, die jedoch auch auf den gleichen Grundlagen beruhen und in sich vergleichbar sind. Wie bei der Hydrologie ist auch hier keine besondere Präferenz gegeben. Die Modelle sind z.T. auch bei steilerem Gefälle von 10% und mehr durchaus anwendbar. Zunächst ist festzulegen, ob eine hydraulische Berechnung mit 1d- oder 2d-Modellen zu erfolgen hat. Einen Kriterienkatalog hierzu hat Schwaller (1998) erstellt. 1d-Modelle werden auch heute noch z.B. in den Oberläufen von Wildbächen angewandt. Sie liefern brauchbare Ergebnisse solange relativ klare Strömungsverhältnisse vorliegen. Sobald jedoch komplexe Strömungsverhältnisse auftreten (Querschnittsänderungen, Kurvenüberhöhung in engen Krümmungen) oder es gar zu instationären Abflüssen z.B. durch Ausuferungen kommt, müssen 2d-Modelle angewandt werden. Der höhere Zeitaufwand ergibt sich im Wesentlichen aus den langen Rechenzeiten (je nach Komplexität mehrere

Stunden oder gar Tage). Der Modellierungsaufwand als solcher (digitales Modell von Gelände und Abflussprofil, Bauwerksdaten usw.) unterscheidet sich nicht wesentlich. Problembehaftet bei der Anwendung der Modelle ist die richtige Wahl der Rauheitsbeiwerte im Gerinne (nach Strickler). In der Praxis werden die Beiwerte häufig zu glatt angesetzt, tatsächlich werden sie im Bereich der hier betrachteten Wildbäche kaum über 25 liegen.

Als allgemeine Hinweise für die Praxis lässt sich folgendes ableiten:

- Zunächst muss festgelegt werden, ob ein 1d- oder 2d-Modell erforderlich ist. Dies hängt von den o.g. Randbedingungen ab.
- Es ist bekannt, dass die Rauheiten von der relativen Fließtiefe abhängen, also dem Verhältnis der Fließtiefe zum Durchmesser des Sohlmaterials. Allerdings sind die theoretischen Grundlagen für dieses Phänomen bisher nur unzureichend bekannt, so dass hier weiterer Forschungsbedarf gesehen wird.
- Erfahrungsgemäß sind die Rauheiten bei 2d-Modellen glatter anzusetzen als bei 1d-Modellen.
- Auf eine möglichst detailgenaue Erfassung des Modells (Gelände, Bauwerke) ist große Sorgfalt zu legen. Dies gilt insbesondere dann, wenn es zu Ausuferungen kommt.
- Wegen der großen Unsicherheiten bei der Wahl der Rauheiten ist die Berechnung mit variierten Beiwerten dringen zu empfehlen. Damit lässt sich die Sensitivität des Modells abschätzen.
- Die Unsicherheiten bei den Ergebnissen steigen mit zunehmendem Sohlgefälle.
- Weiterhin ist zu beachten, dass die gängigen Modelle eine feste Sohle voraussetzen. Je nach Größe des Geschiebetriebs ist dies bei der Bewertung der Ergebnisse zu beachten.

GESCHIEBE UND SCHWEMMHOLZ

Während für Hydrologie und Reinwasserhydraulik die theoretischen Grundlagen noch relativ gut bekannt sind, ist das bei den Prozessen des Geschiebe- und Schwemmholztransportes sehr viel schwieriger (Habersack et al., 2010). Der übliche Ansatz besteht heute darin, dass zunächst das vorhandene Potential im Einzugsgebiet erhoben wird. Gertsch (2009) beschreibt dafür eine Methode für das Geschiebepotenzial. Für das Schwemmholzpotential gibt es eine Reihe empirischer Formeln und Ansätze, die jedoch im Ergebnis eine enorme Bandbreite mit einem Faktor von 10 und mehr aufweisen können. Hinzu kommt die Schwierigkeit bei der Einschätzung der Mengen, die bei einem aktuellen Ereignis tatsächlich aktiviert werden können. Dabei spielen auch seitliche Einträge aus Hang- und Böschungsprozessen eine große Rolle.

Nach der Einschätzung der aktivierbaren Potentiale stellt sich das nächste Problem bei der Bestimmung der Transportkapazität des Wildbaches. Diese Prozesse laufen sehr komplex ab und lassen sich theoretisch kaum beschreiben. Daher sind für die Transportprozesse im Wildbach nur ansatzweise Modellansätze verfügbar. Einige der für die Reinwasser-Hydraulik verfügbaren Modelle verfügen über Zusatzmodule, mit denen auch der Geschiebetransport modelliert werden kann. Allerdings sind diese Modelle in ihrer Anwendbarkeit begrenzt auf ein Sohlgefälle von etwa bis zu 3 bis max. 5%. Die bei einem Ereignis ablaufenden Prozesse wie etwa ein seitlicher Einstoß von Geschiebe oder Schwemmholz oder etwa der Durchbruch einer Verklausung bereiten modelltechnisch Probleme.

Aufgrund der Komplexität der Transportprozesse können nur folgende Hinweise gegeben werden:

- Man muss sich darüber im Klaren sein, dass es sich bei der Anwendung der Methoden zum Geschiebe- und Schwemmholztransport lediglich um mehr oder weniger grobe Abschätzungen handelt.
- Es braucht erfahrene Fachleute, um zu einer einigermaßen zuverlässigen Einschätzung zu kommen. Auch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ist hier zu empfehlen, z.B. beim Schwemmholzproblem mit Forstingenieuren.

- Eine sehr große Rolle spielt auch hier die Ereignisdokumentation. Sie kann ganz wesentlich dabei helfen, die Wahrscheinlichkeit abgeschätzter Szenarien besser einzuschätzen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich die verfügbaren Potentiale mit der Zeit erheblich verändern können je nach dem, ob in der Vergangenheit größere Ereignisse stattgefunden haben oder nicht.

MUREN

Murgänge fallen ebenfalls unter die Transportprozesse. Es gelten daher im Grunde die gleichen Voraussetzungen. Neben der Erhebung des verfügbaren Potentials ist die Murfähigkeit eines Wildbaches einzuschätzen, die wesentlich vom Sohlgefälle abhängt. Die Modellierung des Transportprozesses ist schwierig, da sie von vielen Faktoren beeinflusst wird (z.B. Kornverteilung, Feinkornanteil, Wassergehalt, innere Reibung). Es gibt einige Methoden zur Abschätzung von Murgängen, die aber durchwegs mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet sind. Es gelten hier die gleichen Hinweise, wie sie bereits für die Transportprozesse gegeben wurden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die hier dargestellten Ergebnisse und Empfehlungen der AG OPTIMETH mögen auf den ersten Blick z.T. trivial erscheinen. Aber in der Praxis ist die notwendige kritische Distanz zu den Methoden häufig zu gering ausgeprägt. Zudem ist auch der Gedanke zum Umgang mit Unsicherheiten noch nicht in allen Köpfen angekommen. Schließlich muss man auch an die jüngeren Kollegen denken, denen mit OPTIMETH eine Hilfestellung zum Einstieg gegeben werden soll.

Für die Zukunft wird es darauf ankommen, einige Gedanken und Ideen, die in internationalen Expertengruppen schon seit einiger Zeit diskutiert werden, in die Praxis zu übertragen. Dabei erscheinen folgende Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Wie mehrfach erwähnt, spielen Erfahrung und Experteneinschätzung bei der Beurteilung von Wildbachprozessen auch in Zukunft eine große Rolle. Es ist daher wichtig, dem Erfahrung- und Wissensaustausch zwischen Experten und Praktikern große Beachtung zu schenken. Dabei sollen auch die nachfolgenden Aspekte vermittelt werden.
- Der Gedanke des integralen Ansatzes muss wieder neu belebt werden. Das ist nicht neu, aber gerät doch im Alltagsgeschäft leicht in den Hintergrund. Nicht nur bei Neuplanungen, sondern auch bei größeren Unterhaltungsmaßnahmen ist kritisch zu hinterfragen, wie sich die Gesamtsituation eines Wildbacheinzugsgebietes darstellt oder ggf. verändert hat und welche Maßnahmen wirklich nötig sind, um den erforderlichen Schutzgrad sicherzustellen..
- Der Umgang mit Vertrauensbereichen muss in die Praxis vermittelt werden. Damit ist gemeint, dass man Ergebnisse aus verschiedenen Methoden kritisch hinterfragt und sich über die unvermeidlichen Unsicherheiten der Ergebnisse im Klaren ist.
- Als logische Konsequenz folgt daraus die notwendige Betrachtung des Überlastfalles. Also was passiert, wenn das festgelegte Bemessungsereignis überschritten wird? Oder mit anderen Worten, wie hoch ist das unvermeidliche Restrisiko und ist dieses akzeptabel?
- Damit kommt man schließlich in den Risikodialog mit den Betroffenen, die ja letztlich mit dem Restrisiko leben müssen.

Auf den ersten Blick erfordern die genannten Aspekte natürlich auch einen höheren zeitlichen und z.T. auch finanziellen Aufwand. Das ist gerade heute in der allgemein recht angespannten personellen und finanziellen Situation vielleicht nicht immer ganz einfach. Aber im Hinblick auf die Entwicklung nachhaltiger und gleichzeitig auch wirtschaftlicher Lösungsansätze wird kein Weg an dieser Vorgehensweise vorbei führen.

LITERATUR

- Bartels H., Dietzer B., Malitz G., Albrecht F. M., Guttenberger J. (2005). Starkniederschlagshöhen für Deutschland, KOSTRA-DWD-2000 – Fortschreibungsbericht. Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie, Offenbach
- Gertsch E. (2009). Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Großereignissen, Dissertation. Geografisches Institut der Universität Bern
- Habersack H. et al. (2010). Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Feststofftransport und Gewässermorphologie. Veröffentlichung Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV)
- Schwaller G. (1998). Kriterienkatalog zum Einsatz hydraulischer Abflussmodelle. Bayer. Landesamt für Umwelt (unveröffentlicht)
- Spreafico M., Weingartner R., Barben M., Ryser A. (2003). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten (Berichte BWG Nr. 4)
- Wundt W. (1953). Gewässerkunde. Springer Verlag, Berlin, 1953

A DECISION THEORETICAL APPROACH TO IDENTIFY OPTIMAL RISK MITIGATION STRATEGIES

Bruno Mazzorana¹, Sven Fuchs² and Margreth Keiler³

ABSTRACT

Communities living in mountain areas are increasingly affected by considerable damage to infrastructure and property as a consequence of flood impacts. The conception of effective flood risk mitigation strategies and their subsequent implementation is therefore essential for a continuing sustainable development in mountain areas. Effective flood risk mitigation strategies can be assessed by their expected utility, which allows the selection of optimal management strategies from a normative point of view. The objective of this paper is to present the underlying procedure, and to derive formal expressions to measure risk mitigation performance starting from the basic theorem of rational choice under risk. Moreover, an overview of existing economic valuation approaches to attach monetary values to the elements at risk is provided.

Keywords: Natural hazards, flood, flood risk management, expected utility

INTRODUCTION

Taking into account that the international community as a whole is affected by considerable damage to infrastructure and property as well as loss of lives, the United Nations General Assembly designated the 1990s as the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR, United Nations General Assembly, 1989). Within the associated international framework of action, the objective of this decade was to promote concerted action in order to reduce loss of life, property damage and economic disruption caused by natural hazards, not only with a particular focus on developing countries, but also with respect to most developed countries. Based on this framework, which was continued by the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, United Nations General Assembly, 2000) additional emphasis was put on the necessity to consider the processes involving the physical and socio-economic dimensions of vulnerability and risk.

In coherence with these initiatives on a global level, the European Commission issued the Directive on the Assessment and Management of Flood Risk (Commission of the European Communities, 2007) as one of three components of the overarching European Action Programme on Flood Risk Management. In this Directive, the Member Countries of the European Union should provide flood risk maps on a local scale until the end of 2013, and subsequently flood risk management plans focusing on the reduction of potential adverse consequences of flooding for human health, the environment, cultural heritage and economic activity. Moreover, due to the overall scarceness of public funds, flood risk mitigation strategies should be anchored to economic criteria in order to fulfil the requirements of cost-benefit analyses (Weck-Hannemann, 2006; Perman et al., 2011). As such, in several Alpine countries efforts have been undertaken to link decisions on the implementation of flood risk mitigation strategies to methods of cost-benefit analyses (Haering et al., 2002; BMLFUW, 2005). However, risk management strategies, and in particular the need to improve cost-efficiency if measures are planned, are subject to a bundle of uncertainties; above all with respect to (1) the stochastic nature of the modelling of hazardous processes, and (2) the systems' response in terms of

¹ Dr. Bruno Mazzorana. Department of Hydraulic Engineering, Autonomous Province of Bozen-Bolzano, Bolzano, Italy (e-mail: bruno.mazzorana@provincia.bz.it)

² Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria (e-mail: sven.fuchs@boku.ac.at)

³ Dr. Margreth Keiler. Institute of Geography, University of Bern, Switzerland (e-mail: margreth.keiler@giub.unibe.ch)

vulnerability and risk reduction (Fuchs, 2009). Additionally, (3) the estimation of the expected utility in terms of economic benefits remains crucial, since the decision makers' risk attitude is an essential element of a comprehensive planning process targeted at making explicit the factors which determine the selection of optimal risk mitigation strategies (Kruschwitz, 2008).

Based on these requirements, in this paper, we contribute to a formalised method to assess (1) the risk mitigation performance of intended mitigation strategies on a monetary basis (e.g. in terms of annual risk reduction); (2) the cost-plan for a variety of possible risk mitigation strategies, which is considered from a life-cycle perspective, and (3) the expected utility associated with each mitigation strategy. The latter is of particular importance in order to select a mitigation concept which is in line with the preference structure of the public decision maker (who, in turn, usually provides the funds necessary for the targeted mitigation alternative). This relies on the assumption that any public decision maker acts risk-averse but with an objective evaluation matrix in order to spend public money economically efficient (Fuchs and McAlpin, 2005). Subsequently, we outline from a methodological point of view the procedures necessary in order to provide a road map for an achievement of these aims. Considering the peculiarities of decisions on public investments targeted at the mitigation of natural hazard risk, the required analytic efforts need to be structured and balanced (Fig. 1). In particular long-term capital commitments necessary for mitigation expenses, and the induced interdependencies between these commitments and other important economic activities in mountain regions (e.g., tourism and trading), require such a concerted action.

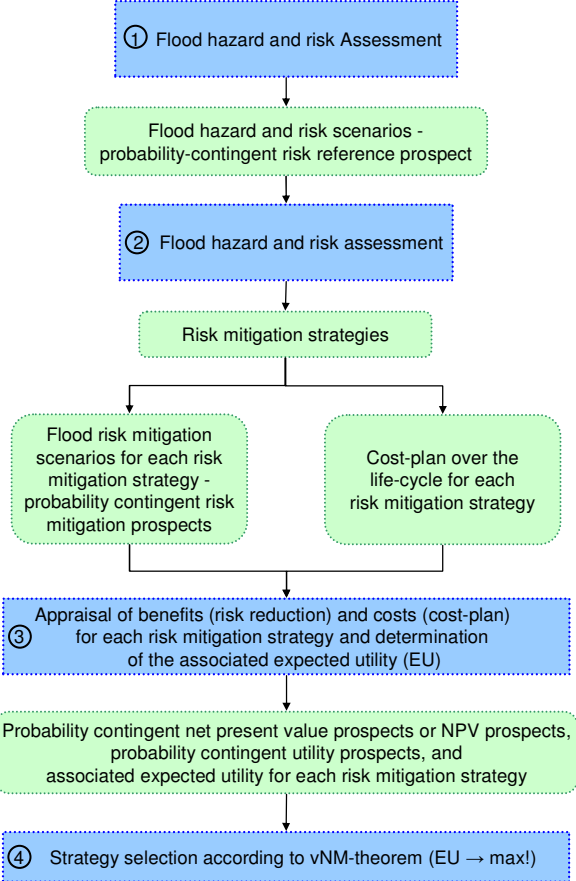


Fig. 1 Procedural roadmap for a comprehensive risk mitigation approach based on the concept of expected utility (EU).

With reference to Fig. 1, the first step (sub-procedure 1) of the proposed procedural roadmap consists of determining consistent flood hazard and risk scenarios. The specific aims include a spatially explicit representation of frequency and magnitude (intensity) for each of the underlying flood hazard scenarios, and a quantification of the associated consequences in terms of risk. The main result is the so-called risk reference prospect, which serves as a basis for performance comparison of possible risk

mitigation options. In this paper, emphasis is put on the computational aspects of risk whereas the peculiarities related to the determination of the underlying flood hazard scenarios are discussed in more detail elsewhere (Mazzorana et al., 2011).

The second step (sub-procedure 2) entails the generation of risk mitigation strategies targeted at maximising the reduction of flood risk in accordance to the system. From a methodological perspective, substantial effort has been undertaken to systematise the design of risk mitigation strategies and to formulate heuristics for the practitioners (compare for an overview Mazzorana and Fuchs, 2010). For each planned risk mitigation strategy, the system under consideration has to be re-analysed from a flood hazard and risk assessment perspective. Thus, the analytic steps of sub-procedure 1 have to be repeated in order to explicitly modify the systems' behaviour either concerning flood hazard process unfolding or concerning the determination of expected consequences on vulnerability and elements at risk exposed.

An essential requisite for the economic assessment of risk mitigation strategies (sub-procedure 3) is the assessment of the benefit and cost flows over the life-cycle of the planned mitigation strategy. Concerning the benefits, in this paper, we limit our discussion to the annual flood risk reduction with respect to the risk reference prospect for property, infrastructure and human lives. At this stage, a probability contingent net present value (NPV) prospect can be determined for each strategy.

The range of NPVs obtainable by the entire set of mitigation strategies can be transformed into corresponding utility values reflecting the decision makers' attitude. This attitude is influenced by a certain degree of risk aversion, but also by other factors such as the distribution of properties and real estates (more general, by so-called endowment effects). As such, the NPVs are transferred into corresponding utility values according to expected utility theory (compare Eisenführ et al., 2010; Wakker, 2010). At this stage, probability-contingent utility prospects can be derived for each individual mitigation strategy.

The optimal flood risk mitigation strategy is finally selected according to the von Neumann-Morgenstern's Theorem (von Neumann and Morgenstern, 1953; Kreps, 1988) as the strategy which maximises the expected utility (EU). The theoretical underpinnings of EU Theory are introduced in the following section. Then, in a subsequent section, the core concept of risk prospect, used to determine the risk mitigation performance of the available risk mitigation strategies, is explained. Moreover, an overview of existing valuation methods to determine the economic value of elements at risk is provided. Finally, the description of recently developed approaches for the quantification of vulnerability is provided, which links the intensity of the process to the relative extent of the losses for each element at risk.

EXPECTED UTILITY THEORY: A CONCISE EXPOSITION

Following the procedure outlined by Wakker (2010), firstly, we outline the essential structural assumptions for decision under uncertainty and risk, respectively. Subsequently, we introduce expected utility (EU) and provide the basic theorem for rational choice under risk.

Structural Assumption 1 [decision under uncertainty]: S is a, finite or infinite, state space, and \tilde{R} is the outcome set. Prospects map states into outcomes, taking only a finite set of values. The domain of preference is the set of all prospects, i.e., of all such maps; \geq is a preference relation in the set of prospects; and non-degeneracy holds.

Structural Assumption 2 [decision under risk]: \geq is a preference relation over all (probability contingent) prospects, i.e., over all finite probability distributions over the outcome set \tilde{R} .

Definition 1: Under structural assumption 2; expected utility (EU) holds if there exists a strictly increasing utility function (U) from the outcome set \tilde{R} to the real numbers \hat{R} , such that the next evaluation represents preferences: $(p_1 x_1, \dots, p_m x_m) \rightarrow p_1 U(x_1) + \dots + p_m U(x_m)$.

Endorsed with these structural assumptions and the EU definition we state the following theorem:

Theorem [EU for risk]. Under structural assumption 2, the following two statements are equivalent:

(i) Expected Utility holds

(ii) \geq satisfies: weak ordering, standard gamble solvability, dominance and consistency.

A formal proof of this theorem can be found in Gilboa (2009). The conditions listed above to be satisfied by the preference relation are explained in Wakker (2010) and can be intuitively understood

as precise consistency requirements for the decision maker. We introduce now a general method for the measurement of utility, enabling the decision maker to express, for example, NPVs in terms of perceived utility.

In general, assume two fixed outcomes, $Max > Min$, and assume that we have normalised utility, $U(Min)=0$ and $U(Max)=1$. For each outcome α , such that $Max \geq \alpha \geq Min$, we can elicit the standard gamble (SG) probability with respect to Min and Max , being the probability p such that the equivalence in Figure 2 holds.

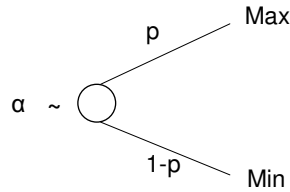


Fig. 2 The SG probability P of α .

Applying EU gives the SG equation, $U(\alpha) = pU(Max) + (1-p)U(Min) = p$. Expressed another way, $U(\alpha)$ is the SG probability p . The probability-contingent risk prospect is a core concept necessary for the procedural workflow outlined in Figure 1, and is, formally introduced in the subsequent section.

RISK PROSPECTS

According to the conceptualisation of natural hazard risk (Fuchs, 2009; Mazzorana and Fuchs, 2010), risk for objects exposed to the impacts of flood hazard processes (e.g. debris flows) is quantified on an annual basis as follows:

$$R = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot \sum_{h=1}^{h=H} \left\{ p_{E_h} \cdot \sum_{i=1}^{i=N} \left[ED_{i,j,h} \left(I_{F_j} \left(\bar{x}_{i,h} \right), s \right) \right] \right\} \quad (1)$$

In equation (1) R is the annual risk in terms of expected losses for the elements at risk ($i=1, \dots, N$) induced by the flood hazard scenarios ($j=1, \dots, M$) under the assumed exposure configurations ($h=1, \dots, H$).

The probability associated to a specific flood scenario is denoted by p_{F_j} and the probability of a given exposure configuration, namely a defined set of locations – $\bar{x}_{i,h} \forall i$ – of the considered elements at risk, is denoted by p_{E_h} . $ED_{i,j,h} \left(I_{F_j} \left(\bar{x}_{i,h} \right), s \right)$ is the expected damage (or loss) to an element at risk, given a process intensity I_{F_j} in $\bar{x}_{i,h}$ resulting from the considered flood hazard scenario. In the adopted static notion of risk (for a theoretical treatment of dynamic risk, compare Mazzorana et al., 2012), I_{F_j} corresponds to the maximum intensity in terms of flow depths or flow velocities. Finally, s is a Boolean variable aiming at identifying situations where mobile objects are sheltered by enveloping objects (e.g., people within buildings, cars in vehicle halls).

Particular attention has to be given to accurately identify the probability p_{F_j} to be associated to each flood scenario. It is assumed that a statistical analysis of extreme events delivered a probability distribution fitted to the available annual discharge maxima at a relevant flow section. In this case for each recurrence interval, RI_{F_j} , or each non-exceedance probability \bar{p}_{F_j} (or exceedance probability as its complement to 1), the corresponding peak discharge value Q_{F_j} is known. p_{F_j} is calculated as

$$p_{F_j} = \frac{(\bar{p}_{F_{j+1}} - \bar{p}_{F_{j-1}})}{2}, \quad 1 < j < M, \quad \text{and} \quad p_{F_M} = (1 - \bar{p}_{F_M}) + (\bar{p}_{F_M} - \bar{p}_{F_{M-1}}) / 2 \quad \text{and}$$

$$p_{F_1} = (\bar{p}_{F_1}) + (\bar{p}_{F_2} - \bar{p}_{F_1}) / 2.$$

Formally, from an ex-post perspective, the height of loss for a given object impacted by a flood event can be assumed to be equal to the depreciated value of the part of the object to be reinstated, hence:

$$D_i = C_i \delta_i - RV_i - SE_i \quad (2)$$

where: D_i is the monetary value of the losses attributable to flood impacts; C_i are the reinstatement costs, namely the costs to substitute the damaged parts of the object by the corresponding new components; δ_i is a depreciation coefficient reflecting the depreciation of the object (compare Gallerani et al., 2011); RV_i is the residual value of the damaged portion; SE_i are the post-event expenditures for damage reduction.

To perform an ex-ante estimation of the expected damage – $ED_{i,j,h}$ – we re-write the last equation, introducing proper vulnerability functions, $v_{i,j,h} = v_i(I_{F_j}(\bar{x}_{i,h}), s)$, reflecting for a given intensity – I_{F_j} – of the considered flood hazard scenario (at the location of the object) the ratio between C_i and the new construction costs of the entire object NV_i . Due to the ex-ante perspective the expected values of RV_i and SE_i will be neglected and the expected damage – $ED_{i,j,h}$ – can be expressed as:

$$ED_{i,j,h} = v_i(I_{F_j}(\bar{x}_{i,h}), s) \cdot NV_i \cdot \delta_i \quad (3)$$

Now equation (1) can be rewritten as:

$$R = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot \sum_{h=1}^{h=H} \left\{ p_{E_h} \cdot \sum_{i=1}^{i=N} \left[v_i(I_{F_j}(\bar{x}_{i,h}), s) \cdot NV_i \cdot \delta_i \right] \right\} \quad (4)$$

Equation (4) can conveniently be represented as a probability-contingent risk prospect – RP – (Table 1).

Tab. 1 Probability-contingent risk prospect – RP .

$s_1 \rightarrow p_{F_1}$			..	$s_j \rightarrow p_{F_j}$			..	$s_M \rightarrow p_{F_M}$		
$p_{F_1} p_{E_1}$	$p_{F_1} p_{E_h}$	$p_{F_1} p_{E_H}$		$p_{F_j} p_{E_1}$	$p_{F_j} p_{E_h}$	$p_{F_j} p_{E_H}$		$p_{F_M} p_{E_1}$	$p_{F_M} p_{E_h}$	$p_{F_M} p_{E_H}$
$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,1,1}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,1,h}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,1,H}$	..	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,j,1}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,j,h}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,j,H}$	..	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,M,1}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,M,h}$	$\sum_{i=1}^{i=N} ED_{i,M,H}$
$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^N ED_{i,1,h} = R_{s_1}$			..	$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^N ED_{i,j,h} = R_{s_j}$			..	$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^N ED_{i,M,h} = R_{s_M}$		

For convenience we denote the probability-contingent risk reference prospect with RP^R and the risk prospects corresponding to the, $z = 1, \dots, Z$, risk management strategies with RP^z .

Throughout, we assume that the decision maker does not have any influence on the truth of the events (Machina, 1987). However, as outlined in Gilboa (2009), the distinction between acts over which the decision maker has control and states over which the decision maker has no control is one of the pillars of rational choice. Hence, we assume that the flood hazard scenarios (with their associated probabilities) are the only relevant states to be considered. Mazzorana et al. (in press) introduce the distinction between a process loading and process response system according to the principle of rational choice, thus, hazard processes unfolding in the loading system characterise the state space.

The probability-contingent risk mitigation prospect, $\Delta RP^{Rz} = RP^R - RP^z$, is shown in Table 2.

Tab. 2 Probability-contingent risk mitigation prospect, $\Delta RP^{Rz} = RP^R - RP^z$, of the strategy z . The superscripts R and z are related to the risk reference prospect, RP^R , and the risk prospect corresponding to the strategy z , respectively.

$s_1 \rightarrow p_{F_1}$	...	$s_j \rightarrow p_{F_j}$	...	$s_M \rightarrow p_{F_M}$
$\Delta RP_{s_1}^{Rz} = RP_{s_1}^R - RP_{s_1}^z$	...	$\Delta RP_{s_j}^{Rz} = RP_{s_j}^R - RP_{s_j}^z$	...	$\Delta RP_{s_M}^{Rz} = RP_{s_M}^R - RP_{s_M}^z$

In Table 2 the results achievable by strategy z with respect to the risk reference prospect for all states of the state space, $s \in S$, are outlined. Expressed in another way, Table 2 represents a finite probability distribution over the outcome set \tilde{R} , namely the annual risk reduction, which corresponds to the benefits associated with the implementation of strategy z .

The implementation of such a strategy z includes a series of costs over the planned life cycle. For analytic purposes it is convenient to specify the expenditure flows $-C(LC)_t^z$ over the life cycle duration T in form of a cost plan. According to the workflow presented in Figure 1 we build the probability-contingent net present value $-NPV-$ prospect (compare Table 3) for all strategies, $z = 1, \dots, Z$, following the general principles of project appraisal (compare Perman et al. 2011).

Tab. 3 Probability-contingent NPV prospects and their expected values $-EVs-$ for all strategies, $z = 1, \dots, Z$.

N	$s_1 \rightarrow p_{F_1} \dots$	$s_j \rightarrow p_{F_j} \dots$	$s_M \rightarrow p_{F_M}$	EV^{Rz}
1	$NPV_{s_1}^{R1} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_1}^{R1} - C(LC)_t^1}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_j}^{R1} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_j}^{R1} - C(LC)_t^1}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_M}^{R1} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_M}^{R1} - C(LC)_t^1}{(1+r)^t}$	$EV^{R1} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot NPV_{s_j}^{R1}$
...
Z	$NPV_{s_1}^{Rz} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_1}^{Rz} - C(LC)_t^z}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_j}^{Rz} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_j}^{Rz} - C(LC)_t^z}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_M}^{Rz} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_M}^{Rz} - C(LC)_t^z}{(1+r)^t}$	$EV^{Rz} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot NPV_{s_j}^{Rz}$
...
Z	$NPV_{s_1}^{RZ} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_1}^{RZ} - C(LC)_t^Z}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_j}^{RZ} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_j}^{RZ} - C(LC)_t^Z}{(1+r)^t}$	$NPV_{s_M}^{RZ} = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{\Delta R_{s_M}^{RZ} - C(LC)_t^Z}{(1+r)^t}$	$EV^{RZ} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot NPV_{s_j}^{RZ}$

For a risk-neutral decision maker it would be important to select the optimal flood risk mitigation strategy on the basis of Tab. 3. As such, the expected values $-EVs-$ of the probability-contingent NPV prospects accurately represent the preferences of the decision maker, hence, the strategy with the highest EV should be selected from a normative point of view. However, in case that a decision maker does not act according to these premises, and therefore acts risk-averse, we will explicitly make use of the theorem [EU for risk], introduced above along with the key concepts of expected utility theory. The entire outcome set, namely the set of all probability-contingent $NPV_{s_j}^{Rz}$, $\forall j, z$, is assumed to be known.

We introduce the following conventions:

1. $NPV_{s_j}^{Rz} = 0 \rightarrow U(NPV_{s_j}^{Rz}) = U_{s_j}^{Rz} = 0$
2. $NPV_{s_j}^{Rz} = \text{Max} \rightarrow U(NPV_{s_j}^{Rz}) = U_{s_j}^{Rz} = 1$

We assume, moreover, for a negative $NPV_{s_j}^{Rz}$ the corresponding disutility is determined by inverting the sign of the utility of $|NPV_{s_j}^{Rz}|$. Endorsed with this setting we construct the positive part of the utility function, whereas the negative part is obtained by point reflection. Eliciting the standard gamble (SG) probability $p_{NPV_{s_j}^{Rz}}$ with respect to $NPV_{s_j}^{Rz} = 0$ and $NPV_{s_j}^{Rz} = \text{Max}$ of all positive probability-contingent $NPV_{s_j}^{Rz}$ of Tab. 3, we obtain the corresponding utilities as $U_{s_j}^{Rz} = p_{NPV_{s_j}^{Rz}}$.

Endowed with these nodes the positive part of the utility function is constructed by piecewise linear

interpolation between the nodes. At this stage Tab. 3 can be rewritten by substituting the $NPV_{s_j}^{Rz}$ by the corresponding $U_{s_j}^{Rz}$ (compare Table 4).

Tab. 4 Probability-contingent utility – U – prospects and their expected utilities – EUs – for all strategies, $z = 1, \dots, Z$.

Nr	$s_1 \rightarrow p_{F_1}$	..	$s_j \rightarrow p_{F_j}$	...	$s_M \rightarrow p_{F_M}$	EU^{Rz}
1	$U_{s_1}^{R1}$		$U_{s_j}^{R1}$		$U_{s_M}^{R1}$	$EU^{R1} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot U_{s_j}^{R1}$
...
z	$U_{s_1}^{Rz}$		$U_{s_j}^{Rz}$		$U_{s_M}^{Rz}$	$EU^{Rz} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot U_{s_j}^{Rz}$
...
Z	$U_{s_1}^{RZ}$		$U_{s_j}^{RZ}$		$U_{s_M}^{RZ}$	$EU^{RZ} = \sum_{j=1}^{j=M} p_{F_j} \cdot U_{s_j}^{RZ}$

As a consequence of the theorem [EU for risk], from a normative point of view the rational choice is the selection of the risk mitigation strategy which maximises expected utility – EU^{Rz} .

ECONOMIC VALUATION OF ELEMENTS AT RISK

In the adopted conceptualisation of flood hazard risk (compare equations 1 and 4) the expected losses are expressed monetarily, which entails an economic valuation. Flood damages can be classified into direct and indirect losses. While the former occur due to the physical contact (impact) of flood water with properties, people at risk, or any other object (Merz et al., 2010), the latter – although triggered by the direct impacts – are not spatially restricted to the flooded areas. Furthermore, indirect losses may extend well beyond the duration of the flood event. Depending on whether or not flood losses can be assessed in monetary values, a further distinction into tangible and intangible damages seems appropriate (Parker et al., 1987; Smith et al., 1998). More precisely, tangible damage is damage to capital stocks or resource flows which can be specified in monetary terms, whereas intangible damage is damage to assets which are not traded in a market and are therefore difficult to transfer into monetary values (Fuchs et al. 2007a). Although the terminology of this classification is commonplace, interpretations and delineations differ. Different valuation principles are employed to attach values to distinct object categories (Drees and Paul, 2011, Perman et al., 2011).

In order to provide the optimal supply of protection against flood hazards, the public sector will need, among other information, evaluation of costs and benefits (Fuchs and McAlpin, 2005). Costs are evaluated in terms of the present value of the previous investment so that the opportunity costs can be compared to the utility that would have resulted from an alternative appropriation of the resources. Here, we put the distinction between tangibles and intangibles into a dynamic perspective. Environmental valuation is a rapidly expanding field. Refined valuation techniques, based on first principles such as willingness to pay (WTP) or willingness to accept (WTA) are in perpetual development. An ever widening spectrum of non-market commodities and services are made accessible to economic valuation (Pommerehne et al., 1992; Perman et al., 2011). Different valuation principles are employed to attach values to distinct object categories (Fuchs, 2009; Gallerani et al., 2011). Operationally we distinguish between object categories valued through economic approaches using market values (e.g., reinstatement value for structures) and the category of statistical life – SL – of people at risk, where contingent valuation (CV) methods are applied (Viscusi, 2008). With reference to the former we introduce a general scheme to structurally dissect complex objects and make them accessible to economic valuation in risk assessment, while the latter is treated separately.

Hence, in dissecting a complex object (e.g., a production plant) we distinguish between:

1. vertically extending fixed structures (e.g., walls of the buildings) impacted directly by the flood process;

2. particular superstructures (e.g., roofs, decks) impacted rarely and therefore indirectly by the flood process; and
3. installations and/or mobile objects (e.g., machines and cars) impacted directly by the flood process.

For completeness two supplementary categories are introduced that are affected by flooding as well as sediment and wood deposition processes:

4. surfaces (areas) for different land use purposes (e.g., agricultural land, but also parking lots and roads); and
5. biotic systems (e.g. wood, but also orchards).

The direct economic reference for a valuation of object parts belonging to the categories (1) and (2) is the determination of the reinstatement value. As suggested by Gallerani et al. (2011), the reinstatement value can be calculated as construction value – NV – by:

$$NV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} \cdot p_i \quad (5)$$

where NV is the reinstatement value of the considered object; q_{ij} is the required quantity of input j to perform the construction workflow unit i; and p_i is the unitary price of the construction workflow unit i.

For the category (3) the estimation of the market value – MV – of the components of equipment is calculated as follows:

$$MV = C_h \cdot \left(1 + \frac{M}{100}\right) \cdot \frac{D_r}{D} \quad (6)$$

Where MV is the most probable market value of the considered equipment component; C_h is the purchase prize; M is the cost increment from the year of purchase to the year of valuation; D_r is the residual economic life (in years); and D is the economic life span (in years);

For category (4) it is relevant to determine the costs of clearing-up operations and the necessary reinstatements to re-establish the original functionality.

In case of object category (5) the economic valuation is carried out by determining the capital value of the considered biotic system through suitable capitalisation formulas.

The economic valuation of the category statistical life – SL – needs a separate consideration. In fact the estimation of the value of a statistical life as a typical non-market value is defined as the rate at which people are willing to exchange income for the reduction in mortality risk. It is calculated by dividing the annual mean or median willingness to pay – WTP – through the corresponding risk variation. Several studies aiming at determining the VSL have been conducted in different contexts (Viscusi and Aldy, 2003), such as snow avalanches, where the influence of implicit information associated with the occurrence of avalanches on WTP-values for risk prevention was quantified with a range between € 1.8 and 5.2 million (Leitner and Pruckner, 2005). These results are consistent with other studies (e.g. Alberini et al., 2005).

VULNERABILITY OF ELEMENTS AT RISK

The shift from hazard to risk obviously requires a completely different approach with respect to necessary management issues (Fuchs, 2009). Despite the comprehensive experiences that have been made by applying the concept of risk to mountain hazard management, in particular in Switzerland (Kienholz 1994; Hollenstein 1995; Heinimann 1998; Kienholz et al. 2004), considerable questions with respect to the methods developed for an operational implementation of the concept of vulnerability still remain open (Fuchs et al., 2012).

The assessment of vulnerability requires an ability to both identify and understand the susceptibility of elements at risk and – in a broader sense – of the society to these hazards (Fuchs, 2009). Studies related to vulnerability of human and natural systems to mountain hazards, and of the ability of these systems to adapt to changes in the functional chain of hazards, are a relatively recent field of research that brings together experts from a wide range of disciplines, including natural science, social science, disaster management, policy development and economics, to name only a few. Researchers from these fields bring their own conceptual models to study vulnerability and adaptation, models which often address similar problems and processes using different languages (Brooks, 2003). However, apart from the overall discussion on linguistic placements and semantic dimensions of the term (Cutter, 1996; 2003), vulnerability in the context of flood hazards in European mountain regions is, from a practitioner's side such as the Austrian Torrent and Avalanche Control Service, usually defined as the physical impact of hazardous events on elements at risk. Accordingly, if quantitatively assessed, vulnerability is defined as the expected degree of loss for an element at risk due to the impact of a defined hazardous event within a defined period of time and a defined location. These events are themselves conditioned by a certain intensity, frequency and duration, all of which affect vulnerability. From this technical point of view, as a general rule, vulnerability assessment is based on the evaluation of parameters and factors such as building categories or types, construction materials and techniques, state of maintenance, presence of protection structures, and presence of warning systems (Fell et al., 2008). For this reason, vulnerability values describe the susceptibility of elements at risk to damage, facing different process types with different spatial and temporal distributions of process intensities (e.g., flow depths, accumulation heights, flow velocities and pressures).

The review of the concept of risk for Alpine countries resulted in gaps concerning appropriate tools for the assessment of vulnerability of elements at risk and of communities exposed. To overcome these shortcomings, studies on vulnerability have been undertaken aiming at (1) the methodological development of loss functions with respect to buildings located in the run-out areas of torrent processes (Fuchs et al., 2007b) and with respect to fluvial sediment transport (Totschnig et al., 2011); and (2) the conceptualisation of an overarching vulnerability model including structural, economic, social and institutional vulnerability (Fuchs, 2009) as well as the spatial characteristics of vulnerability (Fuchs et al., 2012).

In general, the damage ratio is quantified using an economic approach by establishing a ratio between the loss and the reconstruction value of every individual element at risk exposed (Fuchs et al., 2007b). In a second set of calculations, this ratio obtained for every individual element at risk is attributed to the respective process intensities. The relation between damage ratio and process intensity is defined as vulnerability. Therefore, information on the elements at risk exposed on the individual torrent fans is necessary, as well as data on the process intensities of the particular hazardous events. As a result, scatterplots can be developed linking process intensities to object vulnerability values. These data are further analysed using regression approaches in order to develop vulnerability functions which serve as a proxy for the structural resistance of buildings with respect to flood processes on torrent fans (Fuchs et al., 2007b; Totschnig and Fuchs, 2012).

Hence, the assessment of physical vulnerability is an essential requirement to quantify the expected damage in monetary terms. Functional vulnerability approaches have been proposed only for a limited number of object categories (e.g. residential buildings), however, in particular vulnerability functions for buildings impacted by debris flows (Fuchs et al., 2007b) and fluvial sediment transport are limited (Totschnig et al. 2011). According to the debris flow hazards, the relationship between debris flow intensity in terms of deposit heights, $I_{DF}(\bar{x}_i) \equiv h_d(\bar{x}_i)$, at the location of the object, \bar{x}_i , and

vulnerability, $v_i = v_i(h_d(\bar{x}_i))$, was found to fit best to the data by a second-order polynomial function for all intensities $h_d(\bar{x}_i) \leq 2.5\text{m}$, namely:

$$v_i = v_i(h_d(\bar{x}_i)) = 0.11 \cdot h_d^2(\bar{x}_i) - 0.01 \cdot h_d(\bar{x}_i)$$

According to the fluvial sediment transport phenomena, the best-fitting function was expressed as

$$v_i = v_i(I_{RST}(\bar{x}_i)) = e^{-0.466 \left(\frac{\tan\left(\frac{I_{RST}(\bar{x}_i)\pi}{2}\right) + 0.395}{0.395} - 1 \right)^{-2.091}}$$

where $I_{RST}(\bar{x}_i)$ is the relative intensity of the fluvial sediment transport process at the location of the object, \bar{x}_i , expressed as ratio between the deposit height $h_d(\bar{x}_i)$ and the height of the considered building H_i .

DISCUSSION AND OUTLOOK

In this paper we presented a computational framework for the economic assessment of flood risk mitigation strategies pillared on the expected utility theory. In a first step methods for the quantification of flood risk were discussed. Subsequently, related concepts of probability-contingent risk reference prospects and the risk mitigation prospect of potential mitigation strategies were introduced. In parallel, the necessity to specify the cost plan for each mitigation option was highlighted. By a monetary quantification of the expected benefits, expressed in terms of annual risk reduction, and of the incurring associated costs, formal representations of the corresponding probability-contingent net present value – NPV – prospects were derived. For a risk-neutral decision maker, the calculation of the expected value – EV – of these prospects is sufficient to select an optimal mitigation strategy. To overcome the constraint of a decision maker with a possibly different risk attitude, and to establish a normative basis for rational decision making, elements of the expected utility theory were introduced. Successively the previously determined formal representations of – NPV – prospects were converted into the corresponding utility – U – prospects. Recalling the essence of the vNM-Theorem [EU for risk], the rational choice is given by the selection of this risk mitigation strategy which maximises expected utility – EU. In this paper we addressed two supplementary topics, which are closely related to the overarching umbrella of risk assessment, (1) the economic valuation of the objects at risk and (2) the assessment of their vulnerability. Contextually, we presented respective quantification approaches and identified research gaps to be closed in the near future.

The conceptual structure for a risk-based project assessment presented in this paper allows to incorporate further aspects from the field of risk analyses or the field of rational decision making, such as dynamic risk analyses (i.e. tracking the vulnerability of the endangered objects throughout the duration of the flood event). The theoretical setup provided in this paper is valid for the determination of each available flood risk mitigation strategy, and of the corresponding expected utility with known probabilities of the underlying flood hazard events. This is, strictly speaking, the special case of a more general problem of determining the expected utility with both, unknown probabilities and unknown utilities. The treatment of this task becomes relevant in the context of imperfect information, and requires the adoption of the Subjective Expected Utility Theory (compare Savage, 1954; Wakker, 2010).

REFERENCES

Alberini A., Cropper M., Krupnick A., Simon N.B. (2004). Does the value of a statistical life vary with age and health status? Evidence from the US and Canada. *Journal of Environmental Economics and Management* 48: 769-792.

- BMLFUW (2005). Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinerverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Brooks N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38: 1-16.
- Commission of the European Communities. (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- Cutter S., Boruff B., Shirley W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly* 84: 242-261.
- Cutter S. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20: 529-539.
- Drees G., Paul W. (2011). Kalkulation von Baupreisen. Berlin: Beuth Verlag.
- Eisenführ F., Weber M., Langer T. (2010). Rational decision making. Berlin: Springer.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102: 85-98.
- Fuchs S., Thöni M., McAlpin M.C., Gruber U., Bründl M. (2007a). Avalanche hazard mitigation strategies assessed by cost effectiveness analyses and cost benefit analyses e evidence from Davos, Switzerland. *Natural Hazards* 41: 113-129.
- Fuchs S., Heiss K., Hübl J. (2007b). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 495-506.
- Fuchs S. (2009). Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria – paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 337-352.
- Fuchs S., Ornetsmüller C., Totschnig R. (2012). Spatial scan statistics in vulnerability assessment – an application to mountain hazards. *Natural Hazards*: in press, doi: 10.1007/s11069-011-0081-5.
- Gallerani V., Viaggi D., Zanni G. (2011). *Manuale di Estimo*. Milano: McGraw-Hill.
- Gilboa I. (2009). *Theory of decision under uncertainty*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Haering B., Gsponer G., Koch P. (2002). *effor2 – Konzeptbericht. Wirkungsorientierte Subventionspolitik im Rahmen des Waldgesetzes*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Heinimann H., Hollenstein K., Kienholz H., Krummenacher B., Mani P. (1998). *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Hollenstein K. (1995). Analyse und Bewertung von Risiko und Sicherheit bei Naturgefahren. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 146: 687-700.
- Kienholz H. (1994). Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 145: 1-25.
- Kienholz H., Krummenacher B., Kipfer A., Perret S. (2004). Aspects of integral risk management in practice – Considerations with respect to mountain hazards in Switzerland. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*: 56: 43-50.
- Kerps D. (1988). *Notes on the theory of choice*. Boulder: Westview Press.
- Kruschwitz L. (2008). *Investitionsrechnung*. München: Oldenbourg.
- Leiter A., Pruckner G. (2005). Dying in an avalanche: current risks and valuation. *The University of Adelaide Working Paper 2005-16*, University of Adelaide.
- Machina M.J. (1987). Choice under uncertainty: problems solved and unsolved. *Journal of Economic Perspectives* 1: 121-154.
- Mazzorana B., Comiti F., Volcan C., Scherer C. (2011). Determining flood hazard patterns through a combined stochastic-deterministic approach. *Natural Hazards* 59: 301-316.
- Mazzorana B., Comiti F., Fuchs S. (in press, online first). A structured approach to enhance flood hazard assessment in mountain streams. *Natural Hazards*: doi:10.1007/ s11069-011-9811-y.
- Mazzorana B., Comiti F., Scherer C., Fuchs S. (2012). Developing consistent scenarios to assess flood hazards in mountain streams. *Journal of Environmental Management* 94: 112-124.
- Mazzorana B., Fuchs S. (2010). Fuzzy Formative Scenario Analysis for woody material transport related risks in mountain torrents. *Environmental Modelling & Software* 25: 1208-1224.
- Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thielen A. (2010). Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10: 1697-1724.

- Parker D.J., Green C.H., Thompson P.M. (1887). Urban flood protection benefits: A project appraisal guide. Aldershot: Gower Technical Press.
- Perman R., Ma Y., Common M., Maddison D., McGilvray J. (2011). Natural resource and environmental economics. Harlow: Addison-Wesley.
- Pommerehne W., Römer A. (1992). Ansätze zur Erfassung der Präferenzen für öffentliche Güter. Jahrbuch für Sozialwissenschaft 43: 171-210.
- Savage L. (1954). The foundations of statistics. New York: John Wiley & Sons.
- Smith K., Ward R. (1998). Floods: Physical processes and human impacts. Chichester: John Wiley & Sons.
- Totschnig R., Fuchs S. (2012). Vergleich von Vulnerabilitätskurven für Wildbachprozesse. Internationales Symposium Interpraevent – Grenoble, *this issue*.
- Totschnig R., Sedlacek W., Fuchs S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. Natural Hazards 58: 681-703.
- Viscusi W.K. and Aldy J. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. Journal of Risk and Uncertainty 27: 5-76.
- Viscusi W.K. (2008). How to value a life. Vanderbilt Law and Economics Research Paper: 08-16.
- Von Neumann J., Morgenstern O. (1953). Theory of games and economic behaviour. NJ. Princeton: Princeton University Press.
- Wakker P.P. (2010). Prospect theory. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weck-Hannemann H. (2006). Efficiency of protection measures. Ammann W., Dannenmann S., Vulliet L. (eds.): Risk21 – Coping with risks due to natural hazards in the 21st century. London: Taylor & Francis: 147-154.

A NEW VULNERABILITY FUNCTION FOR DEBRIS FLOW

THE IMPORTANCE OF PHYSICAL VULNERABILITY ASSESSMENT IN ALPINE AREAS

Maria Papathoma-Köhle¹, Reinhold Totschnig², Margreth Keiler³ and Thomas Glade⁴

ABSTRACT

Alpine hazards such as debris flows, landslides, snow avalanches and floods can cause apart from loss of life significant damage of the built environment and infrastructure. Since the possibilities for human intervention in the physical processes are limited risk reduction strategies additionally have to focus on physical vulnerability analysis, assessment and reduction of the elements at risk in order to reduce not only loss of life but also economic costs. Vulnerability assessment is a topic that is growing in importance also due to climate and environment change. Climate change influences the frequency and intensity of some events and the continuous development changes the spatial pattern of exposure and vulnerability. In this paper the growing importance of the assessment of physical vulnerability is highlighted through the introduction of a methodology to develop a vulnerability function for debris flows. The methodology is applied in South Tyrol, Italy. The final product can assist local authorities, emergency and disaster planners in decision making, cost benefit analysis of mitigation protection measures and assessment of potential costs of future events. Finally, recommendations for improved damage assessment that could enhance the quality of input data and thus the reliability of the function are made. The work presented in this paper has been carried out within the framework of an FP7 European project called MOVE (Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe).

Keywords: physical vulnerability, vulnerability functions, debris flow, damage assessment

INTRODUCTION

Alpine hazards such as debris flows, floods, snow avalanches, rock falls and landslides pose a significant threat to local communities. These natural processes can cause damage to lifelines, critical infrastructure, agricultural lands, housing, public and private infrastructure, but also loss of life. The assessment of the vulnerability of the built environment to these hazards is a topic that is growing in importance due to the impact of global change (including climate and environmental change) as well as changes of the society and the economic system. Moreover, our society and the public authorities have to meet the challenges of financial restrictions also in the field of hazard mitigation and risk reduction.

In most studies concerning physical vulnerability assessment, vulnerability is perceived as “the degree of loss to a given element, or set of elements, within the area affected by a hazard. It is expressed on a scale of 0 (no loss) to 1 (total loss)” (UNDRO 1984). However, for the authors of the present study vulnerability is considered connected to a pre-existing condition that is related to those characteristics and properties of the elements at risk that increase their susceptibility to the impact of hazards. In a wider sense, vulnerability could be defined as “the characteristics and circumstances of a community,

¹ Dr. Maria Papathoma-Köhle, Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Universitätsstrasse 7, 1010 Vienna, Austria (e-mail: maria.papathoma@univie.ac.at)

² DI. Reinhold Totschnig, MSc., Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria

³ Dr. Margreth Keiler, Institute of Geography, University of Bern, Switzerland

⁴ Prof. Thomas Glade, Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Austria

system or asset that make it susceptible to the damaging effects of a hazard” (UNISDR 2009). It is a fact that a better understanding of vulnerability will lead to more effective risk assessment, emergency management and to the development of mitigation and preparedness activities that may reduce the loss of life and economic costs following a disastrous event. Therefore, a detailed investigation on the relation of the degree of loss and the intensity of the processes as well as on the identification of factors influencing this relation is presented. In this study the importance of physical vulnerability assessment is demonstrated through a case study in South Tyrol, Italy. The results of the case study are integrated in a general framework of vulnerability assessment and will be discussed critically.

PHYSICAL VULNERABILITY ASSESSMENT FOR ALPINE HAZARDS

The majority of the studies concerning mountain hazards focus on hazard assessment, modelling, monitoring and risk management. Vulnerability assessment of alpine hazards is a relative new field of research and the number of studies focusing on vulnerability assessment for these types of hazards, is limited. In a review of existing physical vulnerability assessment methods for alpine hazards Papathoma-Köhle et al. (2011) identify the gaps and difficulties of existing vulnerability assessment methodologies and point out the future needs for vulnerability assessment to alpine hazards, which can serve as a tool for effective emergency and disaster management. In more detail, Papathoma-Köhle et al. (2011) suggest that there is (i) a lack of common language between scientists, (ii) many difficulties in the implementation of the existing methodologies (e.g. data availability, time consumption), (iii) differences between them regarding their scale, (iv) the consideration of the hazardous phenomenon and its properties, (v) the consideration of important vulnerability indicators and (vi) the use of technology such as GIS and remote sensing. The development of vulnerability functions is one of the methods that have been used in the past for some mountainous hazards such as debris flows (Fuchs et al. 2007, Akbas et al. 2009), fluvial sediment transport (Totschnig et al. 2011) and snow avalanches (Wilhelm 1997, BUWAL 1999, Keiler et al. 2006). Although the method has a number of disadvantages, it provides a very good picture of the economic loss under different scenarios (intensity and development). It can also be used as a supporting tool for cost benefit analysis of structural protection measures.

METHODOLOGY AND RESULTS FROM SOUTH TYROL

In this paper, a methodology for the development of a vulnerability function for debris flows is presented. The function can be also used for the development of vulnerability functions for other alpine hazards, provided that the required data are available. Moreover, the same methodology can be also used theoretically for different elements at risk such as agricultural areas and open spaces or infrastructure. In this study the methodology is used for debris flow events that have affected buildings. The methodological steps can be seen in Figure 1.

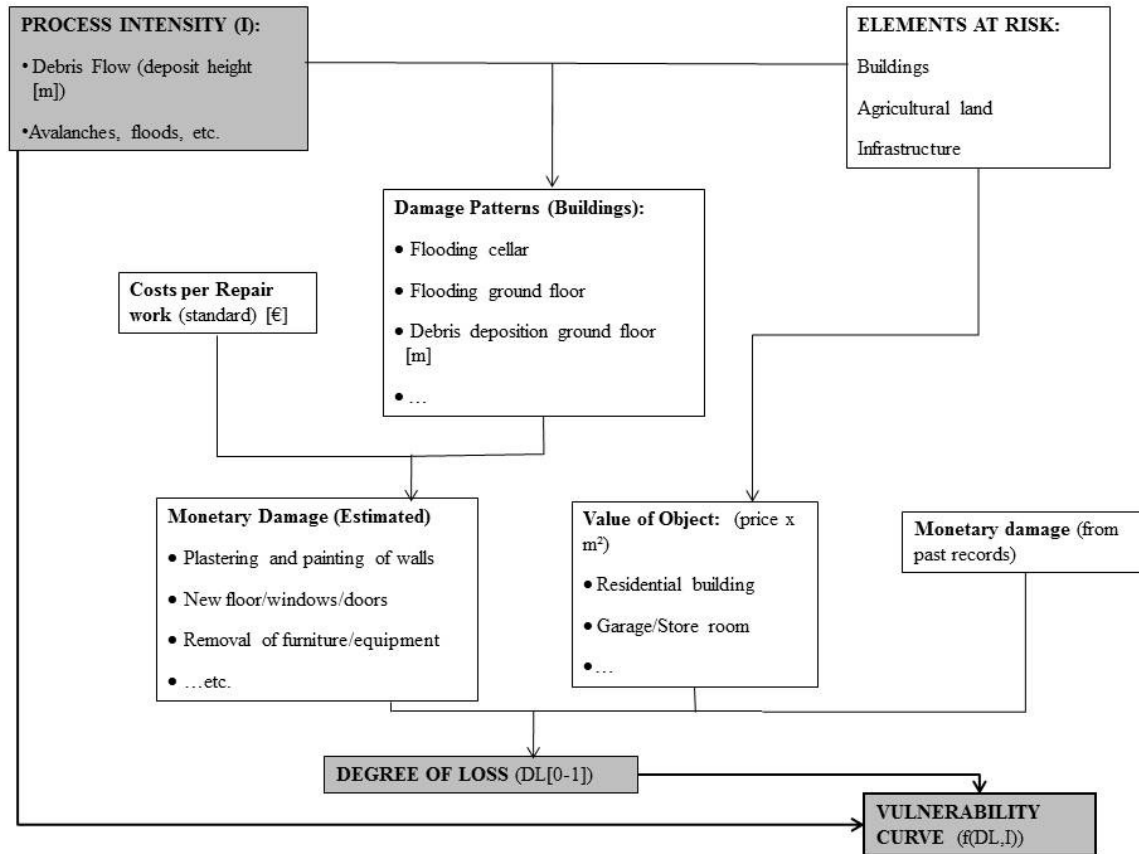


Fig.1 The methodological steps and the data required for the development of the vulnerability function. The information required for the assessment of the degree of loss (object value, monetary damage) is indicated.

The vulnerability function is a function of the **intensity of the process** and the **degree of loss**. In the absence of detailed information regarding the intensity of the process on individual buildings (e.g. debris flow height, velocity, impact pressure or time that the building remained under water and debris) and detailed damage on properties the required information had to be acquired from photographic documentation of a number of debris flow events and their consequences in South Tyrol (Figure 2). The data were made available by the Autonomous Province of Bozen/Bolzano - South Tyrol (Department 30) and the municipality of Martell (South Tyrol). The data included basic information regarding different events, photographic documentation of damaged buildings and some compensation data. Information regarding the exact damages of buildings and the intensity of the process on each building were not available. Although in the absence of detailed documentation of the damage, the photos can provide useful information regarding the intensity of the process and its consequences, there many uncertainties related to the use of photos form damage assessment. For example, the photos often show mainly external damages and not the interior of the building increasing the uncertainties of the methodology.

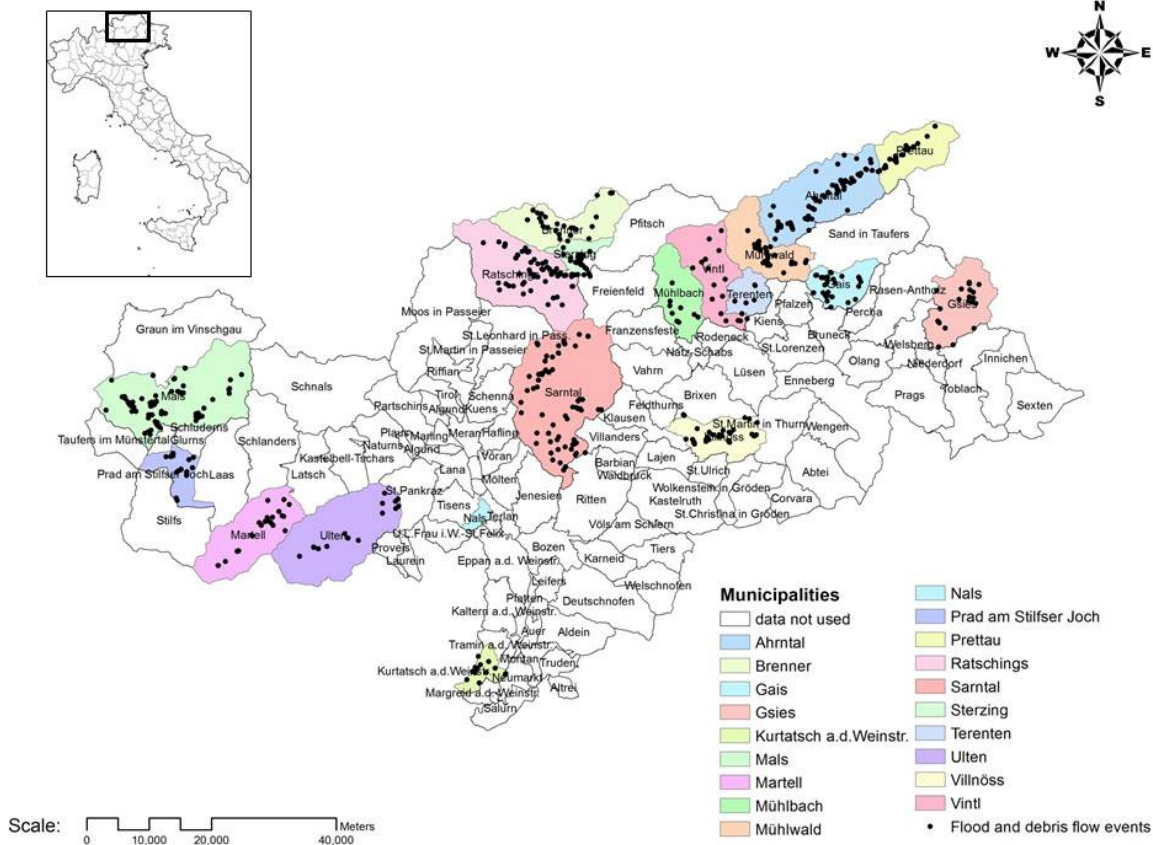


Fig.2 Location of the data (event documentation) used for the present study within the municipalities of South Tyrol (Source: Autonomous Province of Bozen/Bolzano - South Tyrol)

Some buildings that have suffered damages during different events in South Tyrol can be seen in Figure 3. Using photographic documentation it is possible:

- to assess the intensity of the debris flow on each building by estimating the height of the deposits and
- to assess the damage pattern by analyzing the process impact on the building.

The **intensity of the process** on individual buildings is expressed as deposit height. The height of the maximum debris and water flow can be assessed from the indicated marks on the building walls in relation to the building height and average height of the floors (e.g. according to Kaswalder (2009) the average height of a room in South Tyrol is 2.6m). In some cases the debris has entered the building or even destroyed parts of it. The intensity of the process on the specific building is deduced by analyzing the deposit height and different consequences of a specific event.

The **degree of loss** is expressed as the percentage of the value of the building that was lost due to the impact of the process. Therefore, the value of the building and cost of reconstruction have to be determined.

Building values: The value of the building is estimated by the reconstruction value (standard prices/m²) for different building types and functions as they are also used for insurances purposes (c.f. e.g., Keiler 2004). For this study data for the element at risk (building use and size, photos) and reconstruction values were provided by local authorities (Province of South Tyrol and Municipality of Martell) that were combined and adapted for the basement and the roof from the Austrian prices given in a study from Keiler (2004) and Keiler et al. (2006).

Reconstruction costs: The cost of the repair works that are required according to the damage that a building has suffered were taken from a report listing the reconstruction costs following a flood event taking as an example a typical South Tyrolean residential building of 100m² building area and a 40m² basement (Kaswalder 2009). However, the impact of debris flows on a structure is not always identical to the impact of a river or a flash flood. In some cases, the debris may destroy walls that would need to be rebuilt. For this reason, information regarding wall reconstruction caused by the impact of the debris on the building was taken from an official catalogue of fixed base prices for civil engineering operations (Autonome Provinz Bozen 2010).



Fig.3 Photos of damaged houses in South Tyrol (Source: Autonomous Province of Bozen/Bolzano – South Tyrol)

By determining the intensity of the process and the degree of loss as described above and illustrated in Figure 1 the specific relation of intensity and degree of loss for each building could be represented as a point in a two-dimensional illustration in form of a scatter plot (Figure 4 and 5).

The process intensity is plotted on the abscissa, and the degree of loss is plotted on the ordinate. In order to find functions that fit best to the data, a nonlinear regression approach, as outlined by Totschnig et al. (2011), was applied. The following cumulative extreme value distributions were tested: Weibull, Frechet and Log-Logistic. These distributions were modified to introduce further fittable parameters and had to fulfil the following mathematical requirements (Totschnig et al. 2011):

- Vulnerability as the depending variable is defined in a both-sided confined interval [0,1];
- the distribution is continuous and monotonic increasing within the interval of its explaining variable (intensity); and
- the explaining variable is defined either in a both-sided unconfined interval $(-\infty, +\infty)$ or in a left-sided confined interval $[0, +\infty)$.

Apart from these distributions a logistic distribution was also tested. An unmodified Logistic distribution complies with the requirements mentioned above. However, the Logistic distribution does not go through the point of origin, i.e. the degree of loss is not equal to zero in case of zero intensity. The nonlinear regression approach used to find the unknown parameters of all the tested distributions applied a sequential quadratic programming algorithm based on a nonlinear least squares estimation.

In Figure 4, the distributions based on the presented methodology are shown. The intensity parameter is hereby grouped in steps of 0.5 m. Due to the fact that the Logistic distribution does not go through the point of origin, the Weibull distribution (Eq. 1) was selected as best-fitting function, although the Logistic distribution showed a slightly higher coefficient of determination. The coefficient of determination of the Weibull distribution is equal to 0.786, where as the coefficient of determination of the Logistic distribution is equal to 0.796.

$$V = 1 - e^{-1.528 \left(\frac{I+2.432}{2.432} - 1 \right)^{2.285}} \quad (1)$$

where V = vulnerability of the building and I = intensity in form of deposition height.

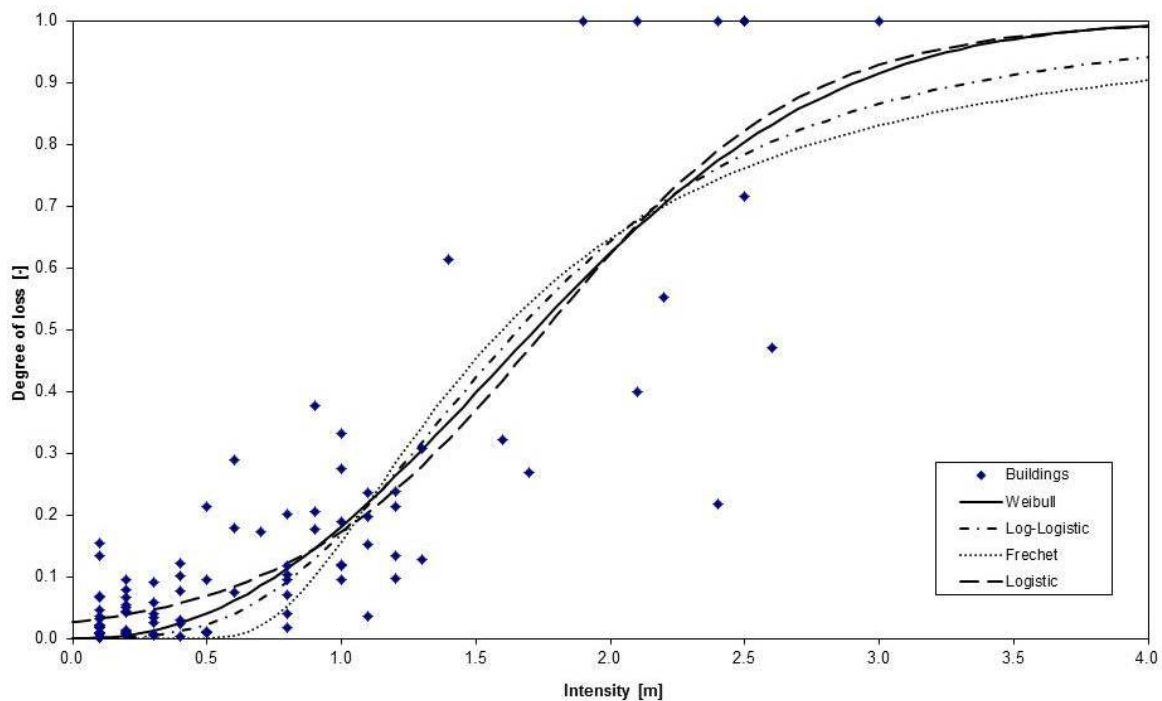


Fig.4 Comparison of different vulnerability functions. Vulnerability values originating from the study sites and based on the presented methodology are indicated by blue dots. Based on the R2 and on the prerequisite that the function should go through point (0,0), the chosen best-fitting function to describe the range in the analyzed data is the Weibull function.

In Table 1, the mathematical notation, the coefficient of determination and the interval of the explaining variable (intensity) of the tested distributions based on the presented methodology are summarised.

Tab. 1 Compilation of the tested distributions

Distribution	Mathematical notation	Coefficient of determination	Interval of the explaining variable
Weibull	$V = 1 - e^{-1.528 \left(\frac{I+2.432}{2.432} - 1 \right)^{2.285}}$	0.786	$[0, +\infty]$
Frechet	$V = e^{-1.208 \left(\frac{I+1.226}{1.226} - 1 \right)^{-2.091}}$	0.758	$(0, +\infty)$
Log-Logistic	$V = \frac{1}{1 + \left(\frac{I+1.658}{1.658} - 1 \right)^{-3.132}}$	0.778	$(0, +\infty)$
Logistic	$V = \frac{1}{1 + e^{(-2.036I+3.627)}}$	0.796	$(-\infty, +\infty)$

The vulnerability function in Figure 5 shows, as it was expected, that the larger the height of the debris deposit, the higher the degree of loss. The fact that the function becomes significantly steeper after the intensity of 1 m can be explained by the presence of windows or other openings that allow the material to enter the building and more damage to take place in the interior of the building. Total loss and need for total building replacement according to the function can be observed after the intensity of 1.7 m.

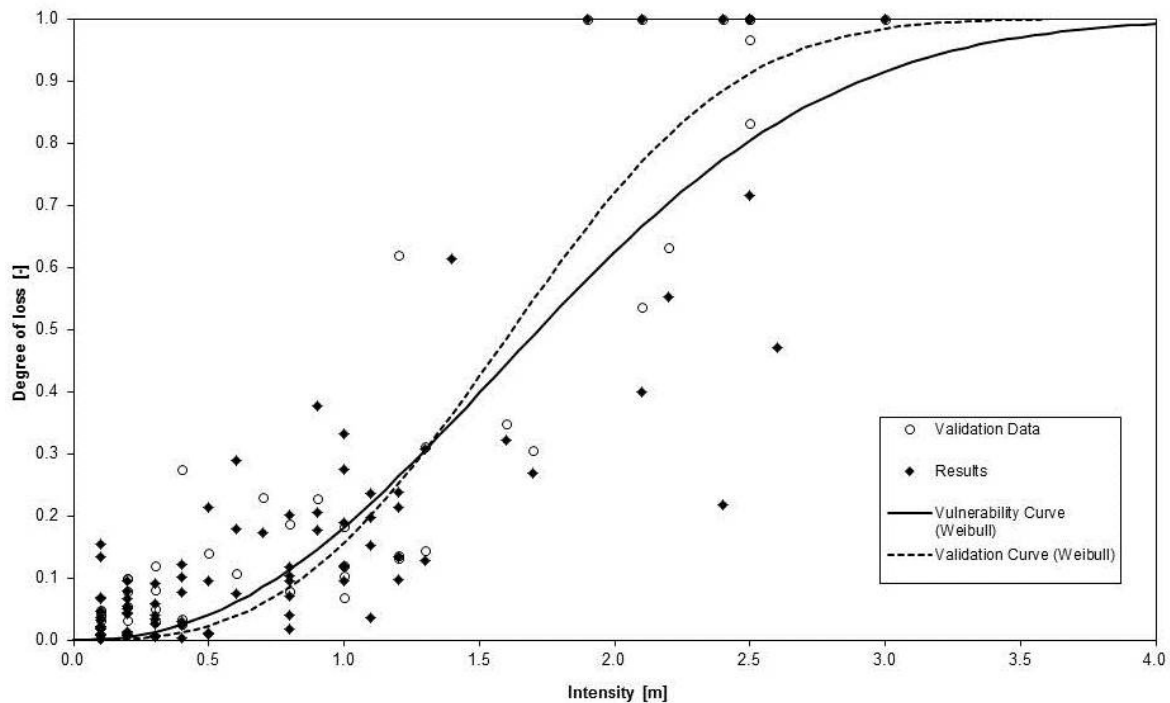


Fig.5 Comparison of the best-fitting vulnerability function and the corresponding validation function. Vulnerability values based on the presented methodology are indicated by white circles and vulnerability values based on the validation data are indicated by black rhombi.

Individual cases of buildings with relatively high degree of loss for lower intensities can be attributed to significant destruction in the basement. The fact that some buildings have experienced low degree of loss and high process intensity can be explained by relative high building value due to a larger number of floors.

A validation function was developed using real data concerning the compensation that was given to some property owners. The compensation data was provided by the Department of Domestic Construction of the Autonomous Province of Bozen/Bolzano - South Tyrol in Italian Lire of 1989 and it was later converted into Euro and indexed to 2009 values in order to be comparable with the results. However, as not all building owners were eligible for compensation, only 43 values of degree of loss calculated by the presented methodology were validated. Although the visual comparison (Figure 5) between the developed function and the validation function is satisfactory, in some cases, significant differences could not be explained by looking at the photographic documentation. Buildings that were not seriously damaged received compensation to be entirely rebuilt and in some cases buildings that were significantly damaged were only partially repaired. It was assumed that relocations of buildings that might not be clear in the compensation form or internal arrangements that were not clearly recorded accounted for these differences.

DISCUSSION

The resulting vulnerability function can provide the decision makers with detailed information regarding the costs of events for different process intensities in the future or under different development setting. The end user can use the function, not only to calculate the costs of a future event of a specific intensity but also to calculate the costs of an event if the setting of the built environment changes (e.g. removal of buildings or building of new settlements). Last but not least, the cost effectiveness of protection measures can also be demonstrated by using this function. Protection measures can change the intensity of a process on specific buildings and thus, their potential degree of loss and costs of reconstruction. Moreover, by adding information regarding the consequences of new events, the vulnerability function can be significantly improved and its reliability can be increased.

Data availability was the most significant drawback of the study. Lack of detailed information regarding the consequences of past events on individual buildings led to a series of assumptions that increased the uncertainty of the results. In order to increase data availability and quality a new method of damage documentation should be introduced. The new documentation consists of two parts: the condition documentation form and the damage documentation form (Figure 6 and 7). The condition documentation form contains important information regarding the building that includes building specific characteristics such as its use, material, number of floors etc. and information regarding its surroundings, the surrounding vegetation and the presence of protection measures. The damage assessment documentation includes a detailed description of the damages (damage pattern) following an event such as information on whether material entered the basement or ground floor, recording of any broken windows and doors etc. as well as information regarding the intensity of the process. The new damage documentation form is user friendly (e.g. the user can record the damage pattern of the building and also the characteristics of the process in an easy and fast way) and does not require any special training or skills. The proposed documentation forms have not been validated yet, however, during a Stakeholder Workshop in Bozen, South Tyrol (17 June 2011) they were introduced to the relevant stakeholders (e.g. representatives of civil protection authorities, the department of hydraulic engineering, and other local authorities) receiving a very positive feedback.

A future development of the present study would be the integration of the resulting function and documentation to a integrative tool that would have a dual function: a) it could assess the potential costs of future events under different scenarios and b) it could be used for the recording of new events and their consequences in order to improve the existing vulnerability function by the input of more data. Moreover, by collecting information regarding individual houses as it is suggested by the documentation form shown in Figure 6 the temporal pattern of the physical vulnerability of the

elements at risk can be identified. In other words changes regarding not only the location of buildings but also their individual characteristics through time can be recorded and changes in physical vulnerability through time can be visualised. Although the methodology is applied on a case study for debris flow events, the approach can be extended or modified to include more processes (e.g. snow avalanches, floods, landslides) and more elements at risk (e.g. agricultural areas, infrastructure). The resulting vulnerability function is not transferable to other places in the world where the dominant architecture, shape and quality of the buildings are different than the one in South Tyrol. However, the methodology itself is transferable and especially to places where detailed information regarding the consequences of the process on the built environment is limited, since it offers alternative ways to acquire this information.

BUILDING CONDITION FORM

BUILDING-ID:(For internal use)

EVENT-ID:...

PHOTO-ID:...

DATE:...

BUILDING INFORMATION

Address:....

Municipality:.....

Use:

<input type="checkbox"/> Residential	
<input type="checkbox"/> Auxiliary building	Type: ...
<input type="checkbox"/> Business/shop	Type: ...
<input type="checkbox"/> Public building	Type: ...
<input type="checkbox"/> Other	Type: ...

Area:

Age:

Number of floors:

Building material:

<input type="checkbox"/> Wood
<input type="checkbox"/> Mixed
<input type="checkbox"/> Bricks
<input type="checkbox"/> Reinforced

Basement: Yes No

Building surroundings:

<input type="checkbox"/> Wall
<input type="checkbox"/> Fence
<input type="checkbox"/> None

Surrounding vegetation

<input type="checkbox"/> Trees
<input type="checkbox"/> Bushes
<input type="checkbox"/> None

Openings (facing uphill):

Type:
Amount:....
Size:....
Quality:...

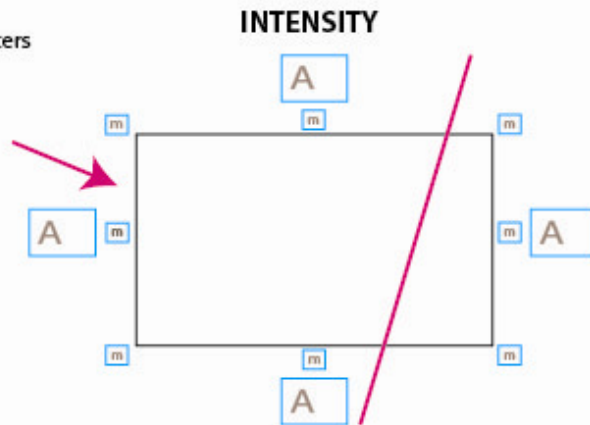
Openings (Sides):

Type:....
Amount:....
Size:....
Quality:...

Local protection measures: Yes No
If yes, which one:....

Fig. 6 The proposed condition documentation form

A...Aspect
m...Intensity in Meters



W...Water
M...Material
X...Yes
m²...Area
nr...Number

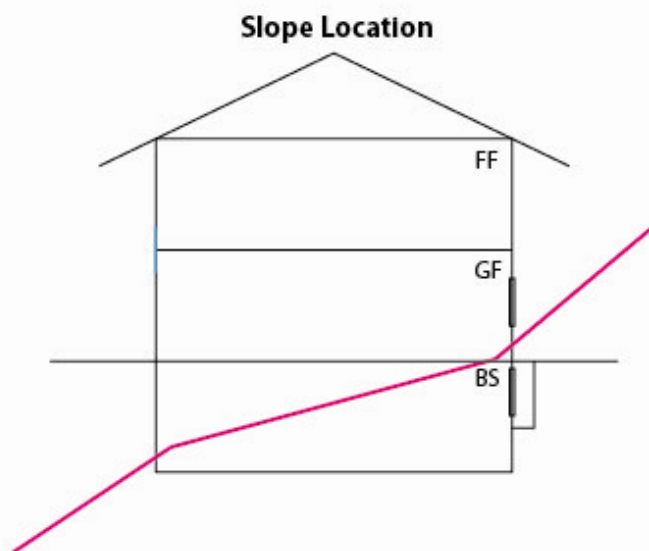
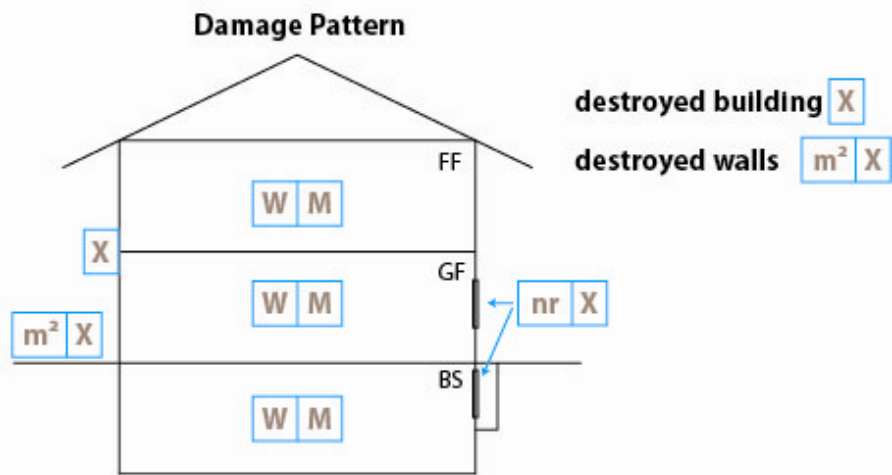


Fig.7 The recommended damage documentation form. The red lines at the top of figure indicate the debris direction and the part of the house which has been affected. The red line at the bottom figure indicates the location of the building on the slope. (FF: First floor, GF: ground floor, BS: basement)

CONCLUSION

In the present study a valuable tool is provided that will enable stakeholders and relevant institutions to reduce risk and the consequences of natural disasters strengthening in such a way institutional vulnerability. Moreover, our recommendations for new documentation of events and damage assessment will increase the capacity of local actors to improve risk management, conceptualize strategies for vulnerability reduction and to conduct cost benefit analysis for mitigation measures. Finally, the results of the proposed methodology can help the estimation of future damage costs not only in the present climate and development setting but also taking into consideration climate change and changes in the socio-economic development. The methodology and results presented in this study emphasise the importance of the analysis, assessment and reduction of physical vulnerability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work presented in this paper was carried out within the framework of the EU project MOVE (Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe (www.move-fp7.eu, contract number 211590). Special thanks to Sven Fuchs and Andreas Zischg for their support in the development of the methodology and to the two anonymous reviewers whose comments improved the quality of the paper significantly.

REFERENCES

- Akbas S.O., Blahut J., Sterlacchini S. (2009). Critical assessment of existing physical vulnerability estimation approaches for debris flows. In: Malet J., Remaitre A., Bogaard T. (ed) Proceedings of the International Conference Landslide Processes. Strasbourg, 6 Feb 2009, pp 229-233.
- Autonome Provinz Bozen (2010). Richtpreisverzeichnis Hochbauarbeiten 2010. Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Bozen.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1999). Risikoanalyse bei gravitative Naturgefahren: Fallbeispiele und Daten, Umweltmaterialien No 107/2 Naturgefahren, p 129.
- Fuchs S., Heiss K., Hübl J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 495-506.
- Kaswalder C. (2009). Schätzungsstudie zur Berechnung des Schadenspotentials bei Hochwasserereignissen durch die Rienz im Abschnitt Bruneck-St. Lorenzen. Autonome Provinz Bozen - Südtirol, Abteilung 30. Wasserschutzbauten, Bozen.
- Keiler M. (2004). Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the periode 1950-2000, case study Galtür. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4(2):249-256.
- Keiler M., Sailer R., Jörg P., Weber C., Fuchs S., Zischg A., Sauer Moser S. (2006). Avalanche risk assessment – a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6(4):637-651.
- Papathoma-Köhle M., Kappes M., Keiler M., Glade T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards* 58(2):645-680.
- Totschnig R., Sedlacek W., Fuchs S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. *Nat Hazards* 58:681-703.
- UNDRO (1984). Disaster prevention and mitigation—a compendium of current knowledge, vol 11. Preparedness Aspects, New York.
- UNISDR (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. UN, pp.30.
- Wilhelm C. (1997). Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz Mitteilungen des Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 54, Davos.

THE COSTS OF NATURAL HAZARDS IN ALPINE ENVIRONMENTS

CURRENT PRACTICE, END-USER NEEDS AND RECOMMENDATIONS

Clemens Pfurtscheller¹ and Annegret H. Thieken²

ABSTRACT

Public funding for reducing risks of natural hazards is getting scarcer. For example, in Austria, the budget for technical mitigation against mountain hazards is currently stagnating at approx. € 160 million per annum. Hence, economic efficiency and prioritization of measures that reduce risks due to natural hazards are of high importance. This paper compiles the results of the work package “Alpine Hazards” of the EU-FP7 project costs of natural hazards (ConHaz). Starting with a general description of alpine hazards and specific vulnerabilities of mountain regions, an analysis of current methods of cost assessments in countries within the European Alps was done for the cost categories of direct, indirect and intangible costs. In addition, data on real losses and an analysis of different data bases are given. Moreover, different methods for decision support are described and evaluated. Finally, research gaps, end-user needs, and recommendations for cost assessments of the different damage categories are discussed.

Keywords: Mountain hazards, monetary evaluation of costs and benefits, tools for decision support, recommendations and research needs

INTRODUCTION

Cost assessments of damage caused by natural hazards as well as costs for risk prevention and mitigation measures provide crucial information for policy development and decision making in the fields of natural hazard and risk management. In times of tightened public funds, economic efficiency and prioritization of measures that reduce risks of natural hazards are of high importance. There is, however, a considerable diversity of methodological approaches and terminologies being used in cost assessments of different natural hazards (Bubeck & Kreibich, 2011, Przulski & Hallegatte, 2011, Markantonis et al., 2011). This hampers the development of comprehensive, robust and reliable costs figures as well as the comparison of costs across hazard types and impacted sectors. Given that a multiplicity of analyses and case studies exist for assessing costs of alpine hazards, mitigation and adaptation measures as well as their benefits (in terms of avoided costs), there is a sound basis for the identification, compilation and evaluation of methods used in research and practice. Further, this serves as a basis to identify current research gaps and to give some recommendations for end-users. This paper compiles current methods of cost assessments in countries within the European Alps, starting with a general description of alpine hazards and specific vulnerabilities. Then, methods for estimating direct, indirect and intangible costs of alpine hazards as well as methods for the cost assessment of mitigation and adaptation are introduced. Moreover, different methods for decision support, e.g. cost-benefit-analysis approaches in different countries, are described and evaluated. Finally, key findings as well as recommendations are presented. This paper gives a résumé of the ConHaz-report “Costs of alpine hazards” (Pfurtscheller et al., 2011). The report is based on an intense literature review and the outcomes of a workshop with scientists and stakeholders held in Innsbruck in May 2011.

¹ Clemens Pfurtscheller. University of Innsbruck, Institute of Geography, Austria and Austrian Academy of Sciences, Institute of Mountain Research (IGF), 6020 Innsbruck, Austria (e-mail: clemens.pfurtscheller@oeaw.ac.at).

² Prof. Dr. Annegret Thieken. University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Sciences, 14476 Potsdam-Golm, Germany.

ALPINE HAZARDS AND SPECIAL VULNERABILITIES OF EUROPEAN MOUNTAIN AREAS

Relief energy can be seen as the key driver of hazardous processes and consecutive losses. Hence, mountain hazards or alpine hazards are risks triggered by the downhill movement of water, snow, ice, debris and rocks (UNDRO, 1991). These processes include avalanches, floods, debris flows, and landslides (Tab. 1). Moreover, alpine hazards are characterised by intermixtures of mediums and processes as well as cascade effects (Pfurtscheller & Schwarze, 2010). There are smooth transitions between the different types of alpine processes, so an explicit distinction is not possible. As a consequence, high economic losses due to natural hazards might occur, e.g. large-scale inundations in an U-shaped valley vs. rapid onset damages in an alpine lateral valley were observed simultaneously during the floods in 2005 in Western Austria (Fig. 1).

Tab. 1 Types of mountain hazards considered in the ConHaz project; based on Cruden & Varnes (1996), Hübl et al. (2002), Hübl et al. (2006).

Hazards / processes	Subcategory	
Floods and hydro-meteorological processes	heavy rain flash floods (pluvial or torrential floods) river floods (fluvial floods)	
	debris and mud flows (flows)	
Geologic mass movements	falls	slides / landslides (sensu strictu)
	<ul style="list-style-type: none"> - rock fall ("Steinschlag"), <50cm diameter - boulder fall ("Blockschlag", "Blocksturz"), cubature approx. <100m³ - block fall, cliff fall ("Felssturz"), cubature approx. > 100 to 1 mio. m³ - rock collapse, rock avalanche ("Bergsturz"), cubature approx. > 1 mio. m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - rock slide - debris slide - earth slide
(Snow-) Avalanches	snow slab avalanche loose snow avalanche	
Complex processes / intermixtures		

Mountain regions in Europe are also characterised by special vulnerabilities, which result from the socio-economic settings, but also from spatial particularities. There is very limited space for settlement and economic activities in mountain regions (Permanent Secretariat of the Alpine Convention, 2010). The marginal permanent settlement area in mountain regions forces people to concentrate assets in valleys and to build nearby water bodies and other risky areas and, thus, increases the exposure to natural hazards. Further, possibilities for the substitution of lifelines and for the creation of redundant structures are missing. Especially lateral valleys are at high risk of getting isolated, e.g. as a consequence of road blockages caused by hazard events as happened during the floods 2005 in the Federal State of Tyrol. Besides these predispositions, alpine economies depend to a high share on tourism and have a high variability of (temporal) residents. Due to the general growth of touristic activities, assets at risk are expected to rise further. Current developments may result in future land use conflicts, but may also illustrate the need for integrated methods of assessing costs of natural hazards, costs and benefits of risk reductions as well as harmonized and transparent decisions on mitigation and adaptation measures.



Fig. 1 Multiple hazard occurrence during the floods of 2005 in the Federal States of Tyrol and Salzburg (Austria); sources: district government Zell am See, Austrian Armed Forces Photograph/KONRAD.

FRAMEWORK FOR COSTING OF NATURAL HAZARDS

Due to their exposure to various natural hazards and due to their special vulnerabilities, alpine countries have been dealing with the management of natural hazards and risks for a long time. For instance, the Austrian service for torrent and avalanche control was already founded in 1884. This long experience as well as recent events with heavy impacts, e.g. the avalanche winter in 1999 or the severe floods in August 2002 and August 2005, launched a rethinking of how to deal with natural hazards in an integral and sustainable way.

For example, the risk management cycle (see e.g. Kienholz et al., 2004) has become a widely accepted approach. It commonly consists of four phases: 1) disaster response during a hazardous event, 2) recovery, 3) risk analysis and assessment as well as 4) disaster risk reduction which is primarily aimed at preventing and mitigating damage. A prerequisite for effective damage prevention is a thorough analysis and a subsequent assessment of risks, which includes analyses and estimations of hazard impacts and associated costs. Different cost types are roughly attached to the four phases of the risk management cycle as compiled in Tab. 2.

Commonly, cost assessments of natural hazards are separated into *ex-ante* and *ex-post* methodologies. The first approach tries to quantify possible losses caused by hazards before an event happens, whereas *ex-post* methods assess the losses which happened during and after an event (Messner et al., 2007). Amounts of actual damage and losses can thus be detected *ex-post*, potential losses *ex-ante*.

In ConHaz, several cost categories were distinguished. Direct losses (also called capital or asset losses) occur due to the physical contact of elements at risk with water, snow or solids (debris, stones). They can often be assessed *ex-post* by actual repair costs. Indirect damages or output losses are induced by direct impacts, but occur – in terms of time and space – outside the hazard event or the affected area. They mainly result from an interruption of economic and social activities (Parker et al., 1987). Intangible effects mostly refer to losses that can be difficult assessed in monetary terms since they are not traded at a market, like loss of life, injuries, and ecological effects (Markantonis et al., 2011).

Losses caused by the disruption of production processes (also called business interruption) are treated as a separate category of losses in the project ConHaz. The main reason for this is that business interruption can be traced back to the physical impact of the hazardous event on commercial buildings, machinery and movable goods, which then causes a decline of production. However, the methods for the assessment of these costs differ from methods for assessing direct as well as indirect costs.

Tab. 2 Cost types occurring in different stages of risk management

stage of risk cycle	emergency management and response	reconstruction and recovery	event and risk analysis	prevention and preparedness
<i>main cost category</i>	<i>variable operational costs</i>	<i>damage and losses</i>	<i>ex-ante cost estimations of costs and benefits, planning costs and decision support</i>	<i>costs for risk reduction</i>
Examples	costs for emergency management (e.g. operation control)	direct losses (asset losses, repair costs)	ex-ante estimation of costs of risk reduction measures	investment and construction costs of mitigation measures
	search & rescue	losses due to business interruption	ex-ante estimation of costs and benefits of risk reduction options	costs for operation, use, maintenance and disposal of mitigation measures
	health care and supply	(long-term) output losses (indirect losses)	costs for risk analyses and design of risk reduction measures	co-costs (e.g. environmental costs) of mitigation measures
	safeguarding structures	losses of non-market goods (intangible effects)	decision support for choosing the optimal risk reduction option (e.g. cost-benefit-analysis)	co-benefits (e.g. recreational areas) of mitigation measures

During the phase of risk analysis and planning of risk reduction measures the loss categories are quantified ex-ante in order to assess the losses that could be avoided by certain mitigation measures. These ex-ante loss assessments are further complemented by ex-ante estimations of the costs of the planned measures. Cost categories for a structural or non-structural risk reduction measure include: planning and design costs, investment costs, costs for operation and maintenance, disposal costs, co-costs and co-benefits. Costs and benefits are finally compared by methods for decision support in order to identify cost-effective measures and to find the best risk reduction strategy.

In the phase of prevention and preparedness, where risk reduction measures are implemented, real expenses for mitigation and adaptation occur. In practise, different measures might be combined for an optimal risk reduction, e.g. a water management plan might comprise retention measures, dams and several other provisions. Apart from costs for planning and investment costs for setting-up or constructing the systems, operating costs for the usage and maintenance of the systems need to be considered. In some cases (e.g. emergency response measures), operating costs can be divided into normal (fixed) costs and variable (additional) costs that depend on the occurrence and severity of the hazardous events.

Finally, real expenses for mitigation (ex-post) and actual losses (ex-post) might improve the ex-ante cost estimations that have to be performed in the framework of risk analysis and assessment. However, the assumptions for the monetary valuation (e.g. by replacement or depreciated values) might differ and depend on the task at hand (for a discussion see e.g. van der Veen & Logtmeijer, 2005, Merz et al., 2010). Moreover, prices are changing in time. Hence, the reference year of costs has to be reported so that it is possible to correct data from different years by accounting for inflation (see Thieken et al., 2010).

EVENT DATA AND REPORTED LOSSES - SCALE AND PURPOSE DRIVEN

We analysed different data sources for the occurrences of mountain hazards in the European Alps at the supranational and national scale and associated damages. Although the DOMODIS guideline (Hübl et al., 2002) can serve as a common framework for event documentation, the data bases implemented in the different countries for different purposes differ significantly in quality and quantity of entries as well as in described loss categories (Tab. 3). Direct losses are mostly assessed, but indirect losses and intangible effects are not well covered.

Tab. 3 Databases of alpine natural hazards and loss categories based on Pfurtscheller et al. (2011).

Name	Country of origin	Direct losses	Indirect losses	Intangible effects
NATHAN	DE	insured loss	not included	fatalities
IAN	DE	monetary losses (partly)		fatalities (partly)
HOWAS 21	DE			not included
GEORIOS	AT			fatalities (partly)
WLK (WLV)	AT			
StoreME	CH			
IFFI	IT			
BRGM	FR			
EM-DAT	BE	monetary loss	partly	fatalities / affected

Due to different scopes and entry thresholds, data entries are inconsistent and difficult to compare. For example, national data bases are much more detailed than global data bases, which totally underestimate local and regional events with a relatively low economic loss. Fig. 2 shows the recorded hazard events and estimated direct losses in US\$ from 1951 to 2009 of the EM-DAT database.

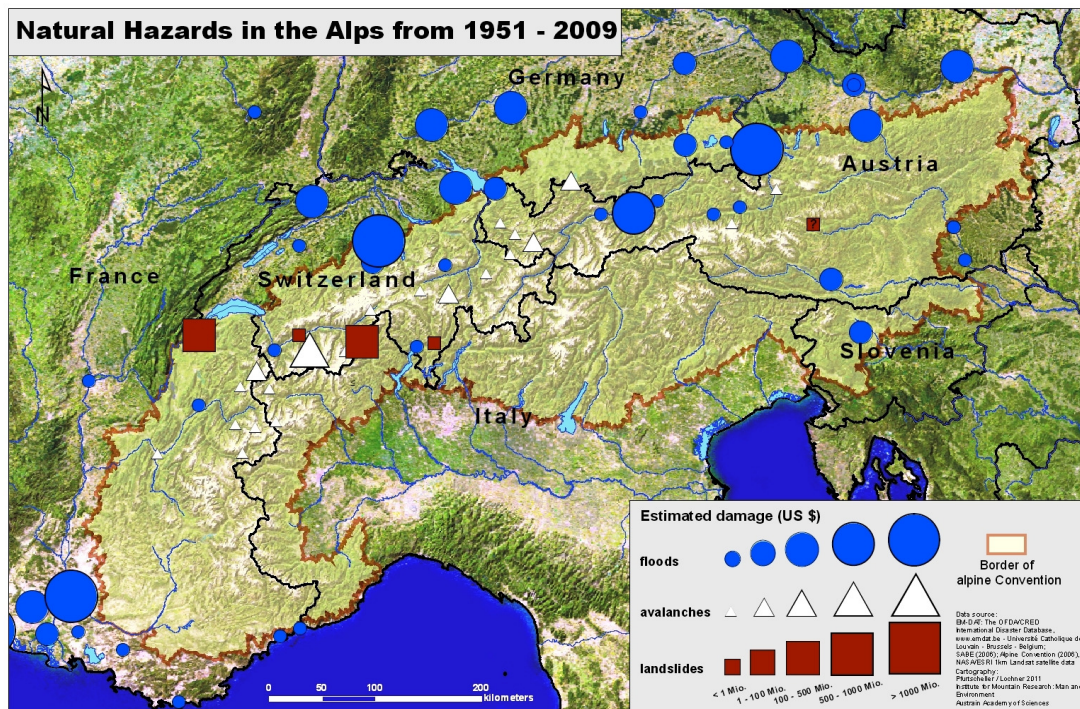


Fig. 2 Recorded hazard events and estimated direct losses in US\$ from 1951 to 2009 in countries with part of surface within the European Alps; source of data: EM-DAT.

Although large events are included in global data bases, the data quality differs as is illustrated by the example of the avalanches that occurred in the Paznaun valley, Federal State of Tyrol (Austria), in 1999. Based on official data of the public administration, Heumader (2000) reports about Euro 10 million direct losses and 38 fatalities. The EM-DAT database counts for the same event 50 fatalities and about USD 42 million direct losses.

Hence, a minimum standard for data collection and storage, more international and national collaboration (data exchange) and linking event and damage data would be wishful. Based on high-quality data, data analysis might reveal dominant consequences of hazard events as well as successful mitigation strategies. Thus better data can help to improve disaster risk management strategies. There is also a huge data gap with regard to indirect and intangible losses (Tab. 3). Regarding high impact events on national scale, indirect (output) effects can be measured with standard economic methods (e.g. input-output analysis), but effects on a smaller scale cannot be measured at all, due to the absence of methods.

METHODS FOR THE EX-ANTE ESTIMATION OF DIRECT LOSSES

Methods for estimating direct costs of alpine hazards are mainly based on asset valuation techniques in combination with damage functions, which are sometimes also called vulnerability, susceptibility or fragility functions depending on the hazard community.

A lot of studies exist that evaluate direct effects for different hazards. However, there is a lack of multi-hazard approaches, despite the occurrence of overlapping processes. Further, most studies focus on direct damage of buildings, whereas very little is known about damage to infrastructure. The precision of studies and approaches vary due to the aim and scale of an analysis. When an event occurs, a first rough estimate can be obtained by a combination of average losses and satellite data. For project appraisals, detailed methods are needed - preferably with regional damage functions that include intensity as well as resistance parameters. Due to a lack of regional damage functions, an estimation of losses on the basis of regional hazard information and general damage functions is possible as a first approach. Whenever possible, the damage functions should be adapted to the region under study on the basis of experienced events and loss estimates should then be updated.

METHODS FOR THE EX-ANTE ESTIMATION OF BUSINESS INTERRUPTION

Losses due to business interruption can occur at all kinds of businesses. In order to distinguish them from indirect effects (output losses), losses due to business interruption are regarded at the local and regional scale in areas that are directly affected by (alpine) hazards, so a company must be directly affected, e.g. by destroyed machinery, to suffer business interruption (Bubeck & Kreibich, 2011). The term “business interruption” is often related to insurance terminology and contracts, but means the same like “interruption of production”, whereas business interruption treaties can cover also indirect effects, depending on the clauses.

Although some figures for costs of business interruption exist (see Nöthiger, 2003, Bubeck & Kreibich, 2011), no advanced approaches exist for calculating losses due to business interruption caused by alpine hazards. These kinds of losses can only be measured by surveying lost turnover of the businesses. The analysis of such effects is hindered by the intermixture of effects, diverse terminology and missing empirical data. It is wishful to investigate indirect effects and business interruption on single events as part of a comprehensive event analysis.

METHODS FOR THE ESTIMATION OF INDIRECT LOSSES / OUTPUT LOSSES

Due to the special vulnerabilities of alpine regions and especially of lateral valleys (see above), indirect effects are likely to have a high relevance for alpine risk assessment – particular at the local and regional scale. Indirect effects occur at companies, which are not hit directly by the hazard, but lose turnover, because of interrupted economic activities of both, (forward-linked) supply and/or (backward-linked) sales.

In general, there are macro-econometric (statistical) as well as model-based approaches, e.g. input-output-models or computable general equilibrium models, to assess the costs related to indirect effects

of natural hazards (see descriptions by Przulski & Hallegatte, 2011). These methods can be applied to estimate the decline of economic activities after large events such the floods in 2002 or in 2005. They are, however, inadequate at the regional and local scale, mainly due to missing input data at this scale. In fact, very little is known about the economic effects and interdependencies at small scales. Network failure approaches are currently the best available method for the regional scale, but these approaches often neglect the measurements of economic flows. They rather measure the decline in turnover of single companies.

Since the terminology used to assess indirect effects varies among countries and methods, a clear definition of indirect effects (and its distinction from business interruption) is essential. Moreover, the (spatial) system boundaries as well as the time horizon (short-/medium-/long-term) of the assessment must be determined to identify the effects in the affected area correctly.

Further research on possible methods for the evaluation of indirect effects and case studies in alpine valleys should be undertaken to allegorise the economy of lateral valleys, based on scenarios of interrupted economic activities and stopped private and economic traffic (commuters, in- and outgoing tourist flows, supply, etc.). The investigation of indirect effects and business interruption in the aftermath of catastrophic events should be part of event analyses.

METHODS TO ASSESS INTANGIBLES / NON-MARKET LOSSES

Intangible effects reflect losses on damage categories, which only can be evaluated in economic terms, because of missing market prices (Markantonis et al., 2011). Therefore, they are also addressed as “non-market losses”. Generally, the following intangible effects of natural hazards can be identified: environmental effects (soil and water contamination or pollution, biodiversity loss), health effects (fatalities / injuries, infectious diseases, mental illnesses e.g. post-traumatic stress, depression) and damages to cultural heritage (Markantonis et al., 2011). For such goods, no market exists and hence, a variety of alternative approaches in economics have been developed to monetise these goods such as – among others – the hedonic pricing method, the contingent valuation methods, choice modelling (see Markantonis et al., 2011, for a description of the methods).

Alpine hazards can trigger intangible effects, like loss of life (fatalities), injuries, ecological losses (e.g. by leakages of oil tanks in private structures) or loss of cultural heritage or memorials. However, up to now, they are only partly assessed in risk analyses. Loss of life as an intangible loss is frequently quantified by counting casualties and injured people, but occasionally also by assessing e.g. the value of a statistical life. General effects on health, e.g. costs of psychological traumas or injuries are not investigated. Other intangible effects are usually not assessed although a lot of economic valuation approaches exist.

The ConHaz workshop revealed that the usefulness and reliability of economic estimates of intangible effects are questioned by stakeholders. Despite a variety of available methods, monetarisation is often not wanted. Nevertheless, intangibles should be better integrated in the assessment of risk reduction measures, e.g. by cost-benefit-analysis and trade-off analysis. Classification and prioritisation of intangible effects (e.g. with check lists) can be a first step. In general, there is a great need for knowledge transfer on available valuation methods, and participatory approaches. Cooperation between different hazard communities as well as strong links between science and practice should be strengthened in order to foster learning and mutual support, e.g. by international projects with staff exchange.

METHODS AND TOOLS FOR DECISION SUPPORT

Based on the ex-ante-methods and approaches to assess direct, indirect, and intangible effects cost-benefit-analysis (CBA) or cost-effectiveness-analysis (CEA) are used in many countries in the Alpine arc to evaluate the economic efficiency of protection measures against natural hazards by public risk and disaster management agencies. Despite the differences of assessed damage categories and legal foundations, the methods aim to identify the most suitable mitigation option from a set of alternatives. In Austria, CBA are more detailed regarding the evaluated damage categories, whilst in Switzerland the emphasis is put on the risk concept and its application in natural hazard management and the pragmatic usage. Moreover, the Swiss tools have been developed in order to improve risk

communication and awareness building. There are strong differences with regard to the assessment of indirect effects and the costs for emergency. In fact, Swiss methods do not count for such kind of economic losses, whereas the Austrian CBA assesses indirect effects based on estimations of experts without a clear theoretical concept.

Multi-criteria-analysis (MCA) seems to be generally underrepresented in the Alpine countries, but is a suitable method to account for intangible effects. Economic effectiveness methods should be implemented considering all cost types. Also, the integration of latest methods and application on all hazard types is suggested to illustrate the total effects of possible future losses. Neglecting indirect effects and business interruption, as well as intangible effects, but also costs for emergency and clean-up could result in misleading decisions of prioritising and building mitigation measures.

EXPENSES FOR RISK REDUCTION: MITIGATION AND ADAPTATION

Besides statistical data on the occurrence and losses triggered by natural hazards, annual costs for public safety measures are of prime interest, if costs of natural hazards shall be systematically analysed. Due to missing data and - in most cases - multiple involved administrative bodies at diverse levels (e.g. municipal, regional, national in the case of Austria), the exact quantification of expenses for public safety is difficult and cannot be easily compared between countries.

Until now, only one study exists that systematically counts all public expenses for risk mitigation and preparedness. Wegmann et al. (2007) evaluated the average annual expenses for a fictive year from 2000 to 2005 for mitigation and preparedness for Switzerland in a comprehensive manner. National wide, Switzerland spends about 0.6 per cent of GDP (about SFR 3 billion or Euro 2.2 billion) in total for mitigation of natural hazards per year (Wegmann et al., 2007). 59 per cent of the total is paid by the private sector (in the main insurance premiums). About SFR 1.2 billion are spent by public administration (federal government, cantons, and municipalities).

In order to better compare expenses for public safety between countries and to assess successes and failures of risk reduction, guidelines and standards for data documentation and collection are needed.

CONCLUSIONS

Cost assessments of losses caused by natural hazards as well as of prevention and emergency measures provide information for decision support and policy development in the fields of natural hazard and risk management as well as of planning for adaptation to climate change.

The analysis by Pfurtscheller et al. (2011) revealed that a multiplicity of analyses exists for mountain hazards, but generally accepted, comprehensive and European-wide methods for alpine risks are still missing. Intangibles, indirect effects or decline in regional welfare are poorly investigated, whilst direct effects are well analysed. In addition, the annual costs for public safety, like mitigation measures, emergency planning or warning, can only partly be analysed and are difficult to quantify due to the involvement of diverse administrative bodies on all levels which leads to scattered information and data sources.

Based on the presented findings and the ConHaz workshop discussions the following recommendations can be given:

- systematise, coordinate and exchange terms and data,
- clearly define the scale, the purpose, the key impacts, the system boundaries and the time horizon of a cost analysis and choose methods that are appropriate for the given scale and purpose,
- improve methods for the cost assessments of geologic mass movements,
- improve methods for estimating losses to infrastructures,
- develop method to better assess indirect costs,
- learn more about methods to assess intangibles and apply them more often,
- establish standards and procedures for the documentation of losses as well as for expenses for risk reduction to receive comparable and reliable data,
- foster risk communication to the public, and finally

- intensify communication and cooperation between science and practise as well as between different hazard communities (intensify cross-disciplinary and transdisciplinary approaches).

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was undertaken during the project ConHaz - Costs of Natural Hazards funded by the 7th framework programme (FP7) of the European Community (Contract 244159, <http://conhaz.org>) and was also supported by the Austrian Academy of Sciences (ÖAW), Institute of Mountain Research: Man and Environment (IGF).

REFERENCES

- Bubeck P., Kreibich H. (2011). Direct costs and losses due to the disruption of production processes. ConHaz Report of WP1, http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-final-reports/CONHAZ%20REPORT%20WP01_2.pdf/at_download/file, D1.2. Potsdam.
- Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). Landslide Types and Processes. In: A.K. Turner et al. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Washington: 36-75.
- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, www.emdat.be - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium.
- Heumader J. (2000). The catastrophic avalanche disasters of Galtür and Valzur on the 23. and 24. of February 1999 in the Paznaun valley / Tyrol. *Internationales Symposium Interpraevent 2000*. Villach: 397-409.
- Hübl J., Kienholz H., Loipersberger A. (2002). DOMODIS - Documentation of Mountain Disasters, State of Discussion in the European Mountain Areas. Vienna.
- Hübl J., Habersack H., Kienholz H., Agner P., Ganahl E., Moser M., Scheidl C., Kerschbaumsteiner W., Schmid F. (2006). Disaster Information System of Alpine Regions (DIS-ALP): Methodik Teil 1. IAN Report 101. Vienna.
- Kienholz H., Krummenacher B., Kipfer A., Perret S. (2004). Aspects of Integral Risk Management in Practice - Considerations with respect to Mountain Hazards in Switzerland. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 56: 43-50.
- Markantonis V., Meyer V., Schwarze R. (2011). The intangible effects of Natural Hazards. ConHaz report WP 3, D3.2, http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-final-reports/CONHAZ%20REPORT%20WP03_2.pdf/at_download/file. Leipzig.
- Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thielen A.H. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10:1697–1724.
- Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S., van der Veen A. (2007). Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. project FLOODsite.
- Nöthiger C. (2003). *Naturgefahren und Tourismus in den Alpen - untersucht am Lawinenwinter 1999 in der Schweiz*. SLF. Davos.
- Parker D., Green C., Thompson P. (1987). *Urban flood protection benefits: A project appraisal guide*. Aldershot.
- Permanent Secretariat of the Alpine Convention (2010). *The Alps - People and pressures in the mountains, the facts at a glance*. Vademedum. Innsbruck.
- Pfurtscheller C., Schwarze R. (2010). Kosten des Katastrophenschutzes. In: Thielen A., Seifert I., Merz B. (Eds.): *Hochwasserschäden - Erfassung, Abschätzung und Vermeidung*. Munich: 253-262.
- Pfurtscheller C., Lochner B., Thielen A.H. (2011). Costs of Alpine hazards. ConHaz-Report of WP8 http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-final-reports/CONHAZ%20REPORT%20WP08_1.pdf/at_download/file. Innsbruck.
- Przyluski V., Hallegatte S. (2011). Indirect Costs of Natural Hazards. ConHaz report WP2, D2.2, http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-final-reports/CONHAZ%20REPORT%20WP02_2.pdf/at_download/file. Paris.
- Thielen A.H., Schwarze R., Ackermann V., Kunert U. (2010). Erfassung von Hochwasserschäden - Einführung und Begriffsdefinitionen. In: Thielen A.H., Seifert I., Merz B. (Eds.) *Hochwasserschäden – Erfassung, Abschätzung und Vermeidung*. Munich: 21-49.

- UNDRO (1991). Mitigation Natural Disasters - Phenomena, Effects and Options. United Nations Disaster Relief. New York.
- Van der Veen A., Logtmeijer C. (2005). Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding. Natural hazards, 36:65-80.
- Wegmann M., Merz H., Meierhans Steiner K. (2007). Jährliche Aufwendungen für den Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz - Strategie Naturgefahren Schweiz, Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005 - 2008. Bern.

INTEGRALE WILDBACH - ENTWICKLUNGSKONZEPTE

EIN NEUER ANSATZ, UM ERHALT UND ZUKUNFTSANFORDERUNGEN IN EINKLANG ZU BRINGEN?

Andreas Rimböck¹, Erich Eichenseer² und Anton Loipersberger³

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wildbachverbauung in Bayern steht vor gewaltigen Herausforderungen. Allein die Unterhaltung und Sanierung der rund 45.000 inzwischen erfassten Schutzbauwerke, die bis zu 100 Jahre alt sind, ist eine gewaltige Aufgabe. Daneben besteht großer Bedarf an weiteren Schutzmaßnahmen, um Bayern weit einen ähnlichen Schutzstandard zu gewährleisten. In einem umfangreichen Forschungsprojekt werden vorhandene Ansätze mit neuen Gedanken zusammengeführt, um eine moderne Strategie zur Bewältigung dieser gewaltigen Aufgabe auszuarbeiten. Dazu sollen auch vergangene und künftige Entwicklungen berücksichtigt werden und am Ende integrale Gesamtkonzepte für Wildbacheinzugsgebiete ausgearbeitet werden, welche die Unterhaltung, eine sinnvolle Optimierung der Schutzsysteme und einen ggf. nötigen weiteren Ausbau zusammenführen. Hierzu wurden in einer ersten Phase in vier bayerischen Wildbacheinzugsgebieten Pilotstudien erarbeitet, deren erste Ergebnisse hier vorgestellt werden. Diese werden in der zweiten Phase des Projektes wissenschaftlich überprüft. Auf dieser Basis sollen dann Leitlinien für die Praxis ausgearbeitet werden.

Schlagworte: Unterhaltung, Sanierung, Ausbau, Einzugsgebiet, Gesamtkonzept

ABSTRACT

Torrent control in Bavaria is faced with enormous challenges. On its own the maintenance and reconstruction of over 45.000 torrent protection works is a major task, especially as they are up to 100 years old. Beyond that many further protection systems are necessary to provide a comparable safety level in the Bavarian Alps. We want to combine existing approaches and new thoughts in a large research project to develop a modern strategy to cope this task. Considering also past and future developments shall lead to integral development master plans for torrential catchment areas, which bring together maintenance, reasonable optimization of the protection system and where necessary further measures. In a first phase pilot studies were worked out in four different Bavarian catchment areas. They are now completed and the first results will be presented in this paper. In the second phase, the studies will get scientifically verified. Finally guidelines, how to work out integral development master plans will be established, regarding state of the art.

Keywords: catchment area, torrent control, risk management, protection concept

HISTORIE DER BAYERISCHEN WILDBACHVERBAUUNG

Die Wildbachverbauung ist seit jeher eine sehr stark interdisziplinär ausgerichtete Fachrichtung. Das enge Zusammenspiel und die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Forst, Hydrologie, Geologie, Bautechnik und vielen mehr werden gerade in Wildbacheinzugsgebieten sehr deutlich.

¹ Dr.-Ing. Andreas Rimböck, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Deutschland,
(e-mail: andreas.rimboeck@lfu.bayern.de)

² Dipl.-Ing. Erich Eichenseer, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, München, Deutschland

³ Dipl.-Ing. Anton Loipersberger, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Deutschland

Schon lange werden hier integrale Ansätze systematisch verfolgt: Beispielsweise sah der unter dem Eindruck des katastrophalen Hochwassers von 1954 ins Leben gerufene Alpenplan (OBB (1955)) für den Zeitraum von 1956 bis 1965 neben einem Hochwasserschutz durch Rückhaltung auch die Sanierung der Einzugsgebiete und biologische Erosionsschutzmaßnahmen vor, um die Ursachen der Gefahrenprozesse bereits im Entstehungsgebiet zu reduzieren (z.B. Erosion, Abfluss, ...). Zielrichtung war die Abwehr von Naturgefahren und die nachhaltige Gewährleistung eines möglichst hohen Schutzniveaus.

Trotz umfangreicher Investitionen in Schutzmaßnahmen sind die Schäden durch alpine Naturgefahren über die Jahre angestiegen. Vergleichbare Beobachtungen gibt es auch in unseren Nachbarländern. Dies lässt sich sicher auf intensiviertere und höherwertige Nutzungen im Alpenraum in Verbindung mit schadensanfälligerer Bebauung und Infrastruktur und evtl. auch auf höhere Ereignisfrequenzen infolge des Klimawandels zurückführen. Von daher wird seit Ende des 20. Jahrhunderts alpenweit ein Übergang von der „Gefahrenabwehr“ zu einer „Risikokultur“ angestrebt (vgl. PLANAT (2004)). Hauptziel der „Risikokultur“ im Sinne einer nachhaltigen Schadenabwehr ist dabei, bewusst zu machen, dass eine absolute Sicherheit vor Naturgefahren nie zu erreichen sein wird und somit begleitende Vorkehrungen zum bestmöglichen, d.h. ursachen- und schadensminimierenden Umgang mit dem Restrisiko unabdingbar sind.

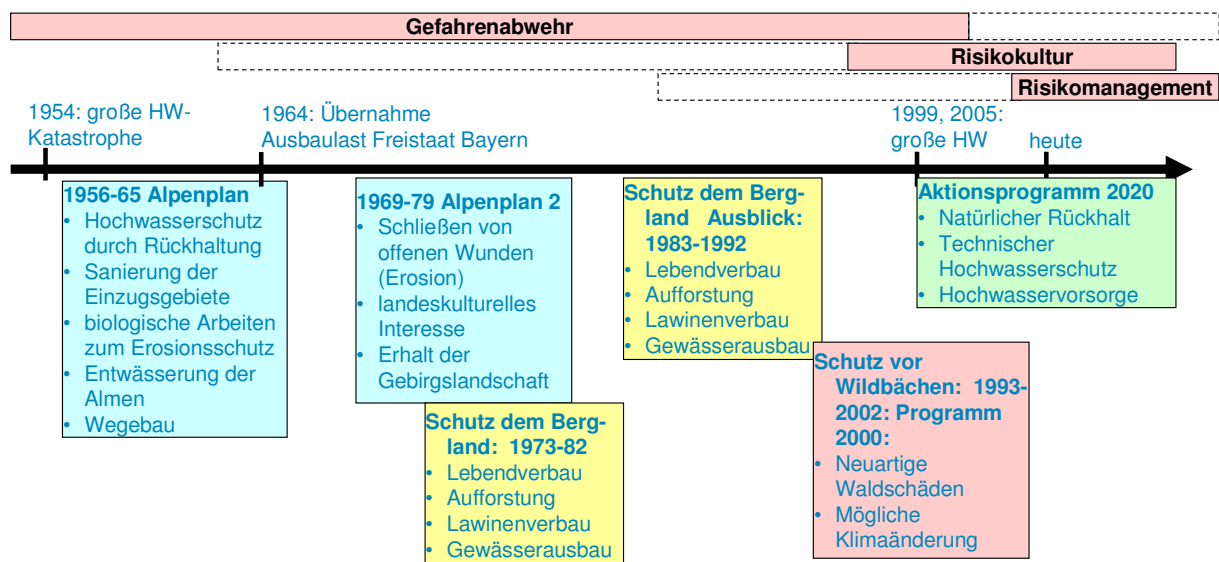


Fig. 1 bayerische Wildbachstrategien der letzten rund 50 Jahre

Fig. 1 bavarian strategies in torrent control during the last 50 years

Diese Gedanken finden sich im bayerischen Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020 (vgl. StMUG, 2003) wieder, das in Bezug auf einen nachhaltigen Hochwasserschutz auf die drei Handlungsfelder

- natürlicher Rückhalt
- technischer Hochwasserschutz
- weitergehende Vorsorge (Risiko-, Bau-, Verhaltens- und Flächenvorsorge)

setzt. Die EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie stellt einen weiteren Schritt hin zum integralen Risikomanagement dar, indem systematisch Hochwasserrisikomanagementpläne aufzustellen sind. Dabei sind zwingend die Öffentlichkeit zu beteiligen und ein Risikodialog zu führen.

GEÄNDERTE ANFORDERUNGEN AN SCHUTZKONZEPTE

Wildbachprozesse sind aufgrund des ausgeprägten Gefälles der Bachläufe und der hohen Prozessgeschwindigkeiten von Natur aus einer hohen Dynamik unterworfen. Daneben verändern sich auch die Rahmenbedingungen in den Einzugsgebieten und die Anforderungen an Schutzkonzepte vor gefährlichen Wildbachprozessen ebenfalls immer schneller und häufiger. Im Folgenden werden beispielhaft einige Veränderungen aufgezeigt, die sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten ergeben

haben. Somit gibt es heute, verglichen mit dem Zeitpunkt der ursprünglichen Verbauung, ganz andere Rahmenbedingungen für Schutzstrategien. Wichtige Beispiele hierfür sind:

Bereich Natur und Umwelt:

- intensiver Schutz für Pflanzen und Tiere durch z.B. bayerische Biodiversitätsstrategie; Naturschutz-, FFH-, Landschaftsschutzgebiete, Nationalparks
- veränderte Bodennutzung in alpinen Einzugsgebieten (z.B. Wiederbewaldung, Schipisten, Almwirtschaft, Tourismus, Sturmschäden, Lawinenschäden, Schutzwaldsanierung, ...)
- höhere Anforderungen an den Antransport von Baumaterial, Bau von Erschließungswegen

Bereich Technik

- Verfügbarkeit längerfristiger Grundlagendaten
- neue Berechnungsmethoden (z.B. Niederschlags-Abfluss-Modelle, Geschiebetransportberechnungen, ...)
- neue Bauweisen (z.B. Seilnetzkonstruktionen, Rechenbauwerke) oder neue Bauverfahren (z.B. flexible Baumaschinen, Fertigteile)

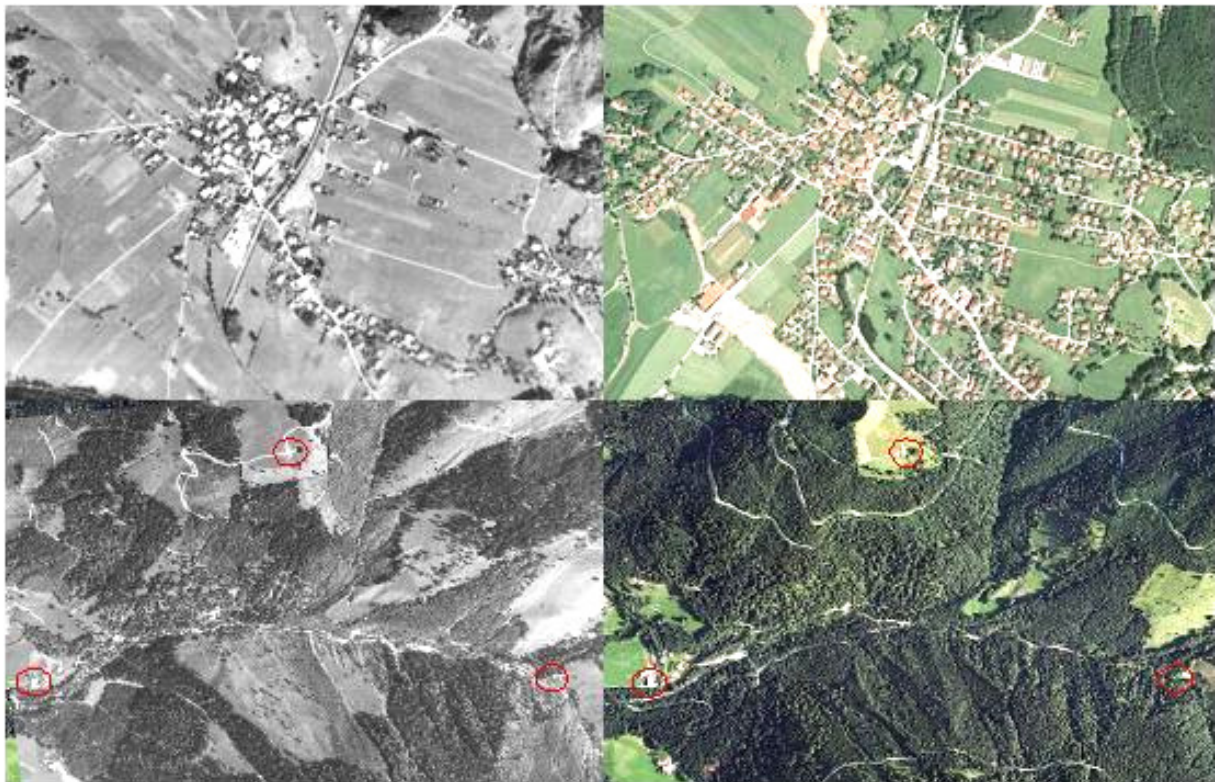


Fig. 2 Veränderung im Einzugsgebiet: Siedlung, Wiederbewaldung, Bsp. Kaltenbach, links 1945, rechts 2006

Fig. 2 change in catchment area: settlement, reforestation, example Kaltenbach, left 1945, right 2006

Bereich Staat:

- neue rechtliche Anforderungen, z.B. EG-Wasserrahmenrichtlinie und EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
- verstärkte Vergabe von Planungs- und Bauleistungen
- umfangreiche Unterhaltungs- und Sanierungsaufgaben infolge eines hohen Bauwerksbestandes
- Übergang von einer Eingriffsverwaltung hin zu einer Leistungsverwaltung

Bereich Gesellschaft

- andere Erschließungsmöglichkeiten und Nutzungsansprüche in den stark gewachsenen Siedlungsgebieten
- gesteigertes Schutzbedürfnis bei gleichzeitig höheren Werten und Verletzlichkeit
- Konkurrenz für das Thema Naturgefahren in der öffentlichen Wahrnehmung

HEUTIGE SITUATION

Diese heute stark geänderten Randbedingungen treffen auf einen immens großen Bestand an Schutzbauwerken der Wildbachverbauung. In den letzten Jahren wurden in Bayern systematisch alle Wildbachbauwerke erfasst, kartiert und eine erste überschlägige Zustandsbewertung vorgenommen. In den weit über 100 Jahren Wildbachverbauung ist hier ein großes Anlagevermögen entstanden: insgesamt rund 45.000 Schutzbauwerke, davon allein rund 15.000 Sperren, sind erfasst worden, von denen zahlreiche in den nächsten Jahren das Ende Ihrer Lebensdauer erreichen werden und zur Sanierung oder gar zum Neubau anstehen werden.

Dem steht gegenüber eine flächendeckende Erfassung aller noch bestehenden Schutzdefizite für Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen. Diese Arbeit ist noch nicht abgeschlossen, aber es zeichnet sich auch hier ein sehr großer weiterer Bedarf an Schutzkonzepten bzw. Risikomanagement im bayerischen Alpenraum ab. Bisher wurden über 200 Vorhaben mit hoher und mittlerer Priorität ermittelt, welche Investitionskosten im dreistelligen Millionenbereich nötig machen.

Damit steht die Wildbachverbauung in Bayern in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vor großen Herausforderungen, nämlich zum einen den Bestand, oder zumindest das vorhandene Schutzniveau, zu erhalten und auf der anderen Seite die umfangreichen nach wie vor bestehenden Schutzdefizite zu begleichen. Zudem steht die Öffentlichkeit staatlichen Planungen heute sehr kritisch gegenüber. Daher müssen diese auf dem Stand der Technik beruhen und mit modernen Methoden erarbeitet werden. Um hier optimale Synergien zu nutzen, nachhaltige Lösungen zu erzielen und das strategische Vorgehen zu optimieren erschien eine Gesamtüberprüfung und Neuausrichtung des derzeitigen Vorgehens geboten. Dazu wurde ein umfangreiches Pilot- und Forschungsprojekt ins Leben gerufen.

FORSCHUNGSPROJEKT

In mehreren Workshops mit Beteiligung von Kolleginnen und Kollegen aus verschiedenen Verwaltungsebenen wurden die Fragestellungen, Vorgaben und die Eckpunkte für das Forschungsprojekt erarbeitet. Das Projekt gliedert sich in zwei Phasen:

In einer ersten Projektphase sollten vier Wildbacheinzugsgebiete von Ingenieurbüros „unvoreingenommen“ untersucht werden und Varianten für die künftige Optimierung der Unterhaltung und eines evtl. sinnvollen Ausbaus erarbeitet werden. Diese Studien liegen inzwischen vor.

Die Ergebnisse dieser Pilotstudien sollen in der künftigen zweiten Phase des Projektes auf wissenschaftlicher Basis kritisch hinterfragt, überprüft und bewertet werden. Ziel dieser Phase ist einen Leitfaden auszuarbeiten, nach dem künftig Wildbacheinzugsgebiete in Bayern umfassend untersucht und nach integralen, anpassungsfähigen und zukunftsweisenden Risikomanagementansätzen gesucht werden soll.

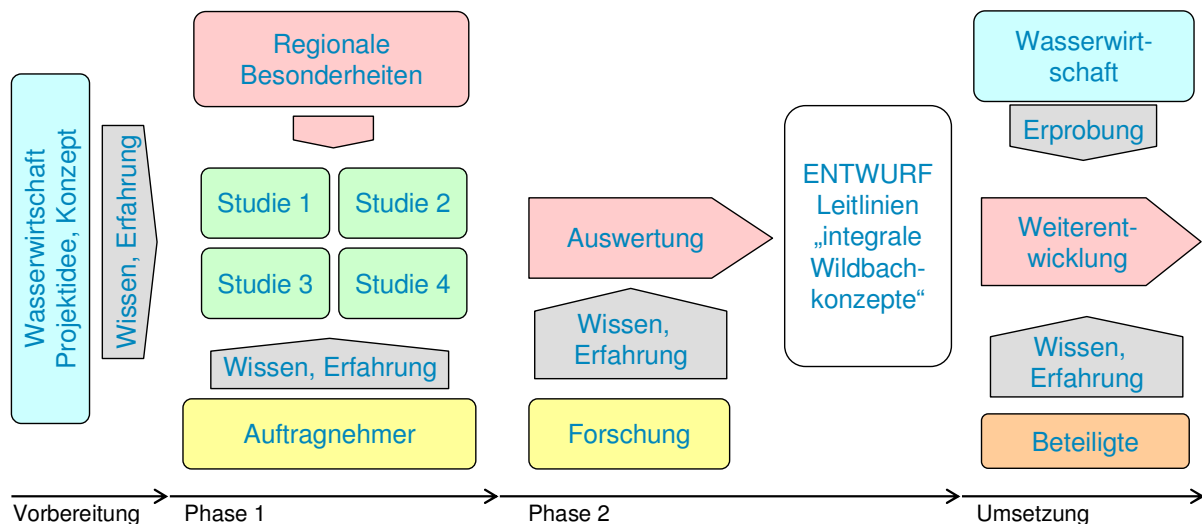


Fig. 3 Aufbau Forschungsprojekt

Fig. 3 structure research project

Die wesentlichen neuen Ansätze und Aspekte im Vorgehen sind:

- auch provokante Fragen sollen gestellt und betrachtet werden, um zu einer Optimierung der Unterhaltungsstrategie hinsichtlich Finanzen, Personal, Technik und Dauerhaftigkeit zu kommen. Solche sind z.B. „Was passiert, wenn die Bauwerke nicht mehr unterhalten und saniert werden?“, „Ist eine neue große Sperre kosteneffizienter als viele kleine Sperren?“, ...
- eine Kombination aus Unterhaltung/Sanierung mit ggf. (auch künftig) erforderlichem Neubau/Ausbau von Schutzmaßnahmen soll von vorneherein betrachtet werden.
- bereits stattgefundenene und mögliche künftige Entwicklungen, wie Nutzungsänderungen, Tourismus, Ökologie, Land- und Fortswirtschaft... (nicht nur Klimawandel!) sollen mit in Erwägung gezogen werden und ggf. berücksichtigt werden; dies dient auch einer Art Sensitivitätsanalyse des Schutzsystems „Was würde passieren, wenn ...?“
- insgesamt sollen flexible und anpassungsfähige Schutzkonzepte unter Beteiligung aller wichtigen Beteiligten und Betroffenen erarbeitet werden.
- die neuen und wissenschaftlich abgesicherten Ansätze sollen in einem Leitfaden „Weg zu integralen Wildbach Entwicklungskonzepten“, mit Empfehlungen für geeignete Methoden und Instrumente zusammengefasst werden

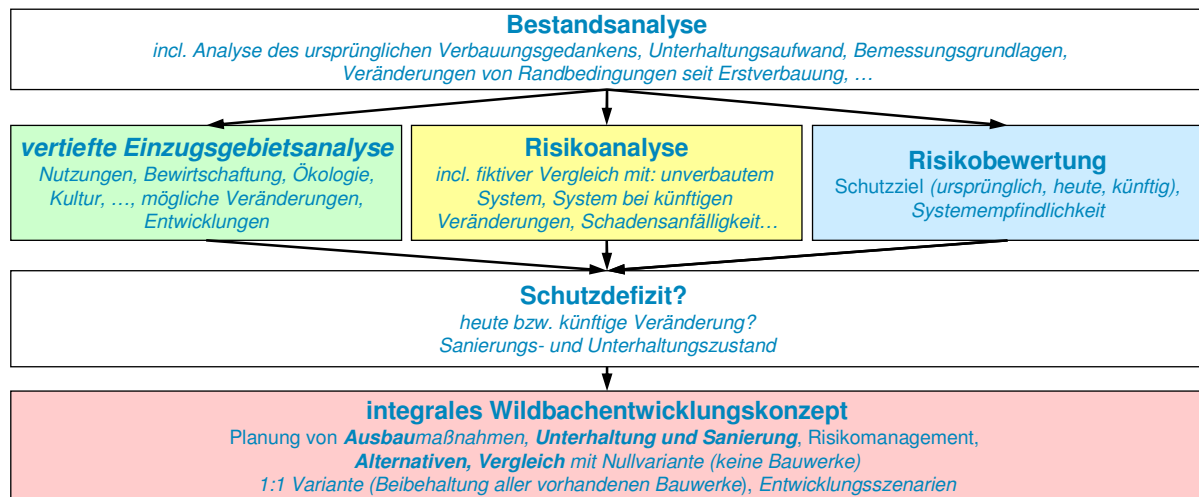
Insgesamt betrachten wir vor allem die Kombination aus bestehenden und neuen Elementen zu einem integralen holistischen und nachhaltigen Masterplan für ein gesamtes Einzugsgebiet als Meilenstein hin zu einer neuen modernen Strategie.

VORGABEN FÜR PILOTSTUDIEN UND „MODERNE SCHUTZSTRATEGIE“

Zeitgemäße Schutzstrategien müssen künftig noch stärker den sich wie oben dargestellt, ständig verändernden Anforderungen gerecht werden. Daher wird es unabdingbar, künftig noch intensiver als bisher auf integrale und vor allem anpassungsfähige Strategien zu setzen.

Um zu wirkungsvollen Schutzstrategien zu gelangen müssen neben historischen und praktischen Erfahrungen auch die Erkenntnisse aus aktuellen Forschungen und Entwicklungen in die Abwägung und Lösungsfindung mit einfließen.

Unsere Vision für moderne ganzheitliche Schutzstrategien kann durch folgende erste Eckpunkte zu den angestrebten „Leitlinien für die Aufstellung integrale Wildbachentwicklungskonzepte“ umrissen werden:



kursiv: neue Elemente bzw. verstärkte und vertiefte Betrachtung

Fig. 4 Struktur der Pilotstudien

Fig. 4 structure of the pilot studies

Allgemein:

- den Rahmen für das Vorgehen bildet das Risikokonzept (PLANAT (2009))
- auch bei punktuellen (Ausgangs-)Problemen sollte in der Regel das gesamte Einzugsgebiet betrachtet werden
- mögliche oder absehbare künftige Veränderungen sollen in Form von Szenarien in die Überlegungen mit einbezogen werden
- die Beteiligten und Betroffenen sollen eng in den Diskussionsprozess eingebunden werden und wo möglich auch selbst einen Teil der Verantwortung übernehmen
- zur erfolgreichen Umsetzung soll ein enger Schulterschluss zwischen Wissenschaft, Verwaltung und Praxis erreicht werden

Risikoanalyse:

- das Gesamtsystem (zugrundeliegende Schutzstrategie, Randbedingungen, ...) sollte grundsätzlich komplett überprüft werden
- ein fiktiver Zustand ohne Verbauung sollte mit betrachtet werden, um die Wirkung und Relevanz der vorhandenen Verbauung vor dem Hintergrund veränderter Randbedingungen abschätzen zu können

Risikobewertung:

- die Definition von Schutzzielen soll in einem Risikodialog zusammen mit allen Betroffenen erarbeitet werden; hierbei sollen differenzierte Schutzziele bezogen auf die Nutzungen und Gefahrenprozesse risikobasiert definiert werden und keine pauschalen Standardlösungen verwendet werden
- aktuelle und voraussichtliche Entwicklungen sind mit zu berücksichtigen

Maßnahmenplanung:

- Ziel ist eine Maßnahmenkombination aus den unterschiedlichen Feldern des integralen Risikomanagements, um „weiche“ und damit anpassungsfähige und nachhaltige Gesamtkonzepte zu erreichen
- nur eine Optimierung des Schutzsystems auf mehrere Ziele hin kann eine nachhaltige Gesamtlösung bewirken. Bezüglich des Personal- und Finanzaufwandes sollen die Kosten für künftige Unterhaltung und erforderliche Anpassungen einbezogen werden
- die Betrachtung des Überlastfalls soll elementarer Bestandteil der Vorgehens werden

ERSTE ERGEBNISSE DER PILOTSTUDIEN

Auch für die Auftragnehmer waren die Anforderungen an die Pilotstudien hoch. Keiner hat bisher eine ähnlich komplexe Fragestellung, ausgehend von historischen Analysen des Verbaunsgedankens über die Betrachtung eines fiktiven verbaunsgsfreien Zustandes bis hin zur Berücksichtigung künftiger Nutzungs- und Klimaveränderungen bearbeitet.

Für die Bearbeitung der Pilotstudien wurden vier sehr unterschiedliche Einzugsgebiete aus dem bayerischen Alpenraum ausgewählt. Die wichtigsten Gebietsdaten sind in **Tab. 1** zusammengestellt.

Tab. 1 Übersicht Einzugsgebiete

Tab. 1 overview data of the catchment areas for pilot studies

	TS	KE				RO	WM	
Name	Kaltenbach	Hirschberg (3 kleine EG)	Vorderh. Dorfbach	Zillenbach	Hirschbach	Giessen- bach	Große Laine	
Gmd.	Unter- wössen	Bad Hindelang	Bad Hindelang	Bad Hindelang	Bad Hindelang	Kiefers- felden	Ober- ammerngau	
Fläche	6,6	5,8	1,4	1,6	2,8	20	10	km ²
Bauwerke	164	575	140	205	230	170	332	Stück
HQ100	42		14	27	35	80	42	m ³ /s
Niederschlag	2100	1900				1600	1470	mm
Wald	83	50	k.A.	70%	65%	70	70	% EG Fläche
Höhe max.	1742	1651	1540	1570	1644	1700	1682	müNN
	590		860	900	800			
max. Fließlänge	5	3,5				9,4	6,8	km
Gerinnelänge			6,3	7,52	10,64	63	21,5	km

Die Ergebnisse müssen erst noch weitergehend ausgewertet und darauf geprüft werden, ob sie zu verallgemeinern sind. Dennoch sollen hier einige wichtige erste und vorläufige Ergebnisse der Pilotstudien dargestellt werden:

- In allen Studien wurden bisher in Bayern nicht verwendete Verfahren und Methoden angewandt, die im weiteren verglichen und beurteilt und in die Weiterentwicklung unserer Strategie eingearbeitet werden können.
- Teilweise wurden mit verschiedenen Verfahren sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt, welche in der wissenschaftlichen Auswertung näher untersucht werden müssen.
- In manchen Fällen wurde in den Studien trotz enger Vorgaben sehr unterschiedlich vorgegangen, was die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar macht.
- Es wurden sehr starke Veränderungen in den Einzugsgebieten festgestellt (neben deutlicher Zunahme der Besiedelung auch sehr starke Veränderungen in der Bewaldung), die das Schutzsystem stark beeinflussen und in dem Ausmaß bisher nicht bewusst waren.
- Die Betroffenen und Gemeinden wurden in der Phase der Pilotstudien, mit sehr experimentellem Charakter, nicht eingebunden. Daher konnten keine relevanten künftigen Entwicklungen bei Nutzungen, Tourismus u.a. erkannt und einbezogen werden.
- Betrachtungen über den Bemessungsfall des HQ₁₀₀ hinaus liefern wichtige Erkenntnisse zu Restrisiken, möglichen Kippunkten des Systemverhaltens und zeigen somit auf, wie bei evtl. künftigen Veränderungen oder bei notwendigem Neubau zukunftsweisend reagiert werden könnte.
- In allen Einzugsgebieten wurden „entbehrliche“ Bauwerke identifiziert, die nach heutigen Standards und Anforderungen nicht mehr oder nicht mehr in der Art und Weise benötigt werden, ohne dass bei einer Auflassung das derzeit vorhandene Schutzniveau verringert würde.
- Insofern ist die 1:1 Sanierung (Unterhaltung und ggf. Wiederaufbau aller vorhandenen Bauwerke in der bisher bestehenden Form) nie das Mittel der Wahl für eine nachhaltige Lösung
- Teilweise können die reinen Unterhaltungskosten bei Beschränkung auf die notwendigen Bauwerke gegenüber der 1:1 Unterhaltung aller Bauwerke mehr als halbiert werden

(Einzelergebnisse, noch nicht verallgemeinerbar!). Damit kann Spielraum für die Fülle der anstehenden Aufgaben geschaffen werden.

- In allen Einzugsgebieten besteht aus heutiger Sicht Anpassungsbedarf im Bereich aufgedeckter Schwachstellen oder im Sinne einer Optimierung des Gesamtsystems

Darüber hinaus gab es einige interessante Einzelergebnisse, die bzgl. ihrer Übertragbarkeit noch überprüft werden müssen. Beispielhaft sollen hier einige wiedergegeben werden:

Im Einzugsgebiet des Kaltenbach (vgl. **Tab. 1**) ist eine starke Zunahme des Waldes in den letzten Jahrzehnten zu verzeichnen (vgl. **Fig. 2** unten). Viele erosionsgefährdete Bereiche haben sich demzufolge stabilisiert. Vor allem in den Oberläufen sind Bauwerke entbehrlich geworden. Potenzielle Folgen eines fiktiven sog. „Nullszenarios“ (kein weiterer Unterhalt und Sanierung von Bauwerken mehr) wurden anschaulich in einem Einzugsgebietsüberblick dargestellt (vgl. **Fig. 5**).

Zahlreiche Bauwerke sind entbehrlich, ohne das Schutzniveau zu beeinträchtigen. Damit können die Unterhaltungskosten mehr als halbiert werden. Defizite bestehen vor allem bei der Bewältigung des Überlastfalles. Dazu wurden Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet.

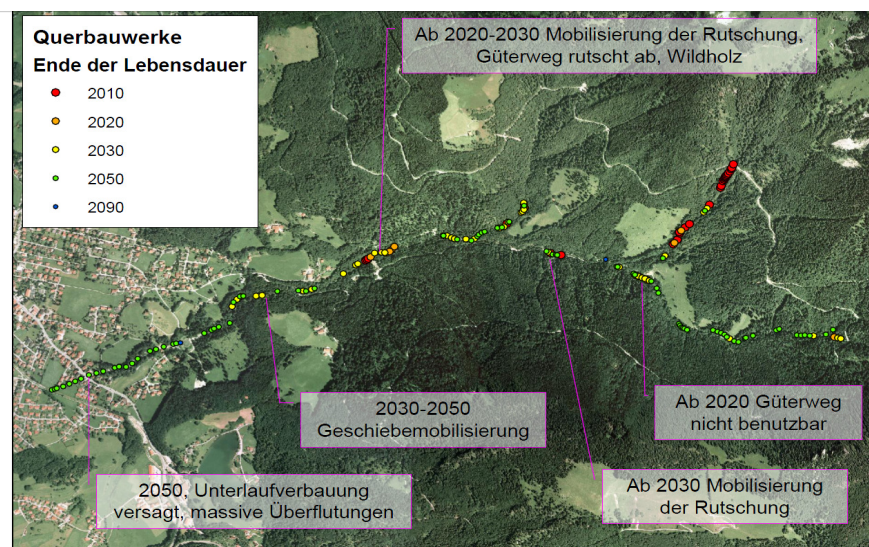


Fig. 5 Entwicklung bei fiktiver „Nullreferenz“ (keine Unterhaltung und Sanierung der Bauwerke), Bsp. Kaltenbach (vgl. WWA TS, 2011)

Fig. 5 future development virtual „zero-reference“ (no more maintenance and reconstruction of the structures), example Kaltenbach (see WWA TS, 2011)

Am Beispiel des Giessenbaches wurden detaillierte zeitlich differenzierte Betrachtungen der Kostenentwicklung vorgenommen. Eine längerfristige Betrachtung von laufenden Kosten und dem Bauwerkszustand zeigt **Fig. 6**. Als eines von vier Beanspruchungsszenarios wurde hier betrachtet, dass im Gesamtzeitraum (100a) 9 kleinere Ereignisse (HQ10) und ein Großereignis (HQ100) auftreten. Die Ergebnisse der anderen Beanspruchungsszenarios unterscheiden sich davon nur gering (z.B. ein Bemessungsereignis bzw. Extremereignis im Betrachtungszeitraum oder nur 10 kleinerer Ereignisse (HQ10)).

Hier wurde das Erhaltungsszenario „Verfall der Standardbauwerke und Erhalt der Schlüsselbauwerke“ betrachtet. Deutlich ersichtlich ist, dass die laufenden Kosten sich mit der Zeit verringern, wenn weniger Bauwerke vorhanden sind, die unterhalten werden müssen.

Auch in diesem Einzugsgebiet sind, auch bei Beibehaltung des derzeitigen Schutzniveaus, zahlreiche Bauwerke entbehrlich. Allerdings ist hier der Schwemmkegel im Unterlauf nicht besiedelt, was für den Bayerischen Alpenraum eher untypisch ist.

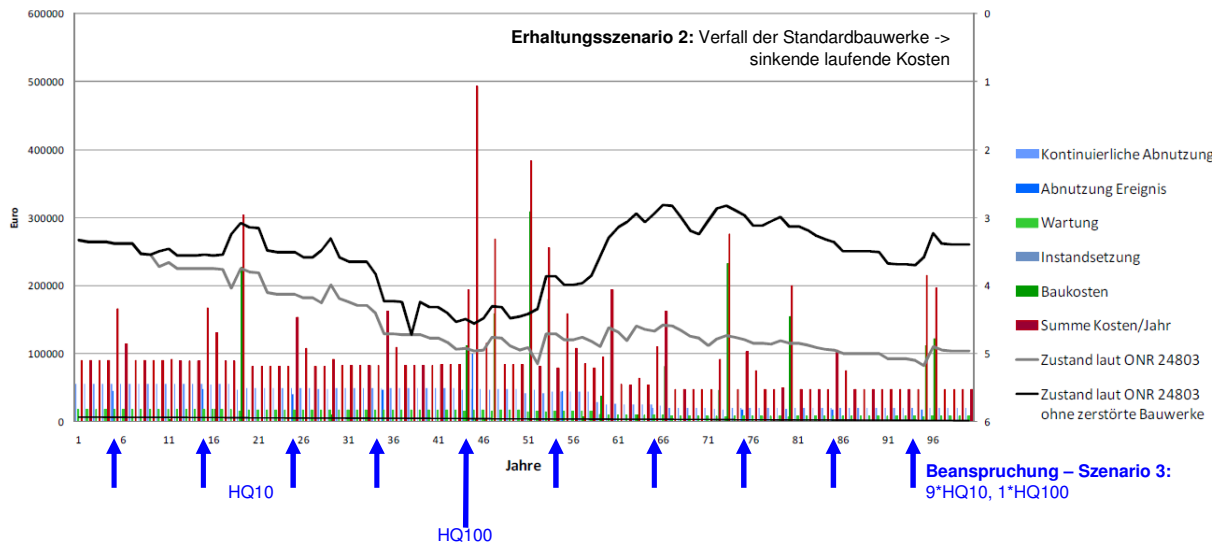


Fig. 6 Entwicklung laufende Kosten, Bsp. Verfall Standardbauwerke, Erhalt Schlüsselbauwerke (vgl. WWA RO, 2011)

Fig. 6 running expenses, example decay of standard structures, preservation key structures (see WWA RO, 2011)

In den drei kleineren Einzugsgebieten bei Bad Hindelang sind Murereignisse prägend. Es wurden zahlreiche Defizite und Schwachstellen in der bisherigen Verbauung herausgearbeitet. Eine wertvolle und aufschlussreiche Darstellung ist die Karte der Schwachstellen (vgl. **Fig. 7**) auf Basis der Schwachstellenanalyse. Dort werden die kritischen Punkte identifiziert, welche bei unterschiedlicher Ereignishäufigkeit auftreten. Für eine Einsatz- und Evakuierungsplanung ist dies eine elementare Grundlage und sollte in keiner Gemeinde fehlen.

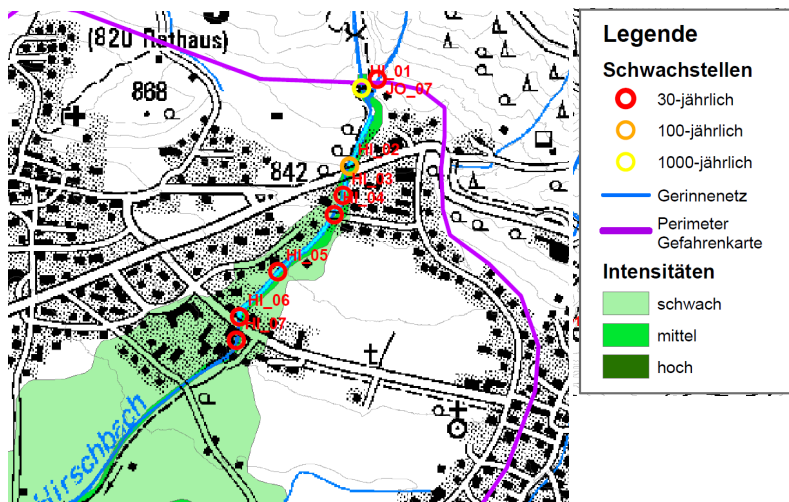


Fig. 7 Darstellung von Schwachstellen und Intensitäten im Bachsystem, Bsp. Hirschberg (vgl. WWA KE, 2011)

Fig. 7 clear illustration of weak points and intensity in the torrent system, example Hirschberg (see WWA KE, 2011)

Für das Einzugsgebiet der Großen Laine wurde herausgearbeitet, dass durch eine optimale Waldentwicklung (gestufter, verjüngter Mischwald mit verträglicher Beweidung und angemessenem Wildbestand) die heutigen Abfluss- und Feststofftransportwerte um 10-30% reduziert werden können, wohingegen sie sich bei einem Katastrophenszenario (großflächige Sturmschäden mit anschließendem Borkenkäferbefall) um eine ähnliche Größenordnung erhöhen würden (vgl. Fig. 8).

Hier bestehen noch umfangreiche Schutzdefizite, so dass das Gemeindegebiet von Oberammergau bei einem HQ₁₀₀ noch stark gefährdet ist. Der weitere Ausbaubedarf ist immens. Insofern steht hier die

Frage der Unterhaltung nicht so sehr im Mittelpunkt. In den Oberläufen wurden von den 332 Bauwerken rund 10-15% als entbehrlich identifiziert. In diesem Fall ist die Kosteneinsparung im Rahmen der Unterhaltung aber nur gering.

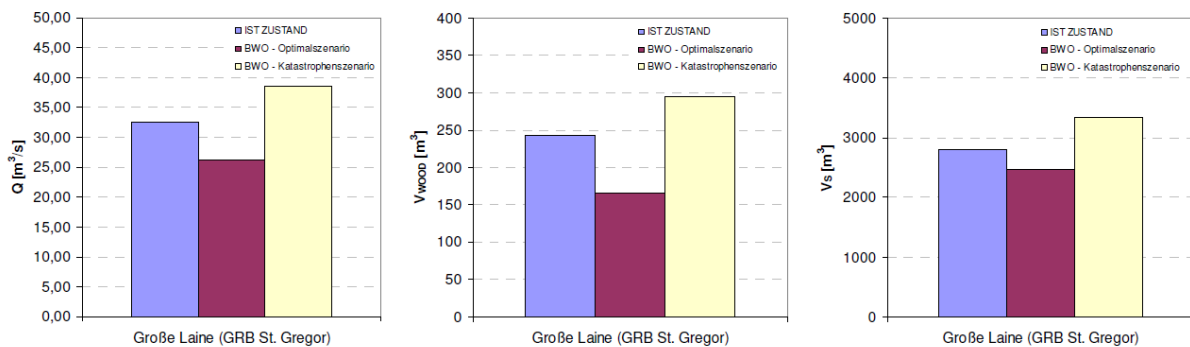


Fig. 8 Auswirkung Waldentwicklungsszenarios auf Abfluss (links), Holz- (mitte) und Geschiebevolumen (rechts); linke Säule: IST, mittlere Säule: optimale Waldentwicklung, rechte Säule: Kalamitätsszenario (vgl. WWA WM (2011))

Fig. 8 effect of forest development scenarios on discharge (left), wood (middle) and bed load (right); left column: actual situation, middle column: optimum forest development, right column: calamity scenario (see WWA WM (2011))

FAZIT, AUSBLICK

Die Ergebnisse der Pilotstudien sind sehr vielversprechend. Sie bilden eine hervorragende und breite Grundlage für die Auswertung und die Aufstellung von Leitlinien zur „Erarbeitung integraler Wildbachentwicklungskonzepte“ durch die TU München.

Die Auswertung der Studien und Ausarbeitung der Leitlinien soll ab Ende 2011 beginnen und wird rund 1-2 Jahre in Anspruch nehmen.

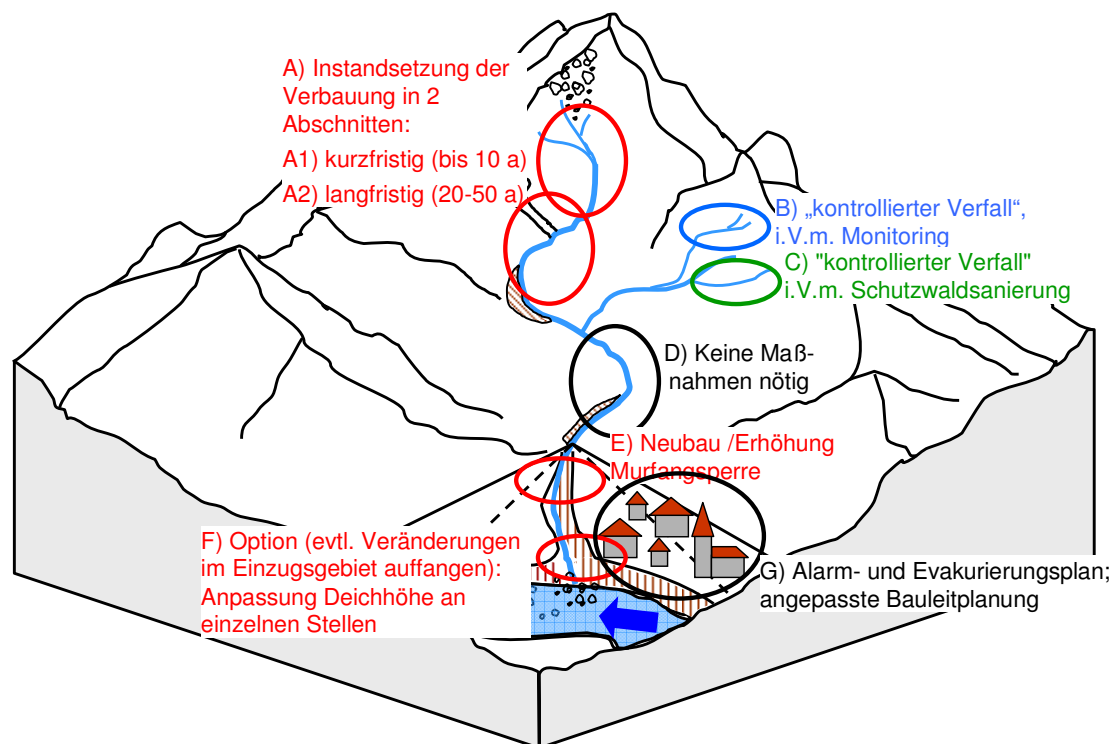


Fig. 9 Schemabeispiel von Elementen eines integralen Wildbachentwicklungskonzeptes

Fig. 9 schematic example of elements in a integral torrent development concept

Derzeit haben wir folgende Vorstellung zu unserer künftigen Wildbachstrategie:

- Nach der Aufnahme und Erstbewertung aller Wildbachbauwerke in Bayern wird eine Priorisierung der anstehenden Unterhaltungs- und Sanierungsaufgaben durchgeführt werden.
- Für umfangreichere Arbeiten und größere Einzugsgebiete sollen dann integrale Wildbachentwicklungskonzepte nach den im Projekt zu erarbeitenden Leitlinien aufgestellt werden.
- Dieses integrale Wildbachentwicklungskonzept bildet dann die Grundlage aller Arbeiten im Einzugsgebiet für die nächsten Jahrzehnte und zwar für Unterhaltung/Sanierung und möglichen weiteren Ausbau. **Fig. 9** zeigt beispielhaft, aus welchen Elementen solche Entwicklungskonzepte bestehen könnten. Insbesondere bietet das Konzept auch eine hervorragende Vorbereitung auf die Phase des Wiederaufbaus nach einem möglichen Hochwasserereignis. Dann muss nämlich häufig in kurzer Zeit über den reinen Wiederaufbau oder mögliche und notwendige Anpassungen entschieden werden. Nur wenn eine fundierte Analyse bereits vorhanden ist, kann diese kurze aber sehr große Chance zur Verbesserung der Resilienz des Schutzsystems genutzt werden.
- Selbstverständlich müssen auch die Integralen Wildbachentwicklungskonzepte bei größeren Veränderungen oder in gewissen Zeitabständen angepasst und fortgeschrieben werden.

LITERATUR

- OBB (1955): „Hochwasserschutzmaßnahmen in Südbayern - Alpenplan“. Oberste Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Innern, Eigenverlag, Dezember 1955
- StMUG (2003): „Schutz vor Hochwasser in Bayern- Strategie und Beispiele“. Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Eigenverlag, Juni 2003
- PLANAT (2004): „Strategie Naturgefahren Schweiz - Synthesebericht“. Nationale Plattform Naturgefahren, November 2004, <http://www.planat.ch>
- PLANAT (2009): „Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden; Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts“. Nationale Plattform Naturgefahren, vorläufige Version Februar 2009, <http://www.planat.ch>
- WWA KE (2011): „Bad Hindelang – integrales Wildbachsanierungskonzept“, Technischer Bericht, Studie im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Kempten, unveröffentlicht
- WWA WM (2011): „Pilotstudie integrales Wildbachsanierungskonzept Große Laine“, Technischer Bericht, Studie im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim, unveröffentlicht
- WWA RO (2011): „Erhaltungskonzept Giessenbach“, Technischer Bericht, Studie im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Rosenheim, unveröffentlicht
- WWA TS (2011): „Integrales Wildbachsanierungskonzept für den Kaltenbach, Gmd. Unterwössen, Lk. Traunstein“, Technischer Bericht, Studie im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes Traunstein, unveröffentlicht

NATURAL HAZARDS IN SWITZERLAND: DATA ACQUISITION, ADMINISTRATION, DISTRIBUTION AND USE

THE IMPORTANCE OF CONCEPTUAL DATA MODELS

Wolfgang Ruf¹ and Roberto Loat²

ABSTRACT

The availability of data plays an important role within the integral risk management of natural hazards. They provide the basis for most of the activities within the integrated risk cycle. It is therefore essential to make the adequate data disposable for different users. Since data acquisition is distributed over many stakeholders, especially the cantons, it is crucial to harmonize the data needed over entire Switzerland. Conceptual data models are the tool to exchange information between different databases independent on their platform and technical implementation. This process is supported by a new legislation about geoinformation. In the field of natural hazards, different conceptual data models are currently being developed. The whole process brings the stakeholders together and leads to a common understanding. The data models create the basis for a common analysis of existing data, thus providing multiple uses of existing data and supporting the risk management.

Keywords: data modelling, natural hazard assessment, natural hazard management, risk management

INTRODUCTION

Living with natural hazards is one of the key challenges for the society. Especially alpine countries like Switzerland are exposed to natural hazards. The event inventory and the hazard maps showed that over 80% of the communities are endangered by either flooding, landslides, rockfall or avalanches. In order to deal with these phenomena, a profound knowledge about the hazardous situation, the existence and state of protective structures, past events, damage potential, vulnerability and risk is crucial for the success of any measures. It is also essential that the information is easily accessible, spread to all stakeholders, in an understandable way, specifically adapted and illustrated for different needs.

This paper focuses on the data needed and used in the integrated risk management of natural hazards. This covers the question of which data are needed, the data sampling and collection, data assimilation, management, distribution, illustration and use. The case of Switzerland will be described here. The responsibility for the protection against natural hazards lies on a cantonal level, for the emergency planning on a local level. The federation has the guidance competence on a strategic level, subsidises cantonal measures and elaborates legal foundations. Based on legislation, conceptual data models must be developed also within the field of data on natural hazards.

Integrated Risk Management

Nowadays, it is nationally and internationally accepted that the task of dealing with natural hazards and risks can only be fulfilled, if the processes are seen and dealt with in an integrated manner. Integrated means overcoming the past approach of sectoral thinking and the coincident consideration of the entire system in order to optimise the measures, because space, money and manpower are limited. Integrated must be seen in different aspects:

¹ Dr. Wolfgang Ruf. Federal Office for the Environment, Division of Hazard Prevention, 3003 Bern, Switzerland
(e-mail: wolfgang.ruf@bafu.admin.ch)

² Roberto Loat. Federal Office for the Environment, Division of Hazard Prevention, Switzerland

1. *Processes*: All process types of natural hazards must be considered. The Swiss federal law covers so far only the hazard processes of flooding, landslides, rockfall and avalanches, but however not yet of the processes of storm, hail, earthquakes.
2. *Phases*: Further, integrated is related to all phases of the risk cycle, starting from preparedness over response to recovery. Hazard and risk fundamentals are in its centre, since they are the basis of all measures to be undertaken.
3. *Measures*: Measures of the integrated risk management against natural hazards cover planning measures (especially spatial planning and local protection), biological measures (protective forest), structural protection measures, organisational measures (forecast systems, warning and alarming, emergency planning and intervention measures), and financial measures (recovery by insurance companies).
4. *Procedure*: Considering the measures, risk management is concerned with the following aspects: hazard assessment, risk assessment, planning of measures, implementation of measures, maintenance and replacement, validation of measures resp. protective structures.

DATA MANAGEMENT

Data management comprises a whole chain of different processes, as illustrated in Fig. 1. It starts with an analysis about all stakeholders involved and their needs. It must be considered, under which circumstances and costs data can be collected, and what is their use and benefit. Before starting collecting data, the general characteristics of the target object in itself must be reflected in detail, and then it must be defined, which subset of the characteristics (parameters) should be collected. Then, objects or phenomena are being observed, and the results are recorded on paper forms or in electronic format (data acquisition). Then, data preparation including quality control must take place, the data must be stored, preferably in a database, and be maintained (data administration). Data may either first be analysed and interpreted to make statements and to answer questions and then distributed, or the original data may directly be distributed to all stakeholders (data distribution). They can analyse and interpret them further and use them for their tasks of risk management (data use).

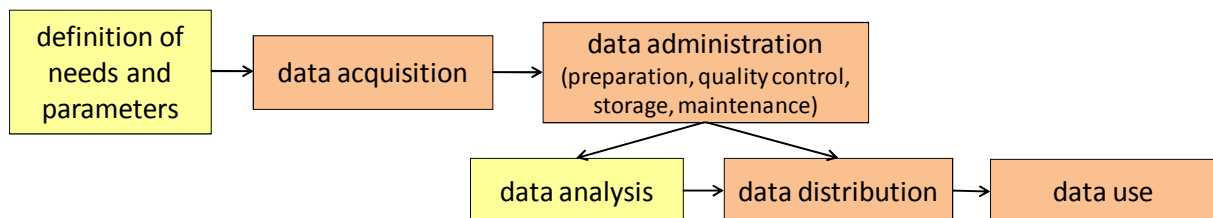


Fig. 1 Different elements of data management

NEED FOR DATA

Different stakeholders need different data for different purposes at different phases within the integrated risk management. It is very important to clarify their needs, but at the same time to consider the effort needed for the data collection. For many evaluations it is crucial to have a homogeneous database, hence claiming more for a complete rather than a too detailed database. The data model, which claims for harmonised data on a national level must therefore fulfil the requirements of the federal authorities as well as other nationwide or intercantonal stakeholders. The federal administration needs only a small part of the data, mostly in an aggregated way, for political purposes and for strategic leadership. On the other hand, data are needed for the risk dialogue and the risk awareness of the population. Consultants have an advantage of harmonised data while having adapted some methods based on the availability of the data in a specific format. For further details see below under chapter “Data Use”. All data, which go beyond these requirements, do not need to be harmonised and included in the data model, but can be left for the data specification for the local authorities.

In the field of natural hazards, data models are being or planned to be elaborated for the following topics, given some prioritisation and current state of development (Tab. 1):

Tab. 1 Overview over the most important fields where data models are being developed or planned. Data models of priority 1 have been completed; those of priority 2 are under development, and those of priority 3 are planned.

Field / Data model	Priority	Remarks
hazard mapping	1	revision of data model after official consultation procedure; illustration model in preparation
inventory of past events (processes)	2	contents of data model defined and revision after first feedbacks; data and illustration model in preparation
protective structures	2	contents of data model defined and revision after first feedbacks; data and illustration model in preparation
damage of past events	3	will be excluded from the inventory of the processes of past events; new strategy still to be defined (together with other stakeholders, which were not yet addressed)
protective forests	3	work not yet started
damage potential and risk	3	work not yet started

NEED FOR HARMONISATION

Harmonisation of the data over the entire country is essential to fulfil the data needs. Data must be analysed and usually illustrated in maps over the whole country, because many stakeholders work on an intercantonal or a federal level, including the federal administration itself. Information being available at the cantons must be selected or aggregated to the standard, which is required on a national level. Besides this, a new legislation framework about geoinformation became effective in 2008 (GeoIG, 2007; GeoIV, 2007), with the following key targets:

1. Conceptual data models must be defined for all geodata based on a federal legislation under the leadership of the responsible federal office, regardless whether the federal or the cantonal governments are responsible for the data.
2. These data models must be applied over entire Switzerland i.e. harmonized over all cantons.
3. Each body responsible for a specific data set is obliged to provide the data respecting the content and specifications of the data model latest five years after the model became effective.
4. The data must be shown and made accessible to the public.
5. The federal governmental bodies are responsible for the definition of the data models, but must elaborate them together with the authorities, which are responsible for the specific data set. Where desirable, also data illustration models should be elaborated for a homogeneous graphical representation of the model.

On top of the national legislation, the European INSPIRE directive about data specifications has also to be considered because of the Swiss membership of the European Environmental Agency. Data have therefore also to be transmitted to the European level.

Conceptual data models are the tool to achieve the harmonisation of data. They provide the required information about the structure and content of databases independently from the platform or the technical implementation of any database. The data models to be developed on a national level must hereby consider the methods of data acquisitions, data availability in the cantons and existing data formats. Nationwide data models are being developed in all fields of geodata. It will therefore be possible to combine the data of natural hazards among themselves and with any other data sets e.g. such as the spatial planning data.

The harmonisation contains the object classes with all their characteristics. Inside a class, attributes of various types are defined. It is very important to stress that the harmonisation must not only take place in a formal way as being defined by the conceptual data model, but also concerning the content. Each player must have the same understanding of the content of each attribute. Therefore, a detailed description of the data model is equally important as the formal description itself.

Harmonisation refers not only to the data themselves, but also to their illustration. Geospatial data are almost shown also in form of maps. The user must recognise the same type of feature with the same signature over the entire map. Besides this, depending on the user group, different kind of maps might be produced (e.g. degree of details, purpose of the map), which should also be defined by an illustration model.

DATA MODELLING

Process of Data Modelling and Stakeholder Involvement

The development of conceptual data models is a common task – undergoing different stages - both of experts from different stakeholder groups in the domain of natural hazards and of GIS experts. The manifold relations between the stakeholders, but also different processes involved within the chain of the data management have to be accounted for. Furthermore, in most cases data already exist; they must be compatible with the new structure of the harmonized data model.

The process of the development of the data models was initiated by the Federal Office for the Environment, which has the legislative mandate to define the models. In all cases, the process started with the evaluation of the stakeholders. A poll was started to gather the information about their data management resp. data requirements. Both in the case of hazard mapping and of the inventory of past events, a workshop with all possible stakeholders (federal administration, cantons, insurance companies, owners of infrastructure, scientists, consultants etc.) was organised. Important outcomes of these workshops were the evaluation of everybody's needs, the mutual understanding, the development of a common language, and the motivation for collaboration. Finally, these workshops gave the federal administration the legitimisation and support to develop a common data model.

Detailed discussions took resp. take still place in particular working groups, one group for each data model to be elaborated. A draft version was sent to all stakeholders as information about the state of the work. Feedbacks were integrated by the working group prior to the official consultation process. This participation process involving all stakeholders from data acquisition to data distribution are the best prerequisites for a data model, which will be properly implemented and used in practice. It is time consuming process, but the time is well spent with respect to the overall progress and success of the project.

Relation between reality and data modelling

Data modelling is an all-encompassing process. It involves two domains: the reality and the modelling world. Conceptual data models are a simplified, but structured description of reality for the application in the field of structures of databases. For the hazard mapping, many steps are necessary, a lot of information is gathered, modelling results and expert judgement are integrated to the final products. Furthermore, it must be stressed that the maps are not equivalent to the information of the data model, but the maps must be able to be produced out of the information contained in the data model. The federal administration has already published some guidelines (Bundesamt für Forstwesen et al., 1984; BUWAL et al., 1997; BWW et al., 1997) how to consider the natural hazards for spatial planning activities (hazard mapping). In this case, this is given as the "reality", for which the data model has to be adapted to. The needs stemming from the side of natural hazards must drive the modelling process, not vice versa. One has always to be careful not to include features and attributes in the data model, which are desirable, but for which there is no need for.

On the other hand, there do exist feedbacks from the modelling work to the domain of natural hazards. This concerns on the one hand side the terminology, on the other hand those details, which were not clearly described in the existing guidelines of hazard mapping. This is an important perception and experience coming out from the data modelling work. Only being forced to describe the features and attributes in detail and in a formal language, existing misunderstandings and different interpretations of the existing guidelines became obvious. Therefore, the data modelling work helps also to define the existing guidelines more precisely and bring them further. As soon as there are any future developments in the process of hazard mapping, the data model must consequently be adapted.

Modelling language

Conceptual data models are independent from any technical platform or software. They describe the extent, structure and properties of data sets, which can be integrated in a database. If data should be transferred from the database in one system into another database in another system, a transfer interface must be built. For any combination of possible data transfer between different data bases, this would have to be done separately, if no common description of the data structure being independent from any system existed.

Different data modelling tools and languages have been invented. The first step in data modelling is the description of the reality in a prose language reduced to those features, properties and relationships, which should be reflected in the data model. In this step, there is not yet a standardisation. The following step is the description in a graphical format (e.g. UML-diagrams). These diagrams are used to describe the contents and structure of data sets in a simplified way, possible in different levels of details. They show – divided in different “topics” – all feature classes with their attributes and possible data types. Relationships (“associations”) can also be shown.

For the more precise and detailed description, formal textual data modelling languages were developed. In Switzerland, the language INTERLIS is prescribed by legislation (GeoIV-swis, 2008). Data models written in INTERLIS may also be translated into the internationally used language GML.

CONTENT OF THE DATA MODELS

The state of the modelling process for the conceptual data models to be elaborated is very different (see Tab. 1). Most proceeded is the model for the hazard mapping, which has recently undergone the official consultation process. After some adaptations, it can become effective. The model structure of the version of the consultation process is shown here, as well as the most important outcomes of the process work itself. For the data models for the inventories of past natural hazard events and of protective structures, the basic concept has already been elaborated and is shown in this paper.

Hazard Mapping

The challenge in the modelling process was the fact that most of the cantons have had already developed their own data model. The existence of the corresponding guidelines from 1984 and 1997 (Bundesamt für Forstwesen et al., 1984; BUWAL et al., 1997; BWW et al., 1997) however guaranteed a similar process of the hazard assessment and a precise definition of the hazard maps (degree of hazard for each main natural process), which is the end product of hazard mapping on an aggregated level.

The data model of hazard mapping (see Fig. 2) is divided in two parts: 1. a mandatory part (the minimal data model regarding the legislation), and 2. a supplementary part.

The mandatory part is legally binding for the cantons and is based on those parts of the existing guidelines of hazard assessment, where the requirements are explicitly defined. It comprises the intensities for given probabilities, the hazard levels for each main process (cf. hazard maps) and the synoptic hazard levels (synoptic hazard maps). The supplementary part consists of the parameters that contain the basis information of the hazard assessment. Despite it reflects the existing practice of the majority of the cantons, it is not explicitly specified in the guidelines. Hence, the parameters cannot be compulsory, despite they are meaningful. There are some differences in the cantonal practice, but it was the wish to proactively create a norm according to this future development so that an adaptation of the cantonal models can take place. Future harmonisation shall therefore be facilitated. Future development of the guidelines and the data model must go hand in hand.

Inventory of past natural events

For the past natural events, different inventories exist so far. Each of the 26 Swiss cantons is obliged by federal legislation (WaV, 1992; WBV, 1994) to keep an inventory, which contains data about events of flooding and debris flow, landslides, rockfall and avalanches. The data stem from field observations of the local forest rangers and water engineers. Besides this, a national database about flooding, debris flow, landslides and rockfall, which is based on information from the media, exists since 1972 and is run by the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. For avalanches, a separate database on field observations exists since the end of the 19th century, run by a different section of the WSL. The University of Zurich holds two databases, one about glacier hazards in Switzerland, the other about permafrost related rockfalls. Furthermore, the SBB (Swiss Federal Railways) and the Federal Roads Office have separate databases on past natural events.

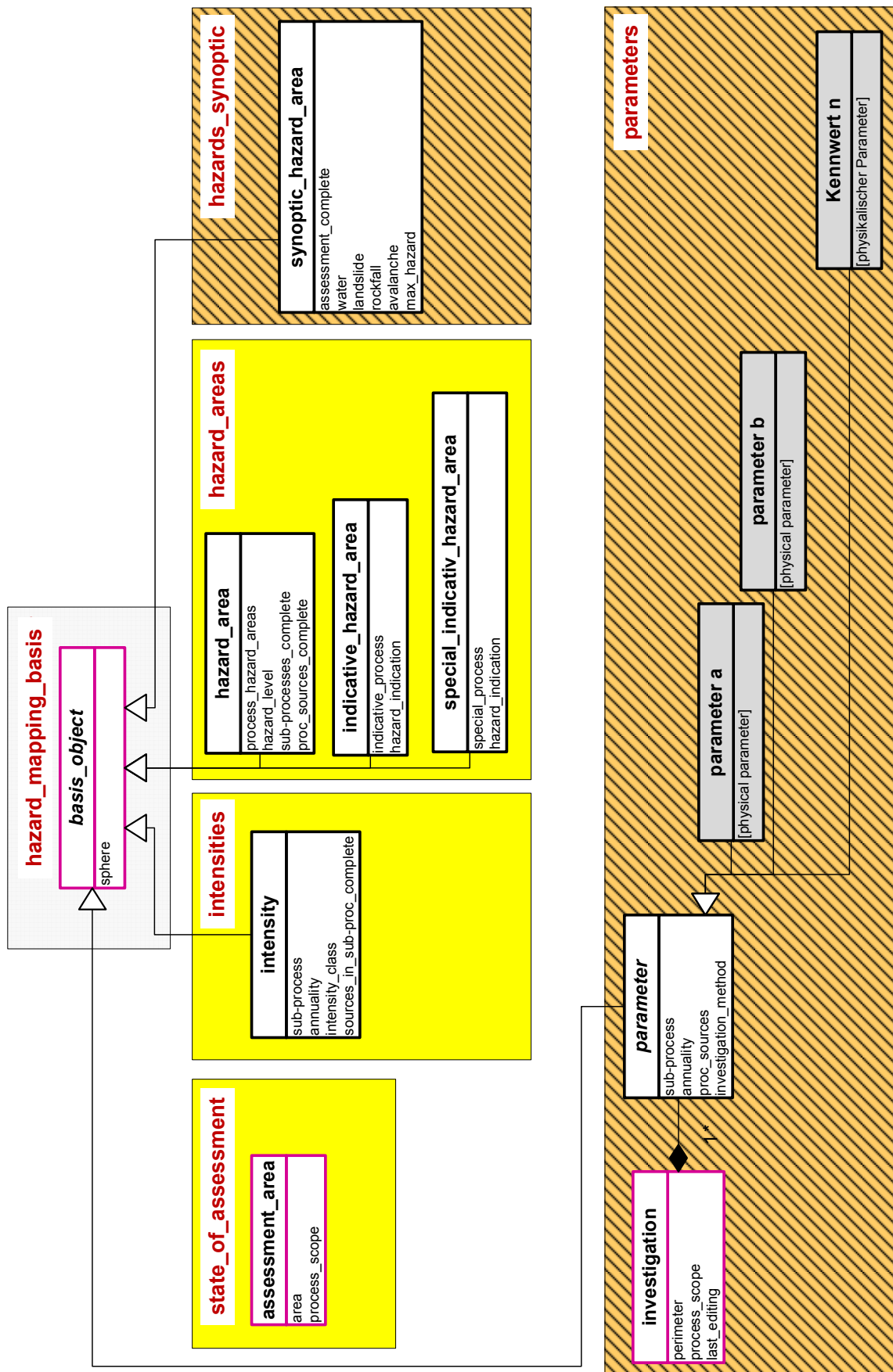


Fig. 2 Data model for hazard mapping: simplified class diagram, state of October 2011. Yellow (i.e. full colour, bright): mandatory part. Orange (i.e. hatched, dark): supplementary part of the model.

The new data model will combine all these different databases, as it is illustrated in Fig. 3. Therefore, a common block of basic data will be identical for all different data sources. For the 26 cantons, a common database exists already; it has however been decided to be simplified. The data model for the cantons will be the same for all, but single cantons might extend them further according to their specific needs. Between the cantonal part of the data model and all others, there will be also some common features (classes and attributes), which go beyond the bloc of the common data. They will be harmonised as much as possible during the development of the new data model.

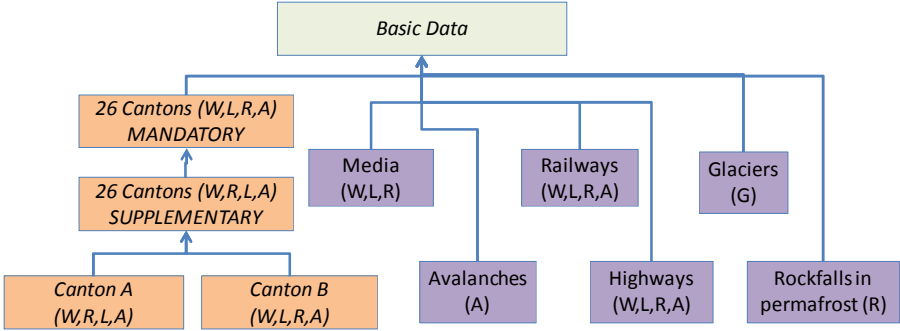


Fig. 3 Structure of the new common data model for the inventory of past natural events. There will be further common features between the particular parts of the model, which are not shown here for the sake of simplicity. The letters indicate the process types contained in the corresponding database (W: water; L: landslide; R: rockfall; A: avalanche; G: glacier).

The data model being developed and under discussion for the cantonal part of the inventory of past natural events is shown in Fig. 4. In its simplification, it will apply similarly also for all other parts of the model, possibly containing less details.

Up to now, the cantonal database contains also quantitative monetary information about damages related to single events. The experience showed that they cannot be acquired reliably during an event by the local observers. It has hence be decided to exclude these data from this inventory and to plan a separate data model and database containing only the damages. There, each stakeholder having been affected by the event should contribute to the database by delivering the damage information in his own domain.

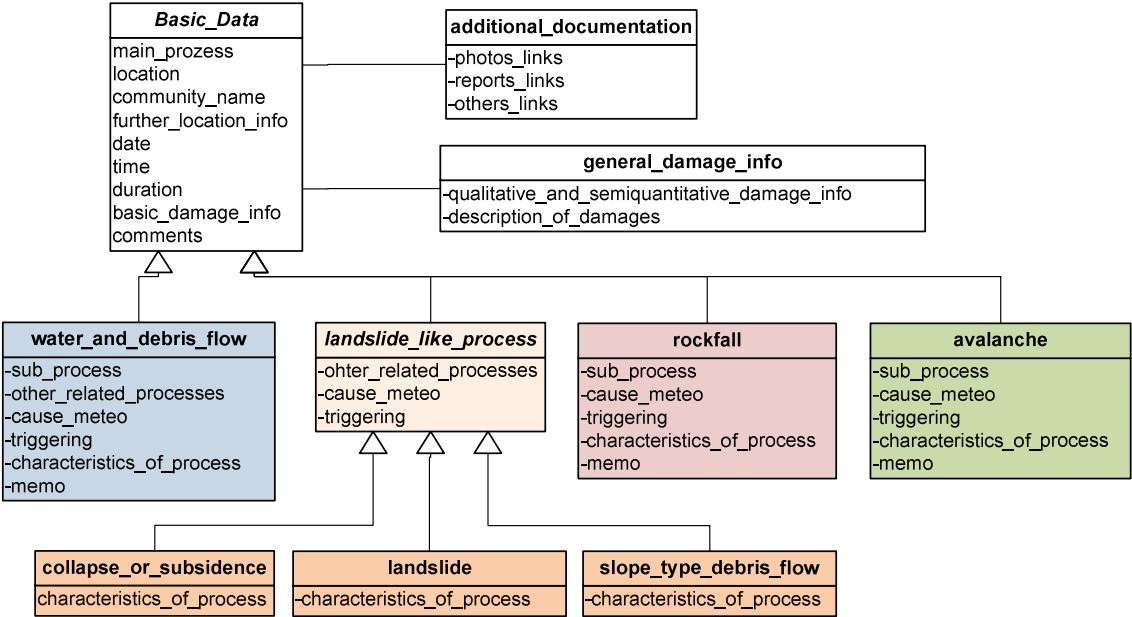


Fig. 4 Data model for the cantonal part of the inventory of past natural events: simplified class diagram, state of October 2011. With exception of the attributes of the class “Basic_Data”, the shown “attributes” must be seen in most cases as groups of attributes, which are subdivided in more detail. Despite they appear manifolds in the different classes of process type, they have type-specific sub-attributes or enumeration lists.

Inventory of protective structures

The data model of the protective structures is still in a concept phase, but the draft of the content exists and is currently under discussion with the cantons. Opposite to the inventory of past natural hazard events, here the needs of the cantons strongly differ. A cantonal inventory of protective structures contains data both about the existence and state of the structures themselves and about the maintenance and projects related to these structures. Due to different cantonal legislation, the responsibilities for the superintendence or the maintenance of the protective structures vary between the cantons. On top of that, also the administrative structures and processes lead to very specific needs for the cantonal data models.

For this reason, a harmonisation of the data model on a detailed level is not desired for the protective structures. Only a small subset of the data needed on a cantonal level will therefore be included in the data model on a national level being used by the federal administration for strategic and political purposes. All maintenance related data will not be part of the model. But although the statements on a national level are made on an aggregated level, it must be assured that on a cantonal level the data must be sufficiently detailed to provide all information needed for the aggregation.

Only protective structures are relevant on a national level according to this definition: „A protective structure is a construction that was erected to safeguard the protection against gravitative natural hazards satisfying the following three criteria”: 1. structural measure having an impact on the process, 2. publicly financed, 3. with the intention to influence the process in a positive way.

The model will contain the features shown in Fig. 5, thus allowing to make statements especially about the future financial needs to maintain the protection infrastructure, and the reliability of the control structures.

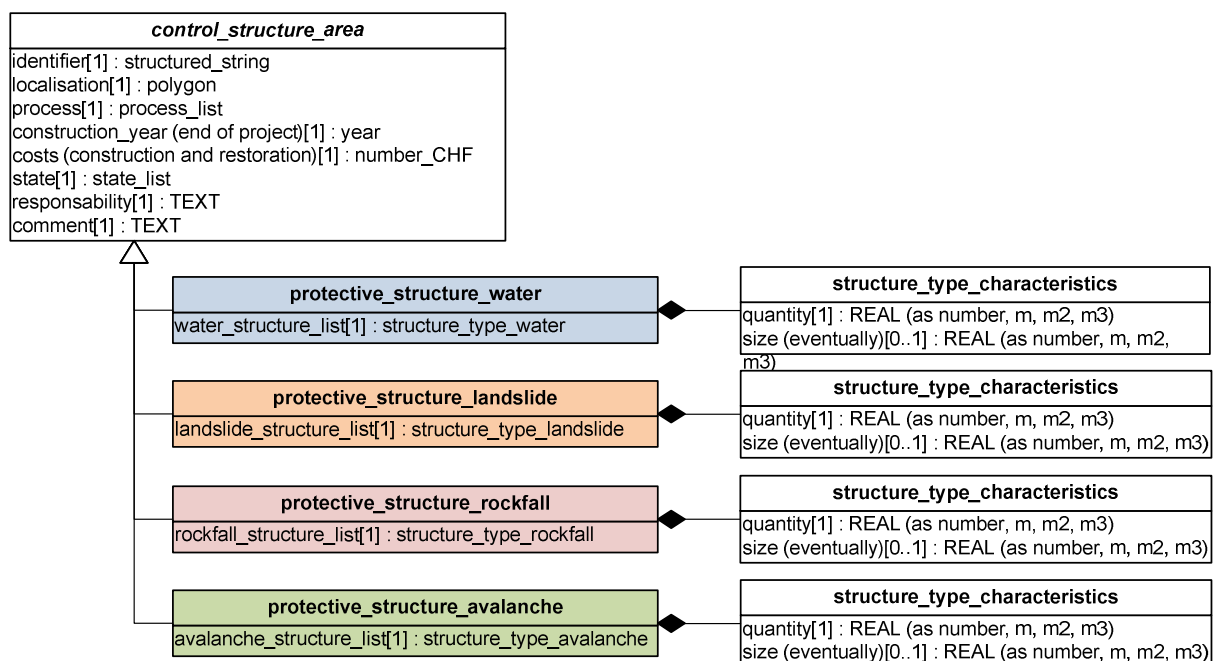


Fig. 5 Data model for protective structures (draft): class diagram, state of October 2011

DATA ACQUISITION

The data acquisition is in all described data modelling fields under the responsibility of the cantons. It differs remarkably between the different fields.

Hazard Mapping

In terms of hazard mapping, data acquisition today differs significantly from the past. In the first period of hazard mapping in the 1990s, the products were given in analogous form, mostly in form of

maps, which show the result in an aggregated way. Separately, a written technical documentation had to be delivered.

Nowadays, practically all cantons have their geodatabases, thus requiring digital data. Maps can be derived from the underlying data of the hazard mapping database. Data are the result of modelling the hazard processes, including additional expert knowhow from field investigations. Finally, the data arise on different levels of aggregation: The original modelling results, so-called parameters, which are distributed in space and show for each process and hazard source the physical value of the physical parameters such as e.g. water depth or flow velocity in case of inundation. These data can be considered as fundamental or basic data in terms of data acquisition in the field of hazard mapping. All other data are derived data based on these fundamental data. The intensities or magnitudes, which are the data basis for the intensity maps, illustrate - already aggregated over all hazard sources of a given main process (water, landslide, rockfall, avalanche) and aggregated over all influencing parameters (inundation depth and flow velocity) - the impact expressed in three classes. An even higher aggregation level concerns the degree of hazard, derived by combining probabilities and the corresponding intensities. The highest aggregation level is the synoptic degree of hazard, which shows the maximum degree of hazard out of all different hazard processes.

In the past, where analogous maps were the basis of all data, these products existed independently. At present, having digitized the old maps and having created the corresponding data sets, many cantons still keep the concept of managing the data sets technically independently despite their inherent dependencies, others keep only the parameters as original data sets, the other products are being generated on the fly whenever needed. The advantage of the latter concept is the following: Periodically as well as after large events or implementation of measures, which indicate changes in the hazard assessment, the parameter values have to be determined again. This implies that all derived products must be adapted as well. Using the concept of not storing these data sets but producing them on the fly saves the effort of producing any time after little changes new data sets, which have to be stored, updated and actualised. On the other hand, the aggregation process involves also some algorithms, which can in detail lead to technical complications. Today, both concepts are being used in Switzerland. As a consequence, the federal data model cannot reproduce the inherent relationships between the data sets on the different aggregation levels, because they do not have a correspondence in the cantonal data models of hazard mapping.

Inventory of past natural events

So far, the inventory of past natural events comprises over 20'000 entries within Switzerland. The cantonal practice can differ with respect to the following aspects: collection of only damage events or additionally non-damage events, only within or near the settlement areas or everywhere, detailed or "rough" acquisition, availability of manpower, documentation of photographs or not, acquisition of the location in form of GIS data or not.

The adequate degree of detail is not easy to answer and is the main reason for the recent redesign of the data model. The original idea was to create a database providing information both about damages and in a detailed way also about the processes of the events themselves. The latter was meant to be also a data source for scientific investigations. The experience showed that these data have hardly been used for scientific purposes, supposedly because of the lack of completeness of the database, but also that for research even more detailed data are needed. Due to other duties of the staff involved in coping with the event and the recovery – it is not always possible to fill in all data attributes in the field. Therefore, at now, the completeness of data fields having filled in is very inhomogeneous.

Moreover, with respect to the size and importance of an event, the level of detail required from the perspective of natural hazards strongly differs. Whilst on the one hand side it is the aim to obtain a complete picture of preferably all events in order to get the spatial information about frequency, magnitude and location of events, it is on the other hand important for large events to analyse the data in more detail to learn about the past and to be able to draw consequences in order to improve the preparedness for future events. In these cases, an extended event documentation or a detailed event analysis is accomplished, which the data model cannot comprise. These are supplementary data and documents, which must be linked to the basic data of the inventory.

Inventory of protective structures

So far, only a few cantons keep a digital inventory of protective structures. The data collection in the field and in distributed archives is very time consuming and requires high expertise. The legal obligation to keep such an inventory exists since 1994 (WBV, 1994). Now, there is some political pressure to build a nationwide inventory of protective structures against natural hazards, because data are needed for strategic and financial planning. Even if money were not the limiting factor, the availability of enough experts in this field would limit the rate that this process will proceed with.

There is a clear distinction between retrospective data collection and new data acquisition in current projects of restoring existing or erecting new structures. Many attribute values, which are foreseen in the new data model, will be available only in the case of today's projects, but will not be reconstructable for many of the old structures addressed by the retrospective data collection.

DATA ADMINISTRATION

Since the cantons are responsible for the data acquisition in the field of natural hazards, the data are stored in a distributed way and not in a central database (exception: inventory of past natural events). It is the question, whether this is advantageous with respect to the aim of the accessibility of nationwide data. Nowadays, this question is no longer so relevant due to new technical opportunities of accessing different distributed server systems, as long as the data structure is well defined and harmonised. This will be achieved by the development of the conceptual data models.

More important however is the data maintenance and quality control and actualisation of the data. For this reason, it is opportune to keep the data storage as close as possible to the body that is responsible for the data acquisition, which is in most cases the canton.

DATA DISTRIBUTION

With the new legislation about geoinformation, it is compulsory to make all data public according to the defined data models, in most cases also together with a download service, which is the case for all the topics dealt in this paper. It is crucial that the end users have always access to the up-to-date valid data. The new technologies allow regular and frequent update of data on different databases, as well as direct linkage to the original database. A special feature of the latter is the embedding of web map and web feature services into the own system.

The interface to the end user is the geoportal. In the course of the implementation of the legislation about geoinformation, the federation and the cantons launched the programme e-geo.ch, whose task it is to accompany the process of data modelling of geodata and to build a National Geodata Infrastructure (NGDI). This is intended to be the geoportal as the entry for all geodata from the federation, cantons, communities and industrial (mostly infrastructure) plants. The open question is still, whether it will be a system only for the broad public or also for experts. The latter requires more detailed information, but also more sophisticated functionalities and tools for the analysis of the data. For the entire field of natural hazard data, this development has to be awaited for, before it can be decided, if a separate geoportal for natural hazards has to be built or if the NGDI can comply with this objective. But it is obvious that both an easy system for the broad public and an expert system is needed in order to make use of the data in the sense of the question: Who needs which data for which purpose in which format.

Related to the data distribution is however not only the question of the data itself, but also the illustration of the data. In order to understand the content of geospatial data, in most cases maps will be produced. Readable maps contain a common language throughout the whole extent shown on the map. For data available and relevant in different parts in the country, but stemming from distinct data sources, it is therefore essential to define beforehand a common data illustration model. Only like this, a homogeneously looking map is possible while linking to different databases at once or using different WMS and WFS services at the same time. This problem has been recognised already by the legislature, who suggests the development of such illustration models explicitly. They will be developed together with all the data models in the field of natural hazards as well.

DATA USE

The data described by different data models will be used by different stakeholders. Most detailed data will be used on a local or community level. These will be only partly covered by the data models. The number of data used reduces and the degree of aggregation increases with the hierarchic levels from the cantonal over the federal up to the European level. Generally, data tend to be used for operational purposes on a local, i.e. community and cantonal level, whereas political and strategic purposes are important on the European, federal and also cantonal level (see Tab. 2).

Tab. 2 The use of data (described by the data models) by different stakeholders on different levels, and their importance

	Stakeholders	Hazard maps	Inventory of past events	Inventory of protective structures
local level	General public	●	●	
	Administration (decision makers)	●	●	
	Spatial planning authorities	●	●	
	Operations management and intervention bodies	●	●	●
	Consulting engineers	●	●	●
cantonal level	Administration (decision makers)	●	●	●
	Natural hazard authorities	●	●	●
	Spatial planning authorities	●	●	
federal / international level	Administration (decision makers)	●	●	●
	Insurance	●	●	
	Infrastructure owners	●	●	●
	European community	●	●	

OUTLOOK

The whole process of the data management in natural hazard is still an ongoing process. The first step has been finished with the data model for the hazard mapping and the concepts for the inventories for the past event data and the protective structures. The next steps will be the illustration models for the hazard mapping as well, the detailed data models and illustration models for the two inventories. Then, the geoportal must be build in order to bring all data together and to make them available in a harmonized form. Then, the data will be made public for everybody, and on a national level, the data will be evaluated for strategic and political issues.

With a longer time horizon, the data models for the damage potential and risk will be developed, where insurance companies play an important role. Since many of them are private and do not fall under the legislation about geoinformation, and since not all of them have georeferenced data, and since business and private interest claim for data privacy, special solutions must be found.

Even when all data models are established, all data are gathered and made accessible, the process of data management has to go on. On the one hand, data have to be upgraded and actualised, on the other new needs of usage of data will occur, depending on changes in the society, and also new technologies will lead to adaptations in the data collection, data storage and data distribution. The key question: “Who needs what wherefore and in which format” has to be asked again and again.

CONCLUSIONS

The experience of four years in the process of data modelling and data management (in a wide sense) lead to the following conclusions:

- The process of data modelling involves many stakeholders.
- The process is time consuming.
- It leads to a common language and understanding, which is very important for the entire work and the interplay in relation to integrated risk management.
- The process shows existing gaps and give a feedback to the federal guidelines, which have to be accordingly adapted.
- Only with the data models it is possible to guarantee that the important data will be collected in all parts of Switzerland, and in the same structure and format, so that they can be nationwide put together.
- The harmonisation of the data allows the analysis of the data for targets concerning more than one canton respectively entire Switzerland.
- The harmonisation of the data and their illustration is the basis for the common distribution of the data through a single geoportal, thus allowing to make the data easily accessible for everybody.
- The easy accessibility will probably lead to more frequent usage of the data, thus creating an added value.
- The data are the fundamentals for most of the activities within the integrated risk cycle, thus being important for improving the risk situation.
- The process will never be finished, since new demands of the society and new technologies will require the adaptation of the data models from time to time.
- Since for reasons of continuity the core of the data models should be kept constant for a longer time period, they should be built in such a way that they can easily be extended.

REFERENCES

- Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung [Hrsg.] (1984). Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bern (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00778/index.html?lang=de>).
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Raumplanung BRP, [Hrsg.] (1997). Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen, Bern (pdf 2001) (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00783/index.html?lang=de>).
- Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) [Hrsg.] (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen, Biel (pdf 2001) (German: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00786/index.html?lang=de>; English: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00786/index.html?lang=en>).
- GeoIG (2007). Bundesgesetz vom 5. Oktober 2007 über Geoinformation (Geoinformationsgesetz, SR 510.62, http://www.admin.ch/ch/d/sr/c510_62.html).
- GeoIV (2007). Verordnung vom 21. Mai 2008 über Geoinformation (Geoinformationsverordnung, SR 510.620, http://www.admin.ch/ch/d/sr/c510_620.html).
- GeoIV-swis (2008). Verordnung vom 26. Mai 2008 des Bundesamtes für Landestopografie über Geoinformation (GeoIV-swisstopo, SR 510.620.1, http://www.admin.ch/ch/d/sr/c510_620_1.html).
- WaV (1992). Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (Waldverordnung, SR 921.01, http://www.admin.ch/ch/d/sr/c921_01.html).
- WBV (1994). Verordnung vom 2. November 1994 über den Wasserbau (Wasserbauverordnung, SR 721.100.1, http://www.admin.ch/ch/d/sr/c721_100_1.html).

PRAGMATISCHE EXPOSITIONS- UND RISIKOANALYSE FÜR HOCHWASSERGEFAHREN

Stephan Schober¹, Andreas Zischg² und Norbert Sereinig³

ZUSAMMENFASSUNG

Der Umgang mit Naturgefahren hat in Österreich in Bezug auf die Gefahrenabwehr eine lange Tradition. Der rasante Ausbau von Siedlungen, Verkehrswegen und Infrastruktureinrichtungen erfordert eine Ergänzung der bestehenden Konzepte zum Schutz vor Naturgefahren um ein risikoorientiertes Naturgefahrenmanagement. Seit 2007 fordert zudem die Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken eine Auseinandersetzung mit den naturgefahreninduzierten Risiken. Die neue Herausforderung im Rahmen Richtlinie ist die flächenhafte Bewertung des Risikos. Dabei hat sich der Einsatz von Geoinformationssysteme bewährt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird ein Tool vorgestellt, das die Risiken durch Hochwasserprozesse auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen darstellt und analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse bilden eine wichtige Entscheidungshilfe für eine objektive und transparente Prioritätensetzung der Maßnahmenplanung zum Hochwasserschutz sind Grundlage für ein verbessertes Risikomanagement.

Keywords: Risikobetrachtung, Risikoanalyse, Hochwasser, Objektkategorien, Geoinformationssysteme

ABSTRACT

The management of natural hazards and induced risks has a long tradition in Austria. But, the rapid spread of settlements, traffic axes, and infrastructures towards endangered areas on the one hand and the further limitation of financial resources on the other hand require a permanent optimization of risk management practice. Since 2007, the Directive of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks requires a discussion about natural hazards induced risks. The new challenge in the frame of this Directive is an area-wide risk analysis, whereas therefore geographic information system data basically are most suitable. In the frame of this paper a tool is presented for analysing risks induced by flood processes on different spatial and temporal scales. The results of this comparative analysis should provide the basis for pointing out the hot spots of flood risk in the Region of Carinthia, Austria.

Keywords: risk assessment, risk analysis, flood, object categories, geographic information system,

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Im Gebirgsland Österreich stellen alpine Naturgefahren in vielen Regionen ein Sicherheitsrisiko dar: Hochwasser, Muren, Lawinen, Hangbewegungen und Steinschlag bedrohen Menschen, ihren Lebens-, Siedlungs- und Wirtschaftsraum, Verkehrswege, Versorgungslinien und Infrastruktur. Sie stellen daher eine wesentliche Bedrohung für die Lebensgrundlage der Bevölkerung dar. Der steigende Siedlungsdruck, die Verkehrserschließung der Alpen sowie starke Wachstumsraten des Tourismus

¹ Dr. Stephan Schober. Government of Carinthia, Department of Water Management, Flatschacherstraße 70, 9020 Klagenfurt, Austria (e-mail: stephan.schober@ktn.gv.at)

² Dr. Andreas Zischg. Abenis AG, Chur, Switzerland (email: a.zischg@abenis.ch)

³ DI Norbert Sereinig. Government of Carinthia, Department of Water Management, Flatschacherstraße 70, 9020 Klagenfurt, Austria (e-mail: norbert.sereinig@ktn.gv.at)

haben in den letzten Jahrzehnten eine starke räumliche Ausdehnung der gefährdeten Gebiete bewirkt. Mit den zunehmenden Ansprüchen an Wohlstand und Lebensqualität erhöhte sich auch das Bedürfnis der Bevölkerung nach Sicherheit und Schutz.

Eine absolute Sicherheit vor Naturgefahren gibt es nicht. Durch ein integrales Risikomanagement können aber mögliche Bedrohungen, denen wir durch die Gefahren der Natur ausgesetzt sind, vermindert werden. Ziel des Risikomanagement ist es, potenzielle sich aus Naturgefahren ergebende negative Auswirkungen auf die Gesellschaft mittel- bis langfristig zu minimieren. Hierzu müssen diese Risiken zunächst identifiziert, analysiert und bewertet werden, was erforderlich macht, die Analyse der Gefährdung um die Aspekte des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit zu erweitern. Die schweren Unwetter in den Jahren 2002 und 2005 in Österreich haben nicht nur grosse Schäden hinterlassen, sondern auch Angst und Verunsicherung. Die Vorstellung von absoluter Sicherheit hat sich als Illusion entpuppt.

Was zuvor nur Expertenkreise diskutierten, ist schlagartig auch für die breite Öffentlichkeit zum Thema geworden. Bis dato hat die Bevölkerung von den Behörden quasi stillschweigend erwartet, dass sie die Gefahren aus der Welt schaffen oder zumindest im Griff haben. Die Frage, was denn nun wie gut zu schützen sei, hat die Gemüter erhitzt. Gerade in Zeiten angespannter Budgets birgt insbesondere der finanzielle Aspekt großes Konfliktpotential. Spätestens beim Wiederaufbau taucht regelmässig die Frage auf, welche Sicherheit denn für welchen Preis zu haben ist und was an Restrisiko in Kauf genommen werden muss (www.planat.ch).

Ein ganzheitlicher Umgang mit Risiko bedingt den Ansatz, der sich nicht nur auf das analytische Erfassen des vorhandenen Risikos beschränkt, sondern auch die Fragen nach dem akzeptierten und akzeptablen Risiko, sowie den optimalen Maßnahmen im Umgang mit Risiko mit einbezieht (Planat, 2005). Für das Risikomanagement sind daher folgende Fragen von zentraler Bedeutung: Was kann passieren? Was darf passieren? Wie können wir uns schützen? Dazu muss geklärt werden wo treten Naturgefahren mit welchen Intensitäten auf, und welche schützenswerte Güter (wie z.B. Wohn-, Geschäfts- und Industriegebiete und Infrastrukturanlagen) sind betroffen (Fig. 1).

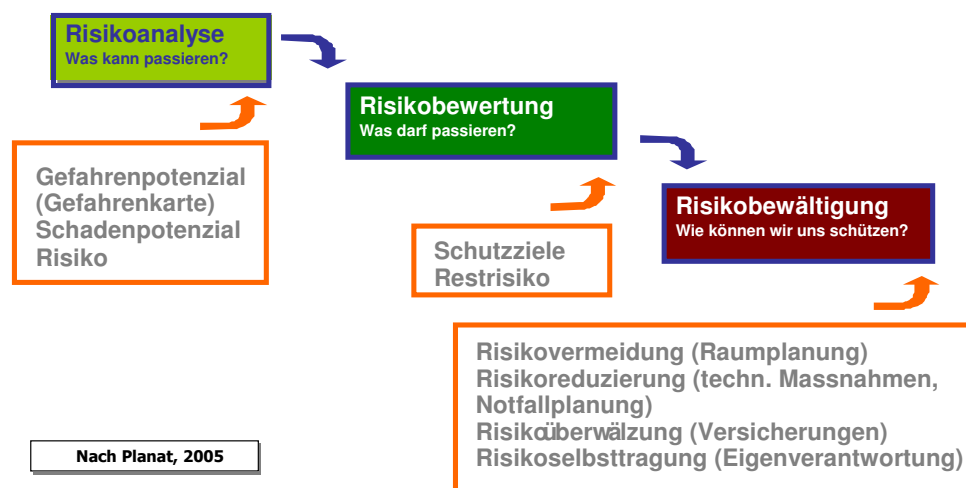


Fig. 1 Phases of risk management – risk analysis, risk assessment, coping with risk (after Planat, 2005)

Fig. 1 Phasen des Risikomanagement – Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobewältigung (nach Planat, 2005)

Seit 2007 fordert zudem die Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EU-HWRL) eine Auseinandersetzung mit den naturgefahreninduzierten Risiken. Zweck der Richtlinie ist es, einen Rahmen für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten in der Gemeinschaft zu bilden (Artikel 1, Richtlinie 2007/60/EG).

Um die Ziele der EU-HWRL zu erreichen und damit ein integrales Hochwasserrisikomanagement zu etablieren haben die Mitgliedstaaten folgende Bewertungen und Ausweisungen durchzuführen (Fig. 2).

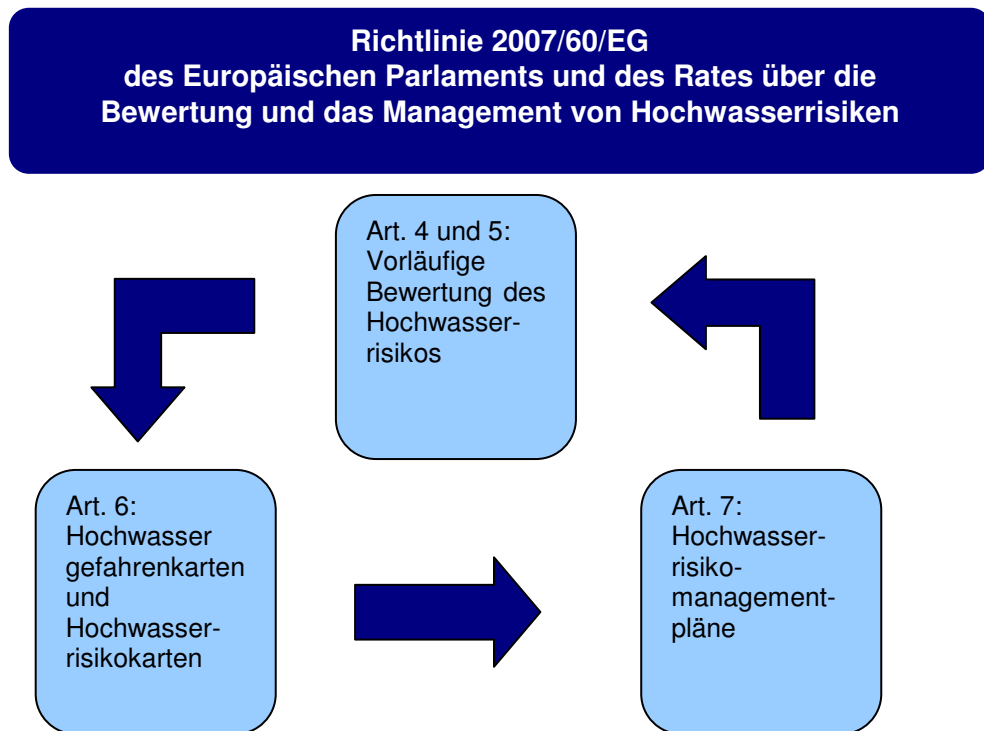


Fig. 2 Instruments of the EU Flood Directive (after Pleschko et. al 2009)

Fig. 2 Instrumente der EU- Hochwasserrichtlinie (nach Pleschko et. al, 2009)

Die EU-HWRL machte eine Abstimmung der nationalen Methoden und Planungsinstrumente mit jener auf EU Ebene notwendig. Dabei wurden die bestehenden Datengrundlagen zur Bewertung der Hochwassergefahr wie der Gefahrenzonenplan und die Hochwasser-Anschlaglinien als Grundlage für die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos und für die Erarbeitung der Hochwasser-Gefahrenkarten und Hochwasser-Risikokarten aufbereitet. Eine zentrale Rolle spielt in diesem Zusammenhang das Instrument der Gefahrenzonenplanung. Ein moderner Gefahrenzonenplan enthält alle wichtigen Daten (Anschlaglinien gewisser Jährlichkeiten, Bewertung der Funktion der Rückhalteräume, freizuhaltende Rückhalte- und Maßnahmenflächen) und es können für jene Gebiete nach Artikel 4 und 5 der Hochwasserrichtlinie Hochwassergefahren, Risikokarten und Risikomanagementpläne daraus entnommen bzw. abgeleitet werden. Der „neue Ansatz“ im Rahmen der EU-HWRL ist jener der flächendeckenden Analyse des Risikos, wobei grundsätzlich Geoinformationsdaten dafür am besten geeignet sind (Schober et al., 2010).

Aufgrund der Vielzahl und der unterschiedlichen Struktur der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen, ist die Durchführung einer auf Geoinformationssysteme (GIS) basierten Expositionsanalyse mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden. Die Strukturierung der Vorgehensweise und die Implementierung in einer automatisierten Prozedur erlaubt die Einsparung von zeitlichen Ressourcen. Das Ziel des im nachfolgenden beschriebenen Verfahrens war es, eine Prozedur für die Analyse der Hochwassergefahr ausgesetzten Siedlungsbereiche und Infrastrukturanlagen auf Basis einer bestehenden Datengrundlage zu erarbeiten. Die Prozedur soll für einen abgegrenzten Untersuchungsraum automatisiert einen GIS-Datensatz für die Bewertung des Schadenpotenzials erstellen und eine Analyse der potenziellen Schäden ermöglichen. Das Tool („Risikotoolbox“) wurde im Rahmen Projektes „Naturgefahren Kärnten“ und des „WP5 Hazard Mapping“ des Interreg Alpine Space 2007-2013 Projektes „AdaptAlp - Adaptation to Climate Change in the Alpine Space“ entwickelt.

METHODIK

Um die Schadenpotenzial- und Risikoanalyse einheitlich und zeitsparend in vielen Gebieten durchführen zu können, wurde ein Verfahren entwickelt, das diese Arbeit automatisiert erledigt. Das Verfahren wurde in eine GIS (Geoinformationssystem) -Applikation eingebaut, die in die verwendete Desktop-GIS Software der Bundeswasserbauverwaltung (BWV) und des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) als Extension geladen werden kann. Die GIS-Applikation besteht aus drei Prozeduren. Die erste Prozedur erarbeitet den räumlichen Datensatz des Schutzgüterkataloges für ein abgegrenztes Untersuchungsgebiet auf Basis der existierenden Grundlagendaten. Die zweite Prozedur überlagert den räumlichen Schutzgüterkatalog mit den bestehenden Datensätzen der verschiedenen Gefahrenkarten und Gefahrenzonen im Sinne einer Expositionsanalyse. Dabei werden die den einzelnen Gefahrenarten ausgesetzten Objekte ermittelt. Die dritte Prozedur berechnet auf Basis des Schutzgüterkataloges und der Gefahrenkarten die Anzahl der betroffenen Personen und die potenziellen monetären Schäden.

Erster Schritt des Verfahrens war die Erarbeitung eines Katalogs der vor Hochwassergefahren zu schützenden Güter. Er stellt eine Klassifikation aller schützenswerten Objekte dar. Die Klassen wurden einerseits an die Anforderungen der Kosten-Nutzen-Untersuchungen (KNU) der Bundeswasserbauverwaltung (BMLFUW, 2009) und andererseits an Klassifikationen der bestehenden Datengrundlagen angelehnt. Der Schutzgüterkatalog wurde so gestaltet, dass er auch den Erfordernissen der Hochwasserrichtlinie gerecht wird. In Form einer Datenbank bildet der Schutzgüterkatalog die Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte.

Aufbauend auf den erarbeiteten Schutzgüterkatalog wurde eine Zuordnungstabelle erarbeitet, die definiert, welche Objektkategorien aus den verschiedenen bestehenden Datensätzen den Objektkategorien des Schutzgüterkataloges zugewiesen werden. Die Zuordnungstabelle steuert die Reklassifizierungsprozedur, die aus allen bestehenden Datengrundlagen einen räumlichen Datensatz des Schutzgüterkataloges erstellt (Fig. 3).

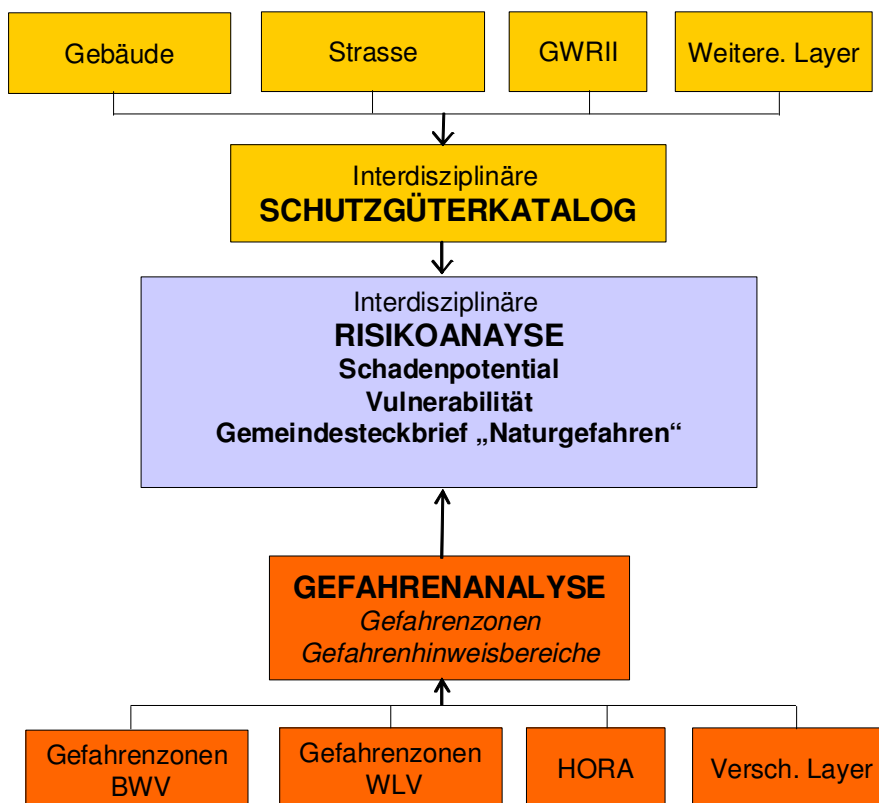


Fig. 3 Struktur der Methodik einer interdisziplinären Risikoanalyse durch Verwendung der Risikotoolbox
Fig. 3 Structure of the methodology of interdisciplinary risk analysis using the risktoolbox

Der wichtigste Schritt der ersten Prozedur zur Erarbeitung des räumlichen Datensatzes des Schutzgüterkataloges ist die Attributierung des Datensatzes der Gebäudegrundrisse mit Informationen aus verschiedenen Datensätzen wie des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR II Daten), des Datensatzes der Schulen oder anderer wichtiger Objekte, die zumeist als Punktdaten vorliegen. Im Gebäude- und Wohnungsregister sind sämtlich Attributdaten, sowie die Koordinaten zu diesen Attributdaten enthalten. Dieser Datensatz ist allerdings nicht frei zugänglich. Alle Punktdatensätze werden über die räumliche Lage mit den Gebäudegrundrissen verknüpft. Das heißt, wenn ein Punkt des Adressdatensatzes auf ein Gebäude des Gebäudelayers fällt, wird er diesem zugeordnet und die im Adressdatensatz (Punkt) enthaltene Information wird über die Zuordnungstabelle umklassifiziert und dem Gebäudedatensatz (Fläche) zugewiesen. Vielfach fallen die Punkte jedoch nicht direkt auf das betreffende Gebäude, sondern etwas daneben. In diesem Fall wird jeder Adresspunkt innerhalb einer maximalen Suchdistanz von 20 m dem nächsten Gebäude zugeordnet. Diese Suchdistanz wurde aufgrund von statistischen Analysen festgelegt, mit diesem Wert können 95% aller Gebäudegrundrisse durch den Adressdatensatz klassifiziert werden. In einigen Fällen kommt es vor, dass ein Gebäude mehrere Punkte zugeordnet bekommt. Dies ist dann der Fall, wenn zusammengebaute Häuser als ein großes Gebäude kartiert wurden. Um diese Spezialfälle zu berücksichtigen, wird die Fläche des jeweiligen Gebäudes für jede Nutzungsart einmal kopiert um die Überlagerung des Gebäudes für jeden Nutzungstyp mit der Gefahreninformation zu erlauben. Bei der Analyse wird die Fläche des Gebäudegrundrisses durch die Anzahl der zugeordneten Punkte geteilt und so jeder Gebäudekategorie nur ein entsprechender Teil der Grundrissfläche zugeordnet.

Die Anzahl der betroffenen Personen und Arbeitsplätze kann mit Hilfe des Statistik Austria Pakets A ermittelt werden. Dieses gibt in einem 125m-Raster Auskunft über die Anzahl der Haupt- und Nebenwohnsitze, sowie über Anzahl der Arbeitsstätten und Beschäftigten. Für jede Rasterzelle des Statistik-Datensatzes werden alle Gebäude mit Wohnfunktion ausgewählt, die in dieser Rasterzelle liegen. Die Anzahl der Einwohner dieser Rasterzelle wird anschließend durch die Anzahl der Adresspunkte mit Wohnfunktion dividiert und dieser Wert anschließend dem Adresspunkt zugewiesen. Das Vorgehen wird für die Gebäude mit gewerblicher Funktion wiederholt.

Bei der Zuordnung der Attribute der Adressdaten (Punkte) an die Gebäudegrundrisse (Polygone) können nach dieser Prozedur auch die Personen, Arbeitsstätten und Beschäftigte den Gebäuden zugeordnet werden (vgl. oben). Die Zuweisung der Information aus dem Statistik-Datensatz zum Datensatz der Adressdaten erfolgt innerhalb der Prozedur, in den Ausgabedatensatz geschrieben werden nur die auf das Gebäude aggregierten Daten. Diese bilden Mittelwerte über das gesamte Gebiet der Rasterzellen des Statistik-Datensatzes. Die Datenschutzvorgaben des Statistik-Datensatzes werden damit nicht tangiert. Dieses Vorgehen erlaubt im Vergleich zu einer Annahme von Durchschnittswerten je Gebäudetyp eine detailliertere Quantifizierung von Personen in Gebäuden.

Nachdem die Gebäudegrundrisse mit Information über den Gebäudetyp, die Anzahl Personen und Beschäftigte erweitert wurden, werden die weiteren flächenhaften Datensätze in die Ausgabedatenbank geschrieben. Um die Gebäude herum wird als erstes die Siedlungsfläche und alle damit verbundenen Kategorien dem GIS-Datensatz des Schutzgüterkataloges hinzugefügt. Diesem Schritt folgt die Klassifizierung der weiteren flächenhaften Objektkategorien wie Wald und landwirtschaftliche Flächen. Um die Anforderungen der Hochwasserrichtlinie zu erfüllen, wird allen Datensätzen noch die Information hinzugefügt, ob sich das Objekt in einem Gebiet mit Schutzfunktion befindet.

Für die Erarbeitung des GIS-Datensatzes des Schutzgüterkataloges sind sämtliche Geodatensätze verwendet worden, wobei versucht wurde, den Schutzgüterkatalog der EU-HWRL bestmöglich abzudecken (Tabelle 1).

Tab. 1 Datensätze zur Bewertung der Schutzgüter**Tab. 1** Catalogue of objects and used datasets for the assessment

GIS Datensatz	Menschliche Gesundheit	Umwelt	Kulturerbe	Wirtschaftliche Tätigkeit
Gebäudegrundrisse	X		X	X
Gebäude und Wohnungsregister	X		X	X
Landschaftsräumliche Gliederung				X
Statistik Austria Pakte A	X			X
Navteq 2007 Points of Interest	X		X	X
Nationalpark		X		
Naturschutzgebiete		X		
Schutz und Schongebiete		X		
Ramsar Gebiete		X		
Vogelschutz und FFH Gebiete		X		
Straßennetz KAGIS Land Kärnten	X			X
Straßen und Bahnnetz Navteq	X			X
Stromleitungen (20KV und 110 KV) –KAGIS	X	X		X
Wasserinfrastrukturanlagen – WIS – KAGIS	X	X		X
Gasleitungen KAGIS	X	X		X
Wasserinfrastrukturanlagen – WIS – KAGIS	X	X		X

Nach Erstellung des GIS-Datensatzes des Schutzgüterkatalogs werden alle linienförmigen Objekte des Schutzgüterkatalogs aus den jeweiligen Grundlagendaten extrahiert, umklassifiziert und in einem einheitlichen Linien-Datensatz zusammengefügt. Für diesen Schritt werden das Straßennetz, das ländliche Wegenetz, das Bahnnetz, das Strassen- und Bahnnetz von Navteq, die Stromleitungen (20 kV und 110 kV) und die Gasleitungen verwendet.

Für die Erarbeitung des Punktdatensatzes des Schutzgüterkataloges werden die Wasserinfrastrukturanlagen sowie die Strom- und Gasanlagen verwendet.

Ergebnis dieser Prozedur sind ein Flächen-, ein Linien- und ein Punktdatensatz mit den nach der Tabelle des Schutzgüterkataloges klassifizierten räumlichen Objekten. Diese Datensätze geben den Schutzgüterkatalog in einem ausgewählten Gebiet räumlich wieder. Die zweite Prozedur überlagert den räumlichen Datensatz des Schutzgüterkataloges mit den existierenden Grundlagendaten zur Gefahrensituation im Sinne einer Expositions- oder Gefahrenanalyse. Je nach Fragestellung können die Gefahrenzonenpläne und Anschlaglinien der Bundeswasserbauverwaltung, die Gefahrenzonenpläne des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung und die Gefahrenhinweisbereiche der Landesgeologie einzeln oder gemeinsam von der Prozedur verarbeitet werden. Im letzteren Fall können auch die Objekte ermittelt werden, die mehreren Gefahrenarten ausgesetzt sind (Multi-Risiko Situationen). Die Gebäude werden als Ganzes jener Intensitätsklasse eines Gefahrentyps zugeordnet, die die höhere Intensität aufweist. Ergebnis der Prozedur ist ein modifizierter räumlicher Datensatz des Schutzgüterkataloges, dessen Teilflächen oder Teilbereiche die Information der jeweiligen überlagernden Gefahrenzone als Attribut zugewiesen wird. Als zweites Ergebnis liefert die Prozedur der Gefahrenanalyse die Summe der von den verschiedenen Gefahrenzonen betroffenen Maßeinheiten je Kategorie des Schutzgüterkataloges. Für Gebäude sind dies die Anzahl Objekte und Flächenanteile des jeweiligen Nutzungstypes. Für sonstige flächenhafte Objektkategorien wird die Summe der je Gefahrenzonen betroffenen Flächen, für Linienobjekte die Laufmeter je Objektkategorie und Gefahrenzone berechnet. Für die Punktobjekte wird die Anzahl der Objekte je Gefahrenzone gezählt. Diese Ergebnisse werden in eine zusammenfassende Tabelle der Datenbank geschrieben.

Die dritte Prozedur der GIS-Applikation berechnet auf Basis der Ergebnisse der vorhergehenden Arbeitsschritte die potenziellen Schadenswerte und die Anzahl an betroffenen Personen und Beschäftigten in Gebäude. Für die Berechnung der Schadenwerte von Gebäuden wurden durchschnittliche B-Werte und minimale Schadenwerte je Gebäudetyp in Anlehnung an die KNU-

Analyse der Bundeswasserbauverwaltung festgelegt. Mit B Wert wird grundsätzlich der Schaden pro Meter Überflutungshöhe x 1.000 € verstanden. Vereinfachend wurde für die Rote Gefahrenzone eine durchschnittliche Wassertiefe von 0.77m und für die Gelbe Zone eine Wassertiefe von 0.15m ab der Höhe der Türschwelle des Erdgeschosses angenommen. Die Schäden an den von HORA-Flächen betroffenen Gebäuden wurden mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von 0.16m berechnet.

KALIBRIERUNG

Um die Ergebnisse der GIS-basierten Analyse zu überprüfen und kalibrieren zu können wurden Vergleiche über Projektgebiete erstellt. Das Schadenspotential wurde dabei sowohl nach den Richtlinien der Bundeswasserbauverwaltung Kosten-Nutzen Untersuchung als auch mit Hilfe der GIS-basierten Methodik (Risikotoolbox) ermittelt.

Die Ermittlung des Schadenspotentials durch die KNU erfolgt mittels einer exakten Schadenwahrscheinlichkeitsfunktion basierend auf unterschiedlichen Schadenwahrscheinlichkeiten und einer detaillierten Aufnahme (vor Ort) der Gefahrensituation an den unterschiedlichen Schutzgütern. Sie stellt die Realität sehr gut dar und kann daher als Referenz für die modellhafte Betrachtung durch die Risikotoolbox sehr gut herangezogen werden.

Als ein Beispiel wird im folgendem das Projekt „Hochwasserschutz Micheldorf“ angeführt. Die Daten dazu wurden im Rahmen einer detaillierten Kosten-Nutzen-Analyse (KNU) erhoben (Maidic, 2010). Es wurden Linearmassnahmen in Kombination mit Hochwasserrückhalt geprüft.

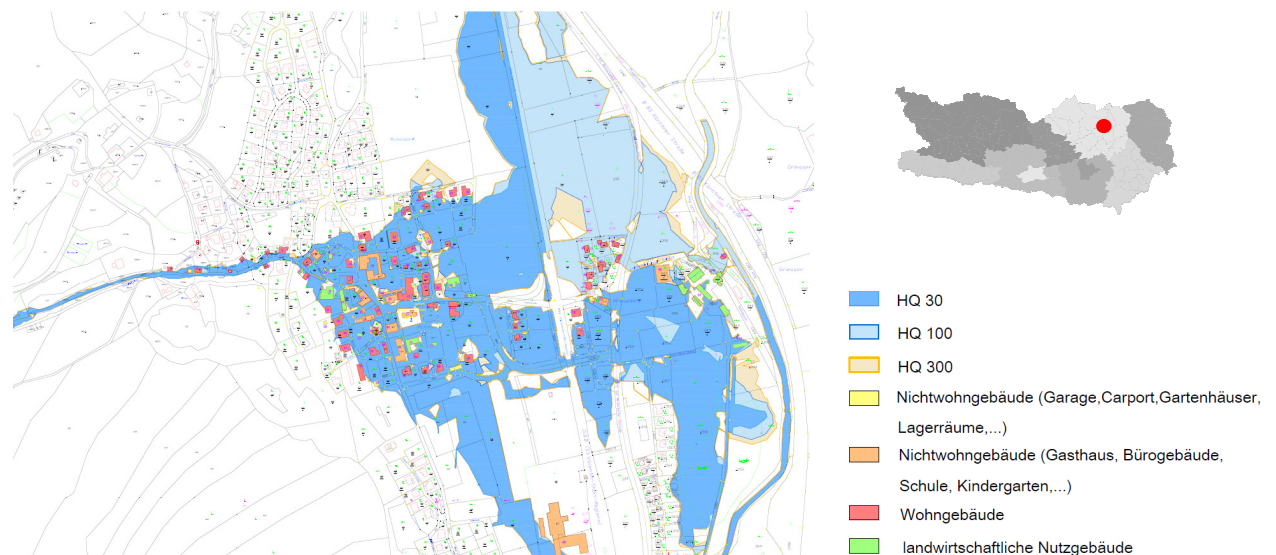


Fig. 4 Plan of the project area – „Hochwasserschutz Micheldorf“ (Maidic, 2010)

Fig. 4 Lageplan des untersuchten Gebietes in der Gemeinde Micheldorf (Maidic, 2010)

Diese Werte wurden auf Basis von vier hochwasserrelevanten Stützpunkten durchgeführt (HQ10, HQ30, HQ100, HQ300). HQ10 verursacht keinen Schaden.

Im Folgenden werden die Schäden, die aus der detaillierten KNU hervorgehen mit den mithilfe der Risikotoolbox berechneten Schäden verglichen (Fig. 5). Die Einstellungen der Mittelwerte zur Berechnung der Schäden wurden grundsätzlich so belassen, wie sie für die landesweite Übersicht verwendet wurden.

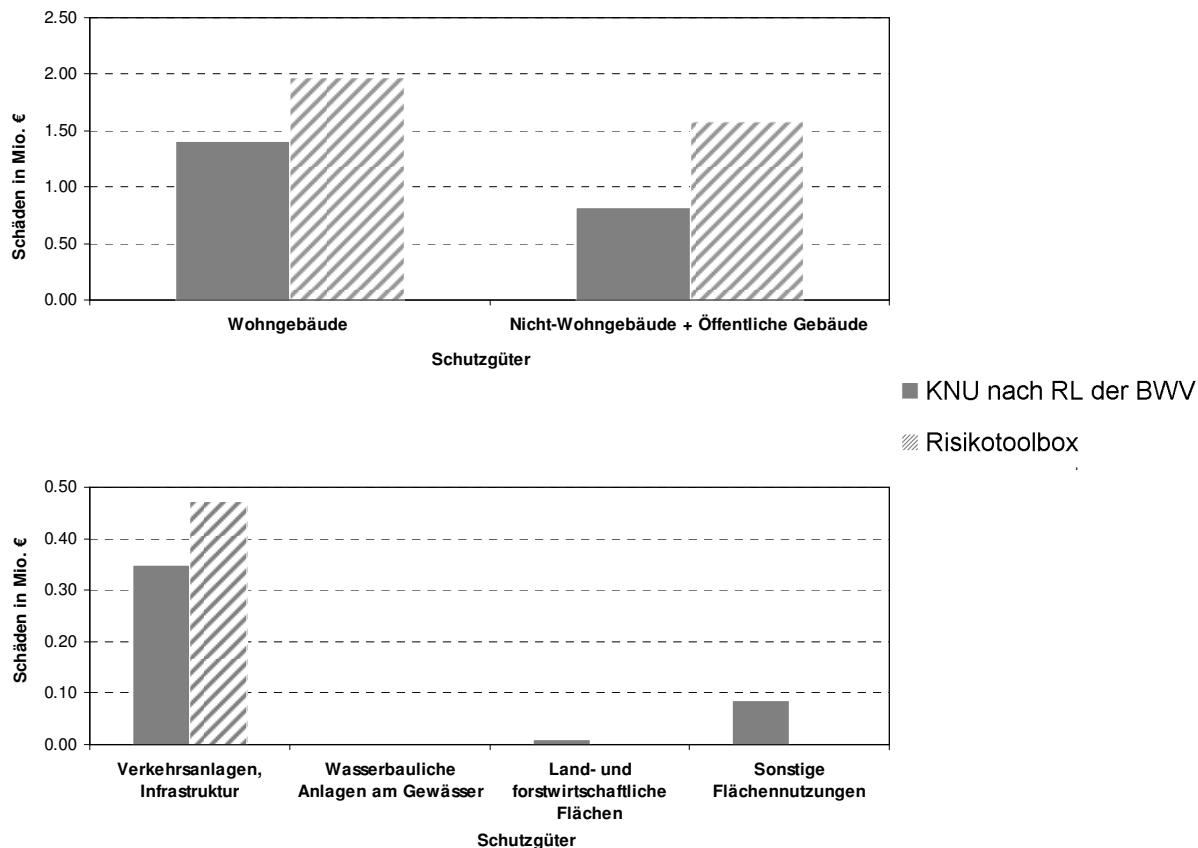


Fig. 5 Comparison of damages calculated following the cost benefit directive of the BWV with the results from the risktoolbox

Fig. 5 Vergleich der Schäden ermittelt nach der Kosten-Nutzen-Richtlinie der BWV verglichen mit jenen aus der Risikotoolbox

Der Vergleich zeigt, dass die Risikotoolbox die Schäden im Vergleich zu den detaillierten Geländeaufnahmen der KNU teilweise massiv überschätzt. Da im vorliegenden Beispiel keine Wassertiefen bekannt waren, wurde eine mittlere Wassertiefe von 26 cm angenommen. Während die vereinfachten Annahmen einer mittleren Wassertiefe und eine Verallgemeinerung der B-Werte für die Schadenberechnung bei Gebäuden relativ geringe Abweichungen verursachen (v.a. bei Wohngebäuden), sind sie bei den Verkehrs- und Infrastrukturschäden wesentlich für die Abweichung im Vergleich zur KNU. Vor allem die Vernachlässigung einer objektspezifischen Verletzlichkeit bei den Schadenkategorien Infrastrukturanlagen, Verkehrswege, Wasserbauliche Anlagen und Entsorgungsinfrastruktur spielt hier eine große Rolle. Die Verletzlichkeit wurde daher bei diesen Schutzgütern durch einen Anfälligkeitsgrad von 10% berücksichtigt bzw. die Schäden abgemindert.

ERGEBNISSE

Das Tool kann sowohl im lokalen Maßstab als auch im landesweiten Maßstab angewendet werden. Auf Gemeindeebene kann die Gefahrensituation nach den unterschiedlichen Prozesstypen unterschieden werden. Die oben beschriebene Methodik wurde für das Land Kärnten durchgeführt, die Ergebnisse der Expositions- und Risikoanalyse wurden auf Gemeindeebene aggregiert und dargestellt. Dieser „Gemeindesteckbrief“ gibt zunächst einen statistischen Überblick über die Gemeinde und fasst die durch Naturgefahren exponierten Werte zusammen, wobei die Gefahrensituation zusammenfassend in einer Karte dargestellt wird. Diese potentiellen Schäden werden sowohl in Tabellenform als auch in Form von Diagrammen dargestellt. In einem zweiten Schritt werden die Schäden und Risiken nach Prozesstyp (Prozess Hochwasser, Wildbachprozesse, geologische Prozesse) unterschieden. Die Darstellung der Gefahrensituation auf Gemeindeebene und deren Auswirkungen soll der Gemeinde als Entscheidungsgrundlage bei raumplanerische Tätigkeiten

und Planungen innerhalb des Gemeindegebietes dienen (Fig. 6). Die Monetarisierung erfolgte auf Basis von Mittelwerten aus der Kosten Nutzen Untersuchung der Bundeswasserbauverwaltung.

Gemeindesteckbrief

Gemeinde Dellach im Drautal

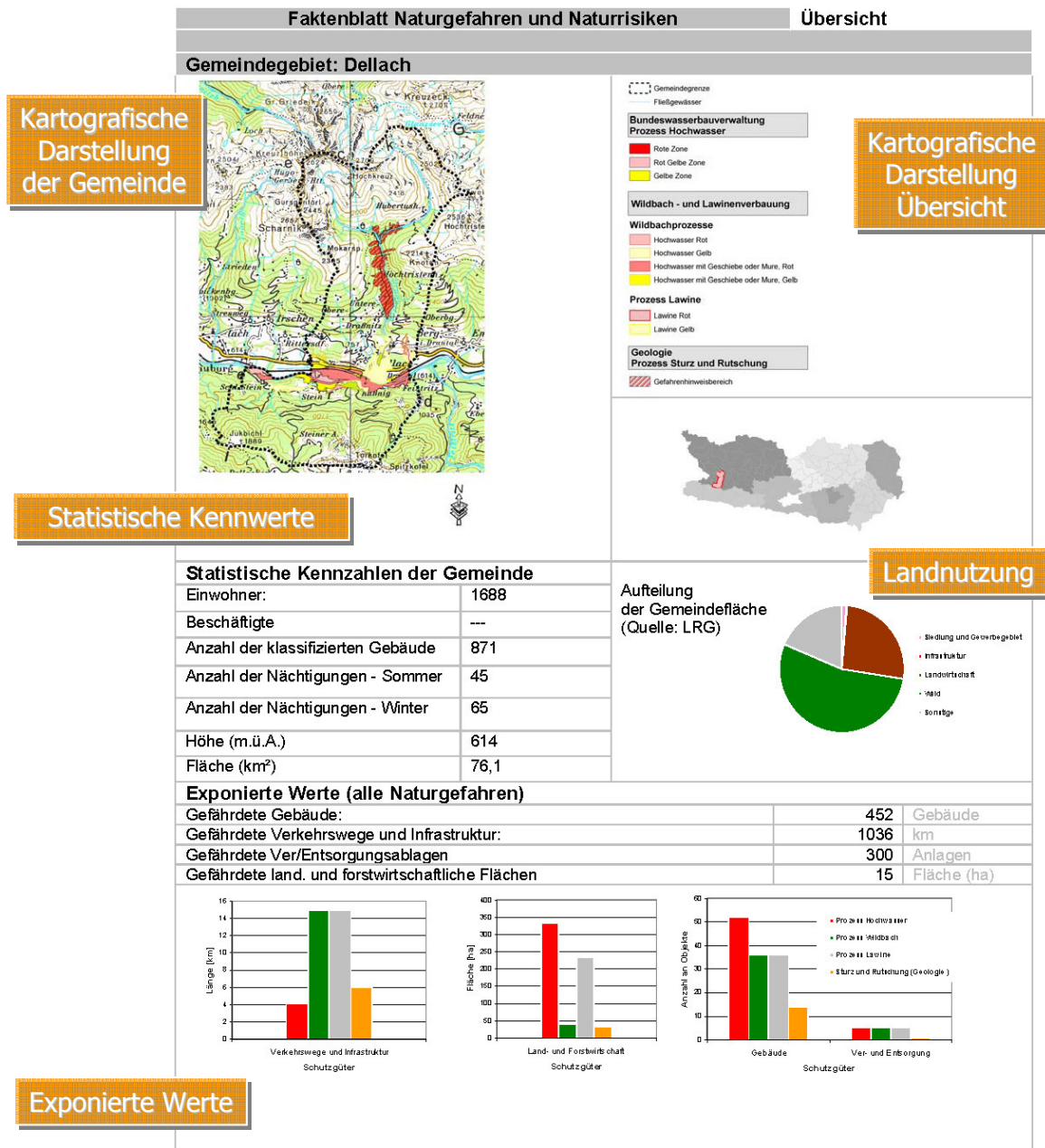


Fig. 6 Summary consideration and overview of the municipal situation, map, statistical and natural-hazard exposure values from the processes flood, torrent, avalanche, rockfall and landslides. (Schober et. al, 2010)
Fig. 6 Gemeindesteckbrief der Gemeinde Dellach im Drautal - allgemeine statistische Daten und Überblick über die potentiellen Schäden durch die Prozesse Hochwasser, Wildbach, Lawine, Rutschung und stürzende Ereignisse (Geologie). (Schober et. al, 2010)

Die Detailbetrachtung der betroffenen Objekte erfolgt auf Basis der unterschiedlich stattfindenden Prozesse. Der Betrachtungsmaßstab erfolgt auf Basis der Ausdehnung der gefährdeten Gebiete in der Gemeinde. Es erfolgt einerseits wieder eine kartografische Darstellung der gefährdeten Gebiete, sowie eine detaillierte Auflistung der gefährdeten Objekte nach dem standardisierten Schutzgüterkatalog (Fig. 7).

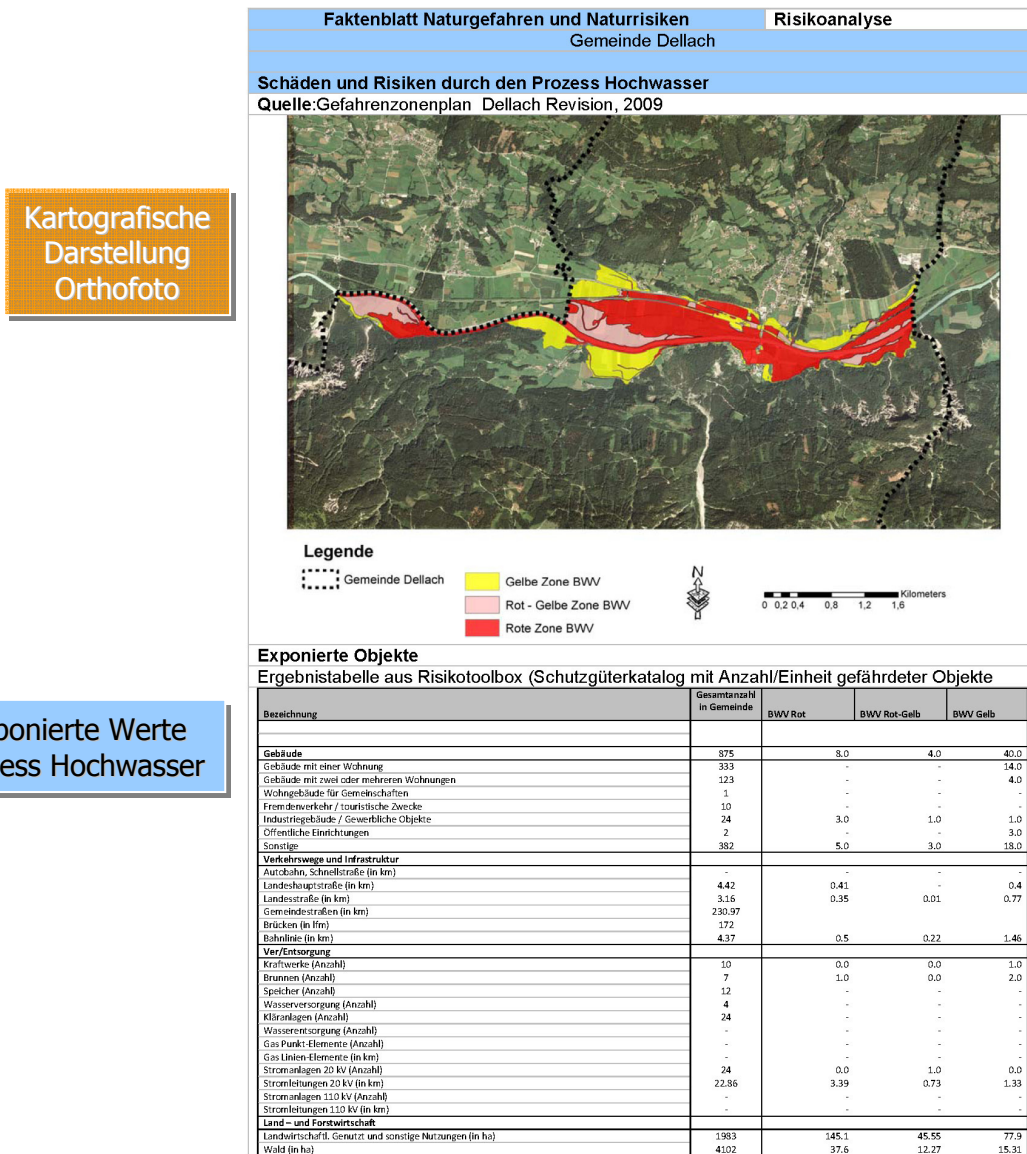


Fig. 7 Identification of objects exposed to flooding in the municipality of Dellach. (Schober et. al, 2010)

Fig. 7 Gemeindesteckbrief der Gemeinde Dellach im Drautal - Ergebnisse der Expositionsanalyse Hochwasser. (Schober et. al, 2010)

Für das Land Kärnten wurde mit den oben beschriebenen Vereinfachungen eine Analyse der Gebäudeschäden bei einem Hochwasserereignis mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren durchgeführt (Fig. 8). Da der Gefahrenzonenplan nicht für alle Gefahrengebiete vorhanden ist, wurden weitere – zum Gefahrenzonenplan komplementäre – Datensätze vorbereitet. Dort wo kein Gefahrenzonenplan vorhanden ist, wurden die Anschlaglinien, oder die HORA-Flächen (HORA – Hochwasserzonierung Austria, www.hora.gv.at am 21.09.2011) für die Gefahrenanalyse verwendet. Wo keine dieser drei Gefahrengrundlagen vorhanden ist, wurde eine vereinfachte Abgrenzung der Hochwassersensiblen Flächen durchgeführt (nach Sereinig 2007, Schober & Zischg 2010). Diese Gefahrengrundlage repräsentiert ein extremes Ereignis ohne einer bestimmten Jährlichkeit. Folgende

Abbildung zeigt die Ergebnisse dieser vereinfachten Gefahrenanalyse auf der regionalen Massstabsebene.

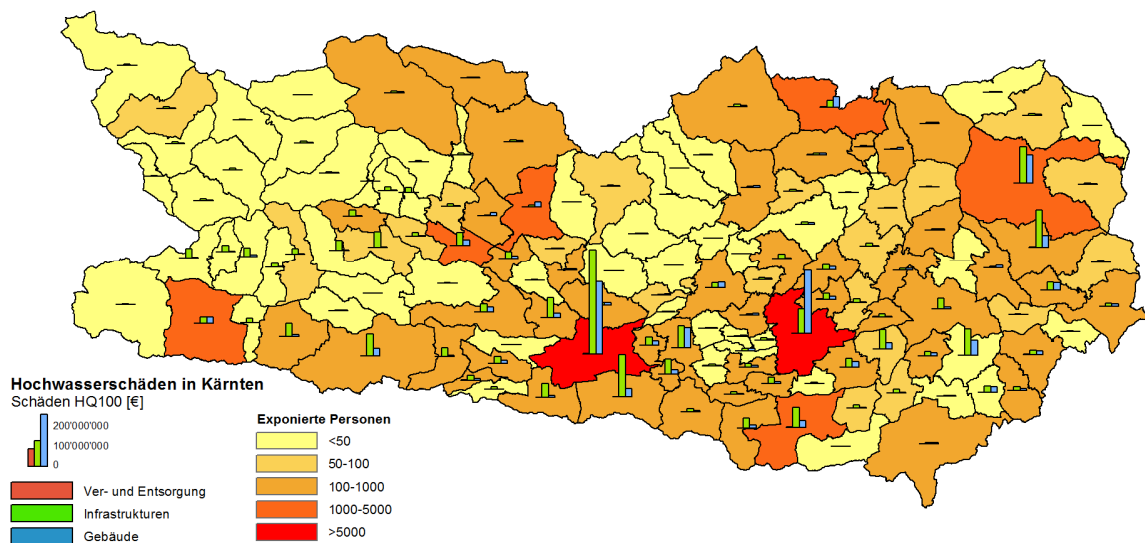


Fig. 8 Annualized flood damages on buildings in the municipalities of Carinthia. The damages are calculated for a flood event with a return period of 100 years and are aggregated on municipality level.

Fig. 8 Jährliche Hochwasserschäden an Gebäuden pro Gemeinde in Kärnten. Die Schäden werden auf Basis eines HQ100 berechnet und auf Gemeindeebene aufsummiert.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Ziel des Risikomanagements ist es, potenzielle sich aus Naturgefahren ergebende negative Auswirkungen auf die Gesellschaft mittel- und langfristig zu minimieren. Hierzu müssen diese Risiken zunächst identifiziert, analysiert und bewertet werden, was es erforderlich macht, die Gefahrenanalyse um die Aspekte des Schadenpotenzials und der Verletzlichkeit zu erweitern. GIS Systeme ermöglichen eine flächendeckende Erfassung dieser Risiken. Das vorgestellte „Risikotool“ dient dabei als Hilfestellung und zeigt damit einen möglichen Weg das Hochwasserrisiko im Sinne der EU-HWRL darzustellen. Das GIS-Tool erlaubt eine standardisierte Erarbeitung eines räumlichen Datensatzes der schützenswerten Güter aus den bestehenden Datengrundlagen und eine Überlagerung mit den verfügbaren Gefahrenkarten. Das Tool kann einerseits die Grundlagen für eine detaillierte Kosten-Nutzen-Untersuchung vorbereiten oder eine landesweite Übersicht über die potenziellen Schäden eines Gefahrenszenarios berechnen.

Es stellt ein Expertensystem dar, dass auf der Ebene der Verwaltung eine wichtige Entscheidungshilfe für eine objektive und transparente Prioritätensetzung der Maßnahmenplanung zum Schutz vor Naturgefahren ist und eine Grundlage für ein verbessertes Risikomanagement darstellt.

Neu am vorgestellten Tool ist dabei der flächenhafte Zugang der Analyse des exponierten Schadenpotentials. Die Datenqualität und Verfügbarkeit passiert auf umfangreichen Basisdatensätzen mit hoher räumlicher Auflösung (GIS Daten), die dann auf Gemeindeebene aggregiert dargestellt werden. Naturgefahreninduzierte Risiken unterliegen einer zeitlichen und örtlichen Variabilität, da die risikobeeinflussenden Faktoren (Prozess, Objektwert, Verletzlichkeit) sich lang- sowie kurzfristig verändern können (Fuchs et al. 2008). Die andauernden Veränderungen werden durch die ständigen Datenaktualisierungen der Basisdatensätze im oben beschriebenen Risikotool berücksichtigt und stellen damit ein dynamisches Risikokzept dar, das auch als Indikatorensystem für die Erfolgskontrolle des Risikomanagements und für das Monitoring der Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwasserrisiken dienen kann (Zischg et al. 2011).

Folgende Punkte stellen innovative Punkte in Zusammenhang mit dem Gemeindesteckbrief dar:

- Interdisziplinärer Zugang
- Eine flächenhafte Bewertung des Risikos
- Dynamisches Risikokzept
- Abgleich und Abstimmung mit internationalen (EU-HWRL) nationalen Richtlinien (Kosten-Nutzen-Untersuchung der Bundeswasserbauverwaltung und des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung)

Die Darstellung der Gefahren- und Risikosituation auf Gemeindeebene als Gemeindesteckbrief soll u.a. der Gemeinde als Entscheidungsgrundlage bei raumplanerische Tätigkeiten und Planungen innerhalb des Gemeindegebietes dienen.

DANKSAGUNG

Das Projekt wurde teilweise von der EU mit Mitteln des Alpenraumprogrammes 2007-2013 im Rahmen des Projektes "AdaptAlp – Adaptation to Climate Change in the Alps" ko-finanziert.

LITERATUR

- BMLFUW (2009). Kosten-Nutzen-Untersuchung im Schutzwasserbau, Richtlinien, KNU gemäß § 3 Abs. 2 Ziffer 3 WBF, FASSUNG JULI 2009, Wien.
- Fuchs S., Keiler M. und Zischg A. (2008). Multitemporale skalenabhängige Schadenspotenzialanalyse, Wildbach- und Lawinenverbauung, 158, S. 146 – 156.
- HORA, Hochwasserrisiko zonierung Austria "HORA" in der Version HORA 2.0 unter www.hora.gv.at am 21.09.2011.
- Keiler M., Zischg A. und Fuchs S. (2006). „Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken“, in: Strobl, J. und Roth, C.: GIS und Sicherheitsmanagement, Wichmann, Heidelberg, 118-128.
- Maidic F. (2010). Kosten Nutzen Untersuchung zum generellen Projekt – HWS Micheldorf bach, Klagenfurt.
- Planat (2005). Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur, Broschüre: PLANAT – Die nationale Plattform für Naturgefahren stellt sich vor, Biel, 2005.
- Pleschko D., Schmid F. und Sereinig N. (2009). EU-Hochwasserrichtlinie und mögliche Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, Zeitschrift.
- Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.
- Schober S., Zischg A. und Sereinig N. (2010). Hochwasserrisikotool – Gips-basierte Methodik zur Bestimmung von Hochwasserrisiken nach den Vorgaben der EU-Hochwasserrichtlinie, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Springer Verlag, Band 62 / Heft 5-6, Wien.
- Schober S. und Zischg A. (2010). Naturgefahren Kärnten. Erstellung eines Gefahrenlayers in der Bundeswasserbauverwaltung - Methode und Umsetzung. Projektbericht im Rahmen des Projektes „AdaptAlp – Adaptation to Climate Change in the Alps“ (Interreg Alpine Space 2007-2013)
- Sereinig N. (2007). Der Schutzwasserwirtschaftliche Raumentwicklungsplan, SREP, Klagenfurt.
- Seymann Ch., Sereinig N., Piechl T. (2009). Naturgefahren Kärnten – Interdisziplinäre Methoden und neue Geodaten für ein effizientes Risikomanagement im alpinen Raum.
- Zischg A., Schober S., Sereinig N., Rauter M., Seymann C., Goldschmidt F., Bäk R., Schleicher E. (2011). Monitoring the temporal development of natural hazard risks as a basis indicator for climate change adaptation. Natural Hazards 1-14. Springer Netherlands.

PLANNING AND EVALUATING PARTICIPATORY FLOOD RISK MANAGEMENT

Therese Stickler¹, Norbert Sereinig², Stefan Greiving³, Mark Fleischhauer⁴ and Katja Firus⁵

ABSTRACT

The EU Flood Risk Management Directive aims at an active involvement of interested parties in the setting up flood risk management plans. It is currently being implemented in the EU Member States. Thus, decision makers and authorities have to find appropriate tools for a communication and participation process which is one of the requirements of the directive. Two approaches for risk communication within flood risk management are presented in this paper:

- an indicator based model for the assessment of stakeholder cooperation and the institutional framework;
- the concept of social milieus to ensure a tailor-made participation campaign.

The indicator based model is a benchmarking tool to evaluate the performance of flood risk management systems in regard to risk governance principles.

The concept of social milieus was used to gain a picture of people living in the test case regions and to use this knowledge to plan information and participation activities.

This paper presents the approach and results of the ERA-Net CRUE project IMRA (Integrative flood risk governance approach for improvement of risk awareness). The conceptual framework of the project was tested in river basins in Germany, Austria and Italy. In all three case studies the elements of the communication strategy that were implemented were the start of an information and communication process which aimed at involving the stakeholders as well as the public. In general, the project activities had some impact, however this shall not be over-estimated and have to be carefully distinguished between the case studies.

Keywords: risk management, risk governance, risk awareness, participation, indicators, social milieus

INTRODUCTION

The overarching goal of the IMRA project was to influence and change real decision-making in flood risk management in three case study areas and to produce best practice examples which could serve as references for other authorities in Europe.

The test case areas represented different ecological conditions, socio-economic settings and cultural backgrounds:

- a mid-European hilly land river basin district, densely built-up, mainly prone to winter floods and flash floods: the river Wupper (Germany);
- an alpine river basin, prone to flash floods and debris flows: the river Möll (Austria);
- a Mediterranean river basin, prone to torrential floods: the river Chiascio (Italy).

To reach the aim of improving flood risk management, rather well known and already used methods for flood risk communication as well as tools and approaches from other risk communication fields and social marketing were collected and tested by the project team.

¹ Dr. Therese Stickler. Umweltbundesamt/Departement for Sustainable Development, Spittelauer Lände 5, A-1090 Vienna, Austria (e-mail: therese.stickler@umweltbundesamt.at)

² DI Norbert Sereinig. Amt der Kärntner Landesregierung/Abt. Wasserwirtschaft, Austria

³ Prof. Dr. Stefan Greiving. TU Dortmund University/Institute of Spatial Planning (IRPUD), Germany

⁴ Dr. Mark Fleischhauer. TU Dortmund University/Institute of Spatial Planning (IRPUD), Germany

⁵ Katja Firus, T6 Società Cooperativa, Italy

The conceptual starting point of this paper as well as the tools that were elaborated and selected in the study are corresponding to the following research questions:

1. How can public participation in flood risk management be increased through better risk communication and greater risk awareness?
2. How can participation in the establishment of flood risk management plans be encouraged and improved as a feature of “good governance”?
3. What can institutions learn from improved understanding of risk communication approaches, tools and techniques? How can this learning be applied to improve the effectiveness of communications to the public (across a range of flood risk management activities, e. g., mapping, planning, event management, etc.)?

A conceptual framework was elaborated by the project team at the beginning of the project and was used as a roadmap for all activities. The first part of the concept consists in theoretical knowledge on risk perception, risk communication and good governance with a strong focus on participation. The other part of the concept describes tools and approaches selected for the application in the test case regions. The framework reflected the interdisciplinary (natural and social sciences) and transdisciplinary (scientists and persons from flood risk administrations) structure of the project team. There was a strong focus on the connection between theoretical concepts and the practical application of the tools due to the fact that the flood risk administrations of the three test case regions were included in the work as full project partners. To ensure that the conceptual framework fulfilled on the one hand scientific standards and on the other hand was practical enough to be used by flood risk administrations, the concept was discussed with external experts from other ERA-Net CRUE projects as well as practical experts from administration two times: once in the very beginning of the project and a second time after the collection of the results from the test case regions (validation phase). The results of these discussions lead to slight adaptations or additions of the conceptual framework.

INVOLVEMENT OF THE PUBLIC

The core of the project was the idea that an optimisation of the flood risk management process needs an explicit involvement strategy of the public. But who can be defined as public? Neither normative concepts like sustainable development or good governance nor the European Water Framework Directive do specify what public participation or the participation of users means in detail (Fleischhauer et al., 2010). Within the IMRA project it was distinguished between (Firus et al., 2011a; BMVIT, 2008):

- (Institutional) stakeholders: Organised groups that represent specific interests. These can be (a) formal decision-makers that are involved in flood risk management in the case study areas and that have official tasks (“administrative” or “decision-making” stakeholders) and (b) those that influence decisions more indirectly (interest groups, NGOs etc.);
- Public: The broad public or parts of the broad public, e.g., people that have just moved to a hazard-prone area and that are not at all aware of the flooding hazard. The broad public is more or less unlimited group of persons that are affected by or interested in a topic or a project/a process.

Administrators, politicians on the national, regional and local level, representatives of farmers, hunting, fishery and tourism, NGOs, land owners, energy suppliers, civil protection and lay people: all their interests should be respected and considered. As the legal and technical requirements for integrated flood risk management are often complicated, possibilities for public participation sometimes arise only when taking a closer look. But often it is possible to find and use a scope for public participation also in such complex technical matters – if there is an honest intention to do so (BMVIT, 2008). This is in line with the requirements of Article 10 of the EU Flood Risk Management Directive which aims at an active involvement of interested parties in setting up flood risk management plans. Public participation therefore is much more than just an information campaign with regard to final results: “Member States shall encourage the active involvement of all interested parties into the production, review and updating of the flood risk management plans” (Article 10, § 2, Flood Risk Management Directive).

However, some legal constraints may hinder the ideal implementation of such an active involvement. The involvement strategy of IMRA aimed at an integrated flood risk communication and participation process and was accompanied by measures that were rather conservative, like – for example – collecting and describing the administrative and legal framework or already existing data, maps and guidelines concerning flood risk in the case study regions to get a clear picture of the formal conditions (Stickler et al., 2011). As the IMRA approach was intended on a real application on the ground, any participation had to be in line with the given legal context a case study area is characterised by. This meant that in some case study areas like Carinthia and the Wupper catchment area, where the procedure for setting up hazard maps is legally defined, a formal public announcement has to be the first step in any case. It depends on the local administration how active the public is informed about this early stage of risk assessment and in most cases only the legal minimum requirements are met. (Fleischhauer et al., 2010). Therefore the interplay between formal (legally required) and informal (voluntary) participation has to be taken into consideration when defining the scope of public involvement.

Stakeholders and the broad public can both be involved in public participation projects; but not necessarily at all stages of a project and in the same intensity (Carney et al., 2009).

In this article, we use the term “involvement” or “participation” which includes different levels of engagement from passive reception of information, participating in a consultation process up to involvement in decision making (Rowe & Frewer 2000; Standards of Public Participation 2008).

The intensity of participation reached in all three case study areas from information (e.g. by folders, public meetings) to consultation (workshops, informal meetings with stakeholders). In the Austrian and the German case studies the stakeholders were also included in the decision-making process e.g. in Austria stakeholders were asked to rate further dissemination activities or the design of maps. (Firus et al., 2011b).

Setting up participation processes needs some tacit knowledge in dealing with participants outside science or administration. However, scientists, technicians and persons from administration often still tend to see stakeholder participation as a tool to educate the stakeholders/the public so that these eventually understand the value and necessity of the actions proposed by the scientists/the administration. But most people feel intuitively if they are included in a dialogue as a full partner or are educated/instrumentalised. An educational approach is a barrier to create the basis for all participation processes based on deliberation: trust. Scientists, technicians and administration representatives need to understand that a qualitative high involvement process is an important learning process for all. Technical, administrative, legal, economic, social as well as common knowledge have the same importance and the same usefulness in a dialogue. Getting insight in the knowledge, perceptions and needs of others is not of less worth than technical expertise. (Firus et al., 2011a)

THE 12-STEP APPROACH

Additionally to elements of the involvement strategy (like a stakeholder analysis tool, an assessment of the social milieus in the regions and an assessment of the status of risk governance) selected methods for participation and communication in flood risk management were applied in the three case study areas during the IMRA project. . The experiences made with all applications were compiled in a handbook on planning and implementing communication and public participation processes in flood risk management – one of the central outputs of the project (Firus et al., 2011a). The handbook is designed to support decision makers and others that are responsible for the implementation of the Flood Risk Management Directive especially concerning the active involvement of interested parties by presenting a set of participation and communication methods. In particular it is targeted to the technical staff of 1) regional administrations, water authorities and river basin authorities and districts responsible for planning and carrying out flood risk management communication and participation processes; 2) local authorities in charge of implementing flood risk management communication and participation processes.

The handbook is structured along an ideal 12-step process of flood risk communication and participation. It shows how the strategic elements can contribute to successfully implement an involvement strategy and further allocates appropriate communication and participation methods to the steps of the approach. It leads the reader through the planning, preparation, implementation and evaluation phase of a risk management process. Each phase is composed of one or more step with a reference to methods which can be applied in a single step. The handbook provides a collection of (innovative) methods or activities, respectively, and their assessment for the purposes of the implementation of the Flood Risk Management Directive. They proved to be highly suitable for a communication and participation process in flood risk management. However, they are just examples and cannot be considered exhaustive.

The methods/activities presented are structured along the planning phase of a governance process, information, consultation and common decision-making, related to different intensity levels of participation. Nevertheless, there are overlapping areas among these sections and some methods/activities fit in either of them. The elements of the involvement strategy play a central role in a flood risk management process. On the one hand they support each step of an ideal flood risk management process. On the other hand each element of the involvement strategy can be implemented by different communication and participation methods and activities.

Two approaches for dealing with risk perception and risk communication, which have been used in other risk communication fields or social marketing but never before in the area of flood risk management, will be described in detail:

- a new indicator based model for the assessment of stakeholder cooperation and the institutional framework of this cooperation;
- the concept of social milieus to ensure a tailor-made participation campaign.

ZOOM IN: RISK GOVERNANCE ASSESSMENT TOOL

The vulnerability of societies in general can be distinguished into different dimensions such as social, economic or ecological vulnerability but also institutional vulnerability. The institutional vulnerability can be seen as one of the main framework conditions in dealing with risks because the whole risk cycle from mitigation, preparedness, response to recovery is embedded in an institutional system (Birkmann, 2006).

The aspect of institutional vulnerability can in principle be understood as lack of ability to involve all relevant stakeholders and effectively co-ordinate them right from the beginning of the decision-making process and according to risk communication processes. It refers both to organisational form and function as well as to guiding legal and cultural rules (Young, 2002; Greiving, 2005).

In a former project (MIDIR – Multidimensional integrated risk governance) a set of a core principles of and prerequisites for successful multidimensional and integrative risk governance has been developed (Greiving et al., 2007). Within the IMRA project the responsible water administrations used this approach twice to assess and monitor the performance of the existing management systems in terms of attention paid to risk governance principles.

The adapted indicator system was an important outcome of the IMRA project, since monitoring and evaluation of governance processes are relevant for a learning process towards recreating trust in public decision-making. The risk governance assessment tool presented here supports decision makers to optimise the quality and performance of the planned and/or implemented risk governance process by evaluating it against a set of ideal risk governance indicators. Thus, it is mainly a self-assessment tool. However, it can be also used for external communication to other stakeholders and to the public by showing already achieved goals within the process and by pointing at still existing deficits. The following table 1 shows the key performance indicators with their main attributes.

Tab. 1 Overview of key performance indicators

Keyword	Key question	Objective	Key Performance Indicator
Principles	What are the guiding principles?	Definition of guiding principles and a consistent “target system”.	Degree of operationalisation of the guiding principles.

Trust	How far is attention paid to relevance of an atmosphere of mutual respect and trust?	Between all relevant stakeholders and decision makers an atmosphere of mutual respect and trust exists.	Reflection of trust concerning people/institutions.
Objectives	What are the concrete protection goals for subjects of the protection?	Definition of a comprehensive and obligatory understanding of the damage-protection-relation.	Degree of obligation concerning the protection goals for the subjects of the protection.
Accountability principle	How far is accountability defined at each level (process, each risk)?	Each actor knows his responsibilities and acts accordingly.	Definition of the responsibility.
Justification	How far is the activity concerning the management of existing risks justified?	Justification of action in the area of risk management.	Definition and agreement on a justification concerning the exposure to risk.
Representation	How far are all relevant social groups (and their representatives, stakeholder respectively) and their expectations known?	Identification of all relevant social groups and their expectations.	Degree of high profile of all social groups and their expectations.
Access to information	How far is information for all stakeholders accessible?	Access for all stakeholders to the relevant information.	Degree of the availability and understandability of the relevant information for stakeholders.
Tolerance process & outcome	How far do the stakeholders tolerate/accept the risk governance process and its outcomes?	All involved stakeholder tolerate/accept the risk governance process and its outcomes.	Degree of the tolerance/acceptance on the part of involved stakeholder.
Dialogue	To what extent is a constructive dialogue with the relevant stakeholders available or conducted?	Establishment of custom discourse-processes concerning risk topics.	Quality of discourse-processes with relevant stakeholders (i.e. public or private representatives).
Financial Resources	To what extent do the available financial resources meet the requirements of the defined Risk Governance Process?	Allocation of sufficient financial resources for a successful risk governance process.	Degree of realisation of a financial concept.
Staff Resources	To what extent do the staff resources (technical qualification and number of people) meet the requirements of the defined Risk Governance Process?	Allocation of adequate staff resources.	Realisation of a staff assignment concept.
Role	How far has the role of experts been defined?	If experts are involved, their role within the decision-making process has to be defined.	Degree of definition and agreement concerning the role of experts.
Co-ordination	Is the flood risk management process appropriately co-ordinated?	Realisation of a concept to co-ordinate decision-making procedures.	Commitment of relevant stakeholders to a co-ordination agreement.
Co-operation	To which degree do the relevant stakeholders co-operate with each other?	Degree of definition and agreement concerning the responsibilities of stakeholders.	Existence of an institutionalised process of co-operation.

The performance of the institutional risk governance process is illustrated similar to a balanced scorecard. The method enables decision makers in the area of risk governance/communication to optimise the performance of their activities by assessing it along selected risk governance indicators. It helps to identify priorities for the next steps of the governance process. After a first round the

assessment should be repeated after a certain period of time (e.g. 1 or 2 years) in order to evaluate the progress towards an ideal governance process.

The self-assessment can be extended by a parallel external assessment by other relevant stakeholders. This gives the institution in charge the opportunity to compare the own view with the external perspective. The application of the method can be considered successful if the results of the 2nd or any other consecutive assessment rounds show an improvement in the risk governance performance. Further, similar internal and external assessment results can also be interpreted as a part of a successful application. However, also the implementation of the different steps can be seen as a success as objectives, priorities and responsibilities can be defined.

Example: Assessment of a regional river authority.

	Key Performance Indicators	Classification				
		Red Not started	Orange Beginning	Yellow Developing	Green Performing	Blue Improving
Basic / conten	Principles		■ ■		■	
	Objectives		■ ■ ■			
	Trust		■	■		■
Process	Accountability principle (Internal)		■	■		■
	Accountability principle (external)		■ ■	■		
	Justification		■	■		
Stakeholder	Representation		■ ■	■		
	Access to Information	■	■	■		
	Tolerance process & outcome	■	■			
	Dialogue		■ ■ ■			
Resources	Financial resources	■	■ ■			
	Staff resources	■	■	■		
Expertise	Role		■ ■ ■			
Co-ordination and co-operation	Co-ordination	■	■	■		
	Co-operation		■	■ ■		

Source: own elaboration

Fig. 1 Feedback on self-assessment of water authority (Firus et al., 2011a)

Explanation: The self-assessment by the regional water authority is marked with colors. The estimation results of the three stakeholders are marked with

The results of the self-assessment described in Figure 1 show that the regional water authority has already achieved some important steps (marked in blue or green) in the following areas:

- access to information;
- financial resources;
- staff resources;
- role-

The result is of course not representative but gives an idea on how the internal and external views of the local authority’s work converge or diverge, respectively, in this respect. The feedback results show that in general the external and internal views are not that far away from each other. However, concerning some elements there are significant differences:

- access to information: estimated lower than by the regional water authority itself;
- financial resources: significantly lower (red/orange external view compared to green);
- staff resources: significantly lower (red/orange/yellow external view compared to blue);
- role: here the external experts judge the work of the regional water authority rather low (all orange) compared to the regional water authority itself.

The application of the indicator set is seen as a good tool for structuralising and prioritising topics of risk governance:

- Austrian case study: Austria has a tradition of administration and law how to deal with flood risk and many areas the indicators deal with are formally defined and without much scope. Many principles, goals, responsibilities, etc. cannot be influenced by AKL because they are defined by law or other regulations. But the Indicators are seen as a tool (similar to a SWOT analysis) to structuralise and prioritise the discussion on cooperation fitness in areas that are informal and/or without administrative tradition. The MIDIR indicators show room for improvement, but an improvement of the situation is often depending on resources allocation (e.g. for participation activities) that is not in the responsibility of the partners;
- German case study: The German partners concluded that the indicator set is most important as an internal assessment tool in order to structuralise and prioritise issues on flood risk management. The Wupperverband would have wished to receive earlier responses in order to improve the quality of their work;
- Italian case study: An assessment with indicators seems to be a good way to analyse the performance of the organisation, as it provides a clear structure. It is a new way of monitoring in the administration. It seems that these kind of benchmarking and monitoring processes are more common in the Northern part of Europe. Only discussing the indicators and the values, highlighted some issues that were previously not taken into consideration.

ZOOM IN: SOCIAL MILIEU APPROACH

Risk perception is affected by attitudes and values – values filter information and colour perceptions. To plan a risk communication strategy it is necessary to discover

- the status of knowledge and risk perception of the local population;
- which values and attitudes can affect risk perception the target groups.

Attitudes, values and other socio-cultural features can be assigned to social groups, to “milieus”. Research on social milieus is traditionally performed by market research and psychology. It was not foreseen or possible within the IMRA project to perform a detailed socio-cultural analysis of the target groups in the regions of the subprojects. But an overview on the national level on which kind of target groups do exist, what their attitude and values are and what kind of information material might reach them can give valuable input to a risk communication strategy.

Understanding how values filter information and colour perceptions is of critical importance to design and implement public information campaigns (Roser-Renouf and Nisbet, 2008). It should not be neglected that there are also voices (Sjöberg, 2000) which do object that the social context per se by no means is the sole determinant of risk perception. However, the social milieu approach can be regarded as valuable for building up communication strategies and therefore it was used as a working hypothesis.

Social milieus on the local or the regional level can be identified and described by market research companies or similar institutions/organisations. Within the IMRA project such a detailed analysis was not carried out but the Sinus Milieus® acted as a tool to discuss how to reach local target groups in the case study areas. After Kleinhüchelkotten (2007) the question is not: “What is wrong with these people, why won’t they understand?” but “What don’t we understand about our target audience?”

To have a basis for a discussion, available social milieu analyses like the Sinus Milieus®, developed by the market research companies INTEGRAL (Austria) and SINUS-Institut, Heidelberg (Germany), can be used. These Sinus Milieus® give an overview of social groups on the national level for all case studies. Integral (2009) points out that the Sinus Milieus® combine demographic characteristics such as education, profession and income with the real living environments of the people, which means with fundamental value orientations and attitudes towards working and leisure time, family and relationship, consumption and politics. The social milieus were used in the IMRA project to plan the risk communication strategy: what to communicate, how to communicate und which cannels to use.

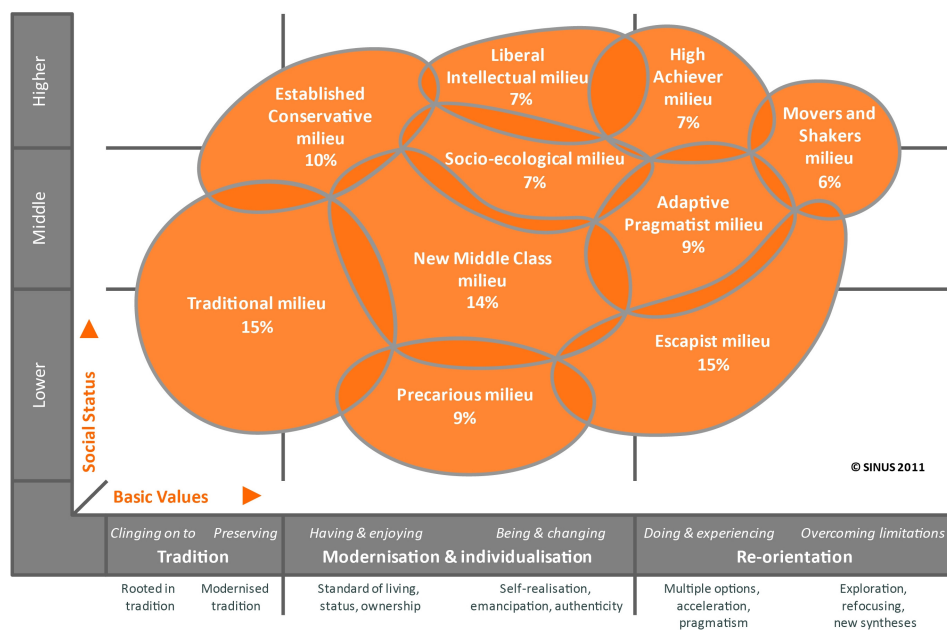


Fig. 2 Social milieus in Germany (Source: SINUS-Institut, Heidelberg, 2011)

The social milieus described above were not just a theoretical exercise but were used to design tailor-made communication strategies in the case study areas. Social milieus can act as a mean to discuss how to reach local target groups in the case study areas. E.g. in the Austrian case study in the valley of the River Möll in Carinthia, the project team used statistical data about formal education, age, income, employment rate, sectors of employment as well as the results of the last elections. The results of the analysis of social milieus showed that most parts of the population belong to the rural-traditionalist, the working class and the middle class milieus.



Fig. 3 Symbolic representatives and kind of media: post-materialist and traditional/middle class (all photos: Stickler)

In the communication and participation approach all methods and also the selection of multipliers were adjusted to the social milieus: the stakeholder workshop, the exhibition and the school projects. According to the identified milieu, low-threshold approaches with a strong focus on historic local events and oral history involving the local population were implemented.

An example: An exhibition about past flood events in the 1965/66 in the community of Großkirchheim consisted of only one panel about the scientific backgrounds (meteorological data, hydrological information) of the floods, but 8 panels with information concerning the devastation in Großkirchheim and 3 panels featuring the media coverage 1956/66. The 8 panels consisted of a rather small amount of text and this written information was about flood witnesses experiences and written in the local dialect. The opening of the exhibition was planned as a mixture of an information activity and a social event with contributions of flood witnesses.

Additionally to the social milieu the target groups may also differ in their age. This can also affect the decision on what information channel to use. Children are more attracted to new media than older persons. This could be seen in the Carinthian case study during one event, where traditional forms of media like an exhibition and new electronically media were used. Children went immediately to all forms of electronically media, whereas the older generation focussed on the exhibition panels.



Fig. 4 Age and media preference during a flood risk event in Carinthia (Photos: Revital (left); Stickler (right))

The difference in the selected approaches in the three case studies had its basis not only in the results of the indicator based analysis but also in the social milieu approach that helped to understand that not all people can be reached with one communication means e.g. the same kind of flyer.

Results of the social milieu approach in the three case study areas:

In Austria and Germany it is seen as a very useful tool for planning target group oriented risk communication activities. In Italy it was seen as one useful parameter for the identification of the communication activities.

Data and information used for the analysis of social milieus were in Austria statistical data from Statistik Austria, additional data was researched by internet. In Germany statistical data from Information und Technik Nordrhein-Westfalen and the City of Leichlingen; in interviews with local stakeholders/key questions on social milieus were asked. And in Italy the data came from the ISTAT 2008 Yearbook and ISTAT 2009 Yearbook: regional data about Umbria and data by Internet research. The barriers for the analysis of the social milieus were the same in all three case studies: no very detailed socio-demographic data is available at such small scale. In Germany additional qualitative information by interviews was needed.

In the Austrian case study, the results of the analysis of social milieus showed that most parts of the population belong to the social milieus of rural-traditionalists, the working class and the middle class (according to the Austrian Sinus milieus). In the German case study most parts of the population belong to the social milieus of rural-traditionalists and the middle class (compared to the German Sinus Milieus). The large part of population of the Italian case study region can be classified as ambitious Middle Italy (compared with the Italian Sinus milieus).

In the Austrian case study all methods and also the selection of multipliers was adjusted to the social milieus: stakeholder workshop, exhibition, school projects. In Germany the approach as such helped to look carefully whom to address with the elements of the communication strategy; however, this step was not directly linked to certain social groups. In Italy communicating with students and teachers during meetings in different schools (with videos, games, competitions) in order to involve their families was also chosen according to the social milieu of the region.

IMPACT OF BETTER PUBLIC AWARENESS AND PARTICIPATION ON REDUCTION/ALLEVIATION OF FLOOD RISK

In the Wupper case study the impact of the stakeholder workshops and the self-assessment on the group of relevant stakeholders was quite high as for the first time all stakeholders relevant for the

implementation of the Flood Risk Management Directive met and discussed especially on the issue of communication and participation. It helped to identify responsibilities of the stakeholders and revealed open issues. The Wupperverband and the local communities can build on these results for the further communication strategy the responsible authorities from the State of North Rhine-Westphalia.

Concerning public awareness the impact of the communication activities have to be rated rather low although the 2nd survey revealed a slight increase in the awareness of flood risk. About a third of the people who answered the survey had recognized either of the activities. However, local stakeholders had the impression that there was no broad impact on the local population so far – and of course it is not clear if and how those people that have been better informed through the activities will participate in the process and maybe even will take self-protection measures.

Nevertheless, the exemplary implementation of different communication methods helped the local, regional and State authorities to gain experiences and to design the future communication and participation process.

In the Carinthian case study along the river Möll all local stakeholders already knew each other but had no common understanding of the residual risk. The stakeholders had a clear understanding of their duties and responsibilities but saw some potential for improvement in the spatial planning coordination and disaster prevention training. It was highly appreciated that the cooperation within the project resulted not only in “talking” but in specific actions and requirements.

The communication activities of questionnaires and the exhibition had a rather high impact on the local population to establish some peer-to-peer communication within the local community. But continuous activities have to follow to stabilise the risk awareness. However, there is still a very low feeling of personal responsibility for risk prevention or financing flood risk protection activities.

The workshop on comprehensibility of information material gave valuable input to the provincial as well as the national authorities responsible for food risk maps. A further result was a folder concerning flood risk in Großkirchheim that was designed after the suggestions of the lay participants of the workshop.

Some important aspects from the implementation of the communication strategy in the Chiascio case study area are that the presentation of the topic of flood risk in general contributes already to an awareness raising of the importance of the topic, especially at the stakeholders in the public administration. This became obvious from the several meetings. Key people who have a particular interest in the topic (as e.g. the technician of the municipality of Assisi or some teachers in schools) are of high importance to promote any activity and involvement. During the IMRA project schools were included in the project to convey “the message” to people and to use them as vehicles to forward the information to families. This was confirmed by the results of the second survey which showed an increase in risk awareness. Visual communication tools, focusing on problems of the area, and interactive games seem to be successful tools to involve people in a way that have an impact on the awareness of the problem.

CONCLUSIONS

In all three case studies the elements of the communication strategy that were implemented were the start of an information and communication process which aims at involving the stakeholders as well as the public. In general, the project activities had some impact, however this shall not be over-estimated and has to be carefully distinguished between the case studies.

The experiences made with the practical applications in the case study areas of the project IMRA were the basis to design a 12-step approach and to allocate appropriate methods of risk communication and public involvement to these steps which are now described in a handbook for flood risk practitioners. As any kind of guidance or handbook it has to deal with the following questions: Which of the recommendations compiled from literature or case study experiences can be transferred to other cases? Are the applied and tested methods and approaches flexible enough? Which elements are generally transferable and which are context related and have to be adapted to other circumstances?

The 12-steps concept presented in the handbook is a general frame for involving and informing stakeholders and the public in flood risk management. It can be generally applied to other cases. The specifications within each step and the design of approaches and methods, however, need to be adapted to the specific situations because every case has its own context and specificities which depend on the characteristics of the risk setting itself (e.g. existing level of acceptance with respect to risk governance), political (e.g. legal system), economic, social (e.g. risk culture), institutional and other aspects. These characteristics have a large influence on the implementation of any concept for participatory flood risk management. (Firus et al., 2011a)

REFERENCES

- Arbter K., Handler M., Purker L., Tappeiner G. & Trattnigg R. (2005). Das Handbuch Öffentlichkeitsbeteiligung, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) und Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.). Wien.
- Birkmann J. (2006). Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements, in: Birkmann, J. (2006) (Edt.): *Measuring Vulnerability to Natural Hazards – Towards disaster resilient societies*, United Nations University Press, New York, 55-77.
- BMVIT Bundesministerium f. Verkehr, Innovation u. Technologie (2008). Leitfaden: Öffentlichkeitsbeteiligung im Hochwasserschutz; Wien.
- Carney S., Whitmarsh L., Nicholson-Cole S.A. & Shackley S. (2009). *A Dynamic Typology of Stakeholder Engagement within Climate Change Research*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 128.
- European Parliament and the Council of the European Union (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Community Action in the field of Water Policy, published in the Official Journal (OJ L 327) on 22 December 2000.
- European Parliament and the Council of the European Union (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the Assessment and Management of Flood Risks, published in the Official Journal (OJ L 288) on 6 November 2007.
- Fleischhauer M., Stickler T., Greiving S., Wanczura S. (2010). IMRA concept for participatory flood riskmanagement aiming at the improvement of risk awareness and increased public participation, Del. 1.2 of the IMRA project.
- Firus K., Fleischhauer M., Greiving S., Grifoni P., Stickler T. (2011a). Planning and implementing communication and public participation processes in flood risk management. Procedural guidelines and toolbox of methods, Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- Firus K., Fleischhauer M., Greiving S., Stickler T., D'Andrea A., Ferranti C., Flex F., Koboltschnig G., Fangucci G., Scheibel M., Ebers M., Sereinig N., Malvati P., Grifoni P., Bagnini S., Guzzo T., Vitale V. & Wanczura S. (2011b). IMRA - Integrative flood risk governance approach for improvement of risk awareness and increased public participation. (2nd ERA-NET CRUE Research Funding Initiative - Final Report).
- Greiving S. (2005). Concepts and indicators for measuring institutional vulnerability, Proceedings of the 2nd meeting of the UN expert group on vulnerability. UNU-EHS. Bonn.
- Greiving S., Wanczura S., Voßbürger P., Sucker K., Fourman M. (2007). Scalable resilience and risk governance concept including guidelines on stakeholder involvement. Del. 1.2 MIDIR Project.
- INTEGRAL (2009): Die Sinus Milieus® in Österreich. Available at: http://www.integral.co.at/de/sinus/milieus_at.php.
- Kleinhüchelkotten S. (2007). Soziale Milieus als Zielgruppen in der Bürgerbeteiligung und Engagementförderung Freiburg, 20.10.2007, available at: http://www.21-kom.de/fileadmin/user_upload/PDFs/02_Sinus_Milieus/Soziale_Milieus_und_Engagement.pdf.
- Roser-Renouf C. & Nisbet M. (2008). The measurement of key behavioral science constructs in climate change research. *International Journal for Sustainability Communication*, 3, pp. 37-95.
- Rowe G. & Frewer L.J. (2000). Public Participation Methods: A Framework for Evaluation. In: *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 25, No. 1:3-29.
- Sjöberg L. (2000). Factors in Risk Perception, in: *Risk Analysis*, Vol. 20, No. 1, 2000, pp. 1-11.

- Standards of Public Participation (2008); adopted by the Austrian Council of Ministers on 2 July 2008.
- Stickler T., Fleischhauer M., Greiving S., Koboltschnig G., Malvati P., Grifoni P., Firus K. (2011). Planning and Evaluating with New Participatory Flood Risk Management Tools, in: UFRIM. Urban Flood Risk Management. Proceedings of the International Symposium, Technische Universität Graz, Graz.
- Young O.R. (2002). The Institutional Dimensions of Environmental Change. Fit, Interplay, and Scale. Cambridge, Mass., London 2002, MIT Press.

VERGLEICH VON VULNERABILITÄTSKURVEN FÜR WILDBACHPROZESSE

A COMPARISON OF VULNERABILITY FUNCTIONS FOR TORRENT PROCESSES

Reinhold Totschnig¹ und Sven Fuchs²

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung der Vulnerabilität von Risikoelementen (z.B. Personen, Gebäude, Infrastruktur) spielt bei der Ermittlung des Risikos eine zentrale Rolle. Vulnerabilitätsfunktionen, die eine Beziehung zwischen der Schadenlast des Gebäudes und der schadenverursachenden Prozessintensität herstellen, sind eine Möglichkeit, Verletzlichkeit zu quantifizieren. Für verschiedene Wildbachprozesse (fluviatiler Feststofftransport bis Murgang) wurden in den letzten Jahren derartige Funktionen abgeleitet. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Vulnerabilitätsfunktion für fluviatilen Feststofftransport in Wildbächen mit Funktionen für Murgänge verglichen. Basierend auf der Auswertung österreichischer Daten ergaben sich auf Grund des Fehlens von hohen Schadenlastwerten für beide Prozesse unterschiedliche Kurvenverläufe. Nach Erweiterung des Datensatzes mit Daten einer italienischen Studie konnten für die unterschiedlichen Prozesse ähnliche Kurvenverläufe erzielt werden. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass für die Bestimmung der Vulnerabilität keine Unterscheidung zwischen feststoff-belasteten Wildbachprozessen notwendig ist. Die präsentierten Vulnerabilitätsfunktionen sind operativ einsetzbar und können im Rahmen des Risikomanagements verwendet werden.

Keywords: Risikobewertung, Verletzlichkeit, Wildbachprozesse, Alpen, Österreich

ABSTRACT

Vulnerability assessment for elements at risk (e.g. persons, buildings and infrastructure) is an essential component in the framework of risk assessment. Vulnerability functions, also known as vulnerability curves, establish a relationship between the degree of loss of individual elements at risk such as buildings and the intensity of the impacting process. Such functions were only recently developed for torrent processes (fluvial sediment transport and debris flows). In our study a vulnerability curve for residential buildings affected by fluvial sediment transport in torrents was compared with vulnerability curves for debris flows. Based on Austrian data the curves did show a mismatch if compared to each other due to missing high values for the degree of loss in case of debris flows. However, after complementing the data set with vulnerability data provided by an Italian study the shape of the two curves was similar. Hence, we conclude that there is no need to differentiate between fluvial sediment transport processes, debris floods or debris flows when assessing vulnerability. The presented vulnerability functions may be operationally applied in the framework of risk management.

Keywords: Risk assessment, vulnerability, torrent processes, Alps, Austria

¹ DI Reinhold Totschnig, MSc. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria (e-mail: reinhold.totschnig@boku.ac.at)

² Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria (e-mail: sven.fuchs@boku.ac.at)

EINLEITUNG

Alpine Naturgefahren stellen in einem Land wie Österreich eine ständige Bedrohung für den besiedelten Raum dar. Wildbachprozesse, als Teil der alpinen Naturgefahren, werden dabei in die Prozesse Hochwasser, fluviatiler Feststofftransport, murartiger Feststofftransport und Murgang unterteilt (ONR, 2009). Auch wenn sich, basierend auf Auswertungen unterschiedlicher Datenbanken (Oberndorfer et al., 2007; Hübl et al., 2011), für Wildbachprozesse keine eindeutige Zunahme der Anzahl von Ereignissen innerhalb der letzten 50 Jahre erkennen lässt, hat sich das Schadenspotential in diesem Zeitraum deutlich erhöht (Keiler und Fuchs, 2010). Damit einhergehend ist ein Bevölkerungswachstum von 7,1 Mio. im Jahre 1961 auf 8,4 Mio. im Jahre 2010 (Statistik Austria, 2011). Bedingt durch den Gebirgscharakter ist einerseits für Bauzwecke nutzbares Land in Österreich nur begrenzt verfügbar (Holub und Fuchs, 2009), andererseits hat sich der durchschnittliche Bedarf an Wohnfläche von 22 m² pro Person im Jahre 1972 auf 38 m² im Jahre 2001 erhöht (Statistik Austria, 2004). Dieser Erhöhung des Schadenpotentials und der damit möglichen Schäden wird durch die Berücksichtigung des Risikokonzpts im Umgang mit Naturgefahren Rechnung getragen. Dies zeigt sich auf einer politischen Ebene zum Beispiel in einzelnen Alpenländern wie der Schweiz (PLANAT, 2005), aber auch auf einer gesamteuropäischen Ebene durch das Inkrafttreten der *Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken* (Commission of the European Communities, 2007). Auch auf einer wissenschaftlichen Ebene findet eine intensive Auseinandersetzung mit der Thematik statt, und es werden Methoden und Konzepte für den Umgang mit Naturgefahren bzw. für das Risikomanagement von Naturgefahren entwickelt (z.B. Mazzorana und Fuchs, 2010). Die Vulnerabilität bzw. Verletzlichkeit der Risikoelemente (z.B. Personen, Gebäude, Infrastruktur) ist bei der Ermittlung des Risikos ein zentrales Element.

Für alpine Naturgefahren geben Pappathoma-Köhle et al. (2011) einen Überblick über die Bewertung der physischen Vulnerabilität, während bei Fuchs et al. (2007) detaillierter auf bereits publizierte Verfahren für Murgänge eingegangen wird. Ein Großteil der dabei von diesen Autoren zusammengefassten Methoden hat einen qualitativen bis semi-quantitativen Charakter, nur vereinzelt finden sich quantifizierende Ansätze (z.B. Fuchs et al., 2007; Totschnig et al., 2011). Für eine Berechnung des Risikos ist die Quantifizierung der Vulnerabilität unabdingbar. Die Vulnerabilität ist dabei abhängig von der Magnitude oder Intensität des Prozesses. In Bezug auf Wildbachprozesse wird gemeinhin angenommen, dass Murgänge eine größere Belastung auf Gebäude ausüben als ein Prozess mit dominierendem fluviatilen Feststofftransport (Hungr et al., 2001). In Österreich ist man im Zusammenhang mit der *Richtlinie für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinerverbauung* von dieser Annahme abgegangen und hat einheitliche Vulnerabilitätswerte für die Prozesse Hochwasser mit starker Geschiebeführung und Murgang ausgewiesen (BMLFUW, 2005). In dieser Richtlinie wurden jedoch in vereinfachender Weise für nur zwei Intensitätsklassen entsprechend der roten und gelben Gefahrenzone Angaben gemacht.

Ein direkter und kontinuierlicher Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und Intensität kann in Form von Vulnerabilitätskurven hergestellt und quantifiziert werden. Für Wildbachprozesse wurden dabei verschiedene Vulnerabilitätsfunktionen entwickelt (Fuchs et al., 2007; Akbas et al., 2009; Tsao et al., 2010; Totschnig et al., 2011), die entweder auf Murgänge oder auf fluviatilen Feststofftransport Bezug nehmen. Im Zuge der hier präsentierten Studie wurden beide Prozesse integrativ betrachtet, und eine Kurve für fluviatilen Feststofftransport in Wildbächen (Totschnig et al., 2011) mit einer Kurve für Murgänge verglichen, um Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten bewerten zu können.

METHODIK

Die hier angewandte Methodik verwendet einen ökonomischen Ansatz und basiert auf einer GIS-gestützten Verarbeitung der Daten, wie sie in Totschnig et al. (2011) vorgestellt wurde. Vulnerabilität wird hierbei als dimensionsloser Verhältniswert zwischen 0 (kein Schaden) und 1 (totale Zerstörung) verstanden (Fell et al., 2008). Das Ziel dieser Methodik ist die Herstellung eines mathematischen Zusammenhanges zwischen der Schadenlast eines Gebäudes und der Prozessintensität in Form einer

Vulnerabilitätsfunktion. Um dies erreichen zu können, müssen Daten bezüglich des Schadens für dokumentierte Ereignisse, die den Schaden verursachende Prozessintensität sowie der Wiederherstellungswert pro Gebäude ermittelt werden.

Risikoelemente

Untersuchungsgegenstand dieser Studie sind Wohngebäude, die auf Schwemmkegeln ausgewählter Testgebiete lokalisiert sind und während der Ereignisse beschädigt wurden. Die untersuchten Gebäude wiesen eine ab den 1950er Jahren für alpine Regionen Europas typische gemischte Ziegelmauerwerk- und Betonbauweise auf. Für jedes einzelne Gebäude wurde mittels eines ökonomischen Ansatzes die Schadenlast (SL) ermittelt, welche als Verhältniswert zwischen dem entstandenen monetären Schaden (S) und dem Wiederherstellungskosten des Gebäudes (WK) definiert ist: $SL = S/WK$. Die Schäden wurden, gestützt durch Informationen der Länder, der Gemeinden und der örtlichen Gebietsbauleitungen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) für jedes einzelne Gebäude erhoben und zur Verwendung in den folgenden Analyseschritten inflationsbereinigt.

Die Berechnung der Wiederherstellungskosten folgt einem räumlichen Ansatz, wie er von Kranewitter (2002) sowie Keiler et al. (2006) vorgestellt wurde. Ausgangspunkt ist hierbei die Gebäudefläche jener Gebäude, die im Einflussbereich der untersuchten Prozesse stehen. Für die Gebäude werden Einheitspreise pro Quadratmeter für unterschiedliche Nutzungsarten (Wohnbereich, Keller, unausgebautes Dach) mit den entsprechenden Flächenanteilen multipliziert. Die verwendeten Einheitspreise sind Fixpreise und vernachlässigen so jede Form der Beeinflussung durch den Immobilienmarkt (Fuchs et al., 2007), daher handelt es sich bei den errechneten Gebäudewerten um die reinen Wiederherstellungskosten. Die Einheitspreise basieren auf den von der österreichischen Versicherungswirtschaft verwendeten Preisen (Sitter, 2008, frdl. mdl. Mtt.):

- Wohnbereich und ausgebauter Dachboden: 1.670 €/m²
- Keller und Garage: 395 €/m²
- Dach (mit Dachkonstruktion): 270 €/m²

Die Grundfläche der Gebäude wurde dem Grundstückskataster entnommen und um 10 % reduziert, um die Flächenverluste durch die inneren Wände zu berücksichtigen. Zur Überprüfung der Aktualität des Katasters, und zur Beschaffung zusätzlicher Informationen, wie Anzahl der Stockwerke und deren Nutzung, Gebäudehöhe und Erhaltungszustand, wurden ergänzende Feldarbeiten durchgeführt. Die Wiederherstellungskosten wurden mittels Glg. 1 berechnet (nach Totschnig et al., 2011):

$$WK = 0,9 \cdot F \{ E_D + E_K + a_S [E_W (1 - r)] \} \quad (1)$$

WK bezeichnet den Gebäudewert (Wiederherstellungskosten), F die Grundfläche, E die Einheitspreise, a_S die Anzahl der Stockwerke, r einen Reduktionsfaktor für den Gebäudezustand und die Indizes D , K und W stehen für Dachboden, Keller und Wohnbereich.

Prozessintensitäten

Da die Vulnerabilität eines Gebäudes von der Prozessintensität abhängt, muss neben der Schadenlast auch die den Schaden hervorrufende Intensität pro Gebäude bestimmt werden. Der gewählte Intensitätsparameter ist dabei vom zu untersuchenden Prozess abhängig.

Im Falle von geschiefeführenden Wildbachprozessen (fluviatiler Feststofftransport bis Murgang) ist die Ablagerungshöhe ein häufig gewählter Intensitätsparameter (Fuchs et al., 2007; Akbas et al., 2009; Tsao et al., 2010; Totschnig et al., 2011), obwohl dieser Parameter den Einfluss von Fließgeschwindigkeit und Druckphänomenen auf die Gebäudestruktur vernachlässigt. Ein Grund hierfür ist, dass Ablagerungshöhen üblicherweise ex-post nach dem Ereignis bestimmt werden, wohingegen Fließgeschwindigkeiten und Drücke selbst während des Ereignisses für geschiefeführende Wildbachprozesse kaum bestimmbar sind. Für die Untersuchungsgebiete im Rahmen dieser Studie wurden Ablagerungshöhen durch die WLV bzw. ihre Auftragnehmer im Zuge der Ereignisdokumentation ermittelt. Durch eine räumliche Interpolation dieser Intensitätswerte

konnten nachträglich Prozessintensitäten für jene Gebäude bestimmt werden, die während der Feldarbeiten im Zuge der Ereignisdokumentationen nicht berücksichtigt wurden. In dieser Studie wird die Ablagerungshöhe als absoluter Intensitätsparameter bezeichnet. Parallel dazu wurde ein relativer Intensitätsparameter (I_R) entwickelt, der die Ablagerungshöhe (I) in ein Verhältnis mit der Gebäudehöhe (H) setzt (Glg. 2)

$$I_R = \frac{I}{H} \quad (2)$$

Dieser relative Intensitätsparameter berücksichtigt den Umstand, dass bei den meisten Ereignissen auf Grund kleiner Prozessintensitäten nur das Erdgeschoß und der Keller von einem Wildbachprozess betroffen sind. Bei Verwendung von absoluten Intensitätswerten würde die Vulnerabilität von mehrstöckigen Gebäuden durch die vorgeschlagenen Vulnerabilitätskurven überschätzt werden, da die nicht betroffenen Stockwerke den Wiederherstellungswert erhöhen und damit die Vulnerabilität verringern würden. Totschnig et al. (2011) zeigten in diesem Zusammenhang, dass durch eine Relativierung der Ablagerungshöhe verbesserte Ergebnisse in Form eines höheren Bestimmtheitsmaßes der Vulnerabilitätsfunktion erzielt werden können.

Vulnerabilitätsfunktionen

Die Bestimmung der Schadenlast und der Prozessintensität pro Gebäude ergibt eine Punktwolke von Vulnerabilitätswerten in Form einer zwei-dimensionalen Darstellung. Die x-Achse repräsentiert dabei die Intensität und die y-Achse die Schadenlast. Vulnerabilitätsfunktionen stellen eine mathematische Beziehung zwischen diesen beiden Parametern her. Im Zuge dieser Arbeit wurde hierfür eine nichtlineare Regression verwendet, um jene Funktion zu finden, die die Daten am besten widerspiegelt (größtes Bestimmtheitsmaß R^2). Dazu wurden verschiedene Verteilungen getestet (Tab. 1).

Tab. 1 Cumulative distribution functions for regression analysis of vulnerability. As Frechet distributions with different numbers of parameters are tested, a numeral suffix is used to distinguish between them (after Totschnig et al., 2011)

Tab. 1 Kumulative Verteilungsfunktionen für die Regressionsanalyse der Vulnerabilitätswerte. Da Frechet-Verteilungen mit einer unterschiedlichen Anzahl Parametern getestet wurden, wurde ein numerischer Index eingeführt, um sie zu unterscheiden (nach Totschnig et al., 2011)

Verteilung	Mathematische Formulierung	Modifizierte mathematische Formulierung	Intervall der erklärenden Variable
Weibull	$1 - e^{-ax^c}$	$1 - e^{-a\left(\frac{x+b}{b}-1\right)^c}$	$[0, +\infty]$
Exponential	$1 - e^{-ax}$	$1 - e^{-a\left(\frac{x+b}{b}-1\right)}$	$(-\infty, +\infty)$
Frechet Nr. 1	$e^{-x^{-a}}$	$e^{-\left(\frac{x+b}{b}-1\right)^{-a}}$	$(0, +\infty)$
Frechet Nr. 2	$e^{-x^{-a}}$	$e^{-c\left(\frac{x+b}{b}-1\right)^{-a}}$	$(0, +\infty)$
Logistisch	$\frac{1}{1 + ae^{-bx}}$	$\frac{1}{1 + \left(\frac{x+b}{b}-1\right)^{-a}}$	$(0, +\infty)$

Es handelt sich dabei um (kumulative) Verteilungsfunktionen, die folgende mathematischen Bedingungen erfüllen (Totschnig et al., 2011):

- sie definieren Vulnerabilität als die abhängige Variable in Form eines abgeschlossenen Intervalls von 0 bis 1 $[0,1]$;

- sie definieren Intensität als die erklärende Variable entweder in Form eines beidseitig unendlich offenen Intervalls $(-\infty, +\infty)$ oder in Form eines rechtsseitig unendlich offenen Intervalls von 0 bis unendlich $(0, +\infty)$; und
- die Funktion ist stetig und monoton wachsend innerhalb des Intervalls der erklärenden Variable.

Wie in Tab. 1 ersichtlich, wurden die grundlegenden mathematischen Formulierungen durch Einbezug eines weiteren Parameters modifiziert, um eine bessere Anpassung der Verteilung an die Punktwolke der Vulnerabilitätswerte zu erreichen. Theoretisch würde eine Verteilung mit unendlich vielen Parametern die beste Anpassung gewähren, um jedoch die Anwendbarkeit der Funktionen zu gewährleisten, wurde im Zuge dieser Arbeit die maximale Anzahl anpassbarer Parameter auf drei beschränkt. Um eine Verschiebung der Funktion zu vermeiden (sie soll bei der Intensität „0“ durch den Koordinatenursprung gehen), wurde dieser zusätzliche Parameter mittels des Ausdrucks $((x+b)b)-1$ eingefügt. Die logistische Funktion wurde dabei so modifiziert, dass sie einer log-logistischen Funktion entspricht. Die Parameter der einzelnen Funktionen wurden dann mittels sequentieller quadratischer Optimierung basierend auf einer nichtlinearen Kleinsten-Quadrate-Schätzung bestimmt.

UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Für diese Studie wurden Daten von fünf Ereignissen aus vier österreichischen Wildbacheinzugsgebieten verwendet. Darüber hinaus wurden Daten eines italienischen Einzugsgebiets aus der Literatur entnommen (Akbas et al., 2009). Die Testgebiete mussten folgende Bedingungen erfüllen, um in der vorliegenden Studie verwendet werden zu können:

- gut dokumentierte Ereignisse;
- Schäden an Wohngebäuden hervorgerufen durch feststoff-belastete Wildbachprozesse; und
- Schäden monetär bewertet.

Die österreichischen Untersuchungsgebiete befinden sich in den Bundesländern Tirol (Schnannerbach, Stubenbach und Wartschenbach) und Kärnten (Vorderbergerbach) (siehe Fig. 1).

Der Schnannerbach befindet sich im Stanzertal und mündet im Ortsteil Schnann der Gemeinde Pettneu am Arlberg in die Rosanna. Das Einzugsgebiet umfasst $6,6 \text{ km}^2$, erstreckt sich zwischen 1.240 m und 2.889 m ü.d.M. und ist Teil der Lechtaler Alpen. Geologisch liegen vor allem Kalkstein, Dolomit, Mergel, Schiefer und Sandstein vor. Der Oberlauf wird von zahlreichen Quellbächen gebildet und mächtige Schuttkegel dienen als Geschiebelieferant. Im Mittellauf fließt der Schnannerbach großteils auf dem Grundgestein ab, zum Teil in Form einer langen Schluchtstrecke (BMLFUW, 2006; Hübl et al., 2006). Fluviatiler bis murartiger Feststofftransport sind die dominierenden Prozesse am Schwemmkegel (Totschnig et al., 2011). Für die vorliegende Studie wurden Daten des Ereignisses vom 22.08.2005 verwendet.

Der Stubenbach befindet sich im oberen Inntal und mündet im Ortsteil Stuben der Gemeinde Pfunds in den Inn. Das Einzugsgebiet umfasst $29,5 \text{ km}^2$, erstreckt sich zwischen 1.011 m und 3.035 m ü.d.M. und ist Teil der Samnaungruppe. Geologisch befindet sich das Einzugsgebiet im Bereich des „Engadiner Fensters“, einem ehemaligen Meeresbecken aus dem Erdmittelalter, das angehoben und von der wesentlich älteren Silvretta- und Ötztaldecke überschoben wurde. Es liegen vor allem Gesteine der Grauen Bündner Schiefer und Wechsellagerungen mit Quarziten und Bunten Bündner Schiefern vor (BMLFUW, 2006). Fluviatiler Feststofftransport ist der dominierende Prozess am Schwemmkegel (Totschnig et al., 2011). Für die vorliegende Studie wurden Daten des Ereignisses vom 22.08.2005 verwendet.

Der Vorderbergerbach befindet sich im Gailtal und mündet im Ortsteil Vorderberg der Gemeinde Sankt Stefan in die Gail. Das Einzugsgebiet umfasst $25,3 \text{ km}^2$, erstreckt sich zwischen 588 m und 2.052 m ü.d.M. und ist Teil der nördlichen karnischen Alpen an der Grenze zu Italien. Geologisch liegen vor allem Ederkalke und ordovizische, leicht verwitterbare und erodierbare Schiefer vor. Im Oberlauf finden sich zudem glaziale Ablagerungen der Würm-Eiszeit, während der Unterlauf durch quartäre, unkonsolidierte Ablagerungen geprägt ist (Hübl et al., 2004). Fluviatiler Feststofftransport ist der dominierende Prozess am Schwemmkegel (Totschnig et al., 2011). Für die vorliegende Studie wurden Daten des Ereignisses vom 29.08.2003 verwendet.

Der Wartschenbach befindet sich im Drautal (in der Nähe des Lienzer Talbodens) und entwässert in der Marktgemeinde Nußdorf-Debant in die Drau. Das Einzugsgebiet umfasst 2,3 km², erstreckt sich zwischen 678 m und 2.217 m ü.d.M. und ist Teil der Schobergruppe. Geologisch liegen vor allem Paragneise und Glimmerschiefer vor, in die Amphibolite eingeschaltet sind. Das oberste Einzugsgebiet, das als Skigebiet genutzt wird, ist relativ flach, teilweise vernässt und deutlich glazial geprägt. So finden sich quartäre Lockersedimente in Form von sandigen Grundmoränen und Eisrandsedimenten, die bedeutende Geschiebeherde darstellen (Hübl et al., 2002). Diese große Menge an mobilisierbaren Lockergesteinen, in Kombination mit einem verhältnismäßig großen Gefälle im Mittellauf von 30-40 %, hat in der Vergangenheit bei Niederschlagsereignissen hoher Intensität zu Murgängen und murartigen Abflüssen geführt (Fuchs und Heiss, 2008). Daten der gut dokumentierten Murgangereignisse vom 06.08.1995 und 16.08.1997 wurden für die vorliegende Studie verwendet.

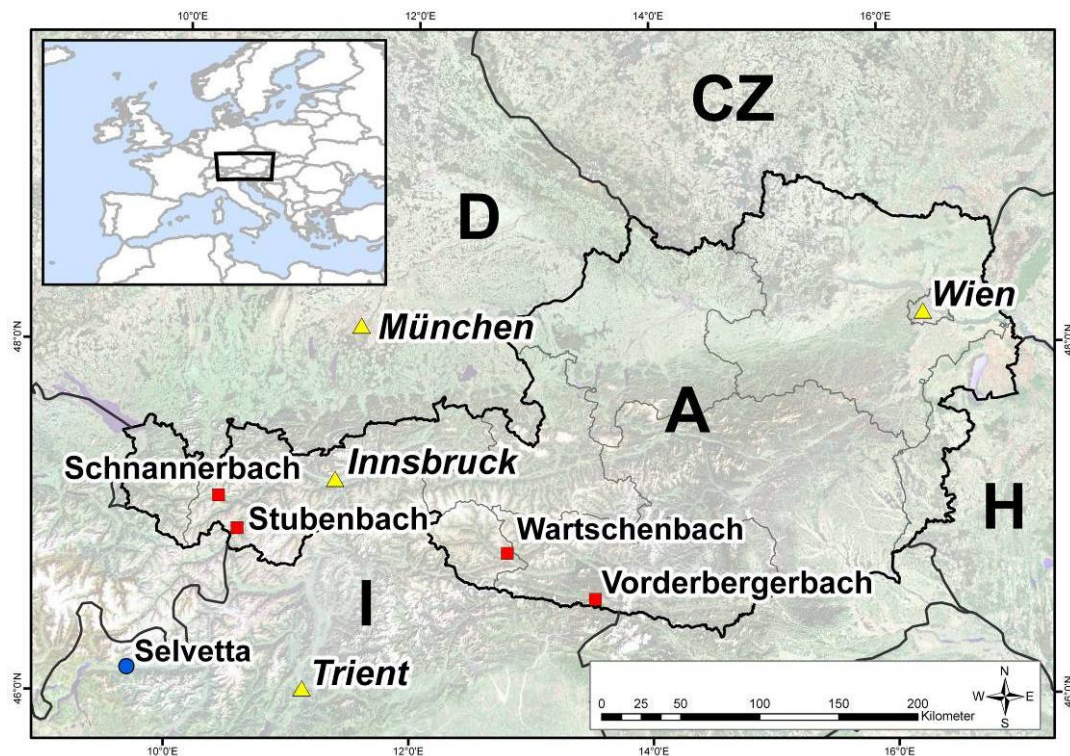


Fig. 1 Location of the test sites in the Austrian Alps, indicated by red squares, and the Italian test site, indicated by a blue dot. Layers comprising administrative bodies and shaded relief provided by Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI)

Fig. 1 Die Untersuchungsgebiete in den österreichischen Alpen (rote Quadrate) und das italienische Untersuchungsgebiet in der Lombardei (blauer Punkt). Der Hintergrundlayer sowie der Layer der administrativen Einheiten stammen von Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI)

Die Vulnerabilitätswerte des italienischen Testgebietes wurden direkt der Literatur entnommen (Akbas et al., 2009). Das italienische Untersuchungsgebiet befindet sich in Veltlin in der Provinz Sondrio, einem durch quartäre Gletscheraktivität geformten alpinen Trogtal in der Lombardei (Fig. 1). Geologisch überwiegen metamorphe Gesteine wie Gneis, Glimmerschiefer, Phyllite und Quarzite. Die niederen Talflanken sind durch glaziale, fluvioglaziale und kolluviale Ablagerungen bedeckt. Aus diesem Material entwickelte sich in einem Seitenbach am 13.07.2008 ein Murgang, der Teile der Ortschaft Selvetta in der Gemeinde Colorina verschüttete (Akbas et al., 2009).

ERGEBNISSE

Die als fluviatiler Feststofftransport charakterisierten Ereignisse (Schnannerbach, Stubenbach, Vorderbergerbach) haben zu einer Beschädigung von insgesamt 116 Gebäuden geführt. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf Wohngebäuden liegt, wurden nur 67 Gebäude für die weitere Analyse verwendet. Durch die beiden Ereignisse am Wartschenbach wurden 30 Gebäude beschädigt, wobei 26

Gebäude Eingang in diese Arbeit fanden. Die Vulnerabilitätswerte von Akbas et al. (2009) basieren auf 13 beschädigten Wohngebäuden. Die individuellen monetären Schäden pro Gebäude variieren für die österreichischen Testgebiete zwischen € 438 und € 828.240 mit einem Gesamtschaden von € 7,55 Mio. und einem mittleren Schaden pro Gebäude von € 81.140. Die Schäden für das Ereignis im italienische Ort Selvetta liegen zwischen € 2.000 und € 290.000 (Akbas et al., 2009). Der nach dem oben beschriebenen Verfahren berechnete Wiederherstellungswert der österreichischen Gebäude summierte sich auf € 47,68 Mio. mit einem Mittel von rund € 512.720 pro Gebäude und einer Streuung zwischen € 220.810 und € 1,34 Mio. Die Wiederherstellungswerte der italienischen Gebäude variieren zwischen € 66.000 und € 455.000 (Akbas et al., 2009).

Die auf den Schäden und den Wiederherstellungswerten basierenden Vulnerabilitätswerte der österreichischen Testgebiete liegen zwischen 0,001 und 1 mit einer mittleren Vulnerabilität von 0,17. Die Vulnerabilitätswerte aus Italien variieren von 0,015 bis 1 mit einer mittleren Vulnerabilität von 0,36 (Akbas et al., 2009). Tab. 2 fasst diese Ergebnisse für die individuellen Testgebiete nochmals zusammen.

Tab. 2 Type of process, date of event, number of considered buildings, range of vulnerability and mean vulnerability for each test site. The data of the Italian test site (Selvetta) are based on Akbas et al. (2009). The following abbreviations were used: MG = debris flow and FST = fluvial sediment transport

Tab. 2 Prozesstyp, Ereignisdatum, Anzahl der berücksichtigten Gebäude, Vulnerabilitätsbereich und mittlere Vulnerabilität für die individuellen Testgebiete. Die Daten des italienischen Testgebietes (Selvetta) beruhen auf Akbas et al. (2009). Folgende Abkürzungen wurden verwendet: MG = Murgang, FST = fluviatiler Feststofftransport

Testgebiet	Prozess	Ereignisdatum	Anzahl berücksichtigter Gebäude	Vulnerabilitätsbereich	Mittlere Vulnerabilität
Schnannerbach	FST	22.08.2005	10	0,005-0,13	0,05
Stubenbach	FST	22.08.2005	28	0,013-1,0	0,37
Vorderbergerbach	FST	29.08.2003	29	0,001-0,05	0,02
Wartschenbach (1995)	MG	06.08.1995	10	0,010-0,34	0,12
Wartschenbach (1997)	MG	16.08.1997	16	0,006-0,57	0,21
Selvetta	MG	13.07.2008	13	0,015-1,0	0,36

Ein erster Vergleich der Vulnerabilitätskurve für fluviatilen Feststofftransport (nach Totschnig et al., 2011) mit einer Kurve für Murgänge basierend auf neu berechneten Werten (nach Fuchs et al., 2007) zeigt einen unterschiedlichen Kurvenverlauf (Fig. 2). Dieser ist sowohl bei absoluten (Fig. 2a) als auch bei relativen Intensitäten (Fig. 2b) ersichtlich. Dieser Unterschied beruht vor allem auf dem Fehlen von hohen Schadenlastwerten im Falle von Murgängen. Für Murgänge erzielte im Falle absoluter Intensitäten die Frechet-Verteilung Nr. 2 das höchste Bestimmtheitsmaß (R^2), während im Falle relativer Intensitäten eine Weibull-Verteilung die beste Anpassung zeigte.

Aufgrund fehlender Daten für hohe Murgangintensitäten wurden im Zuge dieser Studie die Daten für Murgänge um ein weiteres Ereignis am Wartschenbach aus dem Jahr 1995, sowie um Vulnerabilitätswerte aus Italien (Akbas et al., 2009) erweitert. Da im Falle der italienischen Daten keine Informationen zur Gebäudehöhe vorlagen, konnte der folgende Vergleich nur für absolute Intensitäten durchgeführt werden. Die aufgrund dieser Daten errechnete Vulnerabilitätskurve für Murgänge deckt sich gut mit der Vulnerabilitätskurve für fluviatilen Feststofftransport (Fig. 3). Die Intensität ist hierbei auf der x-Achse und die Schadenlast auf der y-Achse dargestellt. Beide Kurven zeigen einen s-förmigen Verlauf. Dadurch ergibt sich ein flacher Anstieg der Schadenlast für niedrige ($I < 1$ m) und hohe Intensitäten ($I > 2,5$ m). Für mittlere Prozessintensitäten ($1 \text{ m} \leq I \leq 2,5 \text{ m}$) zeigt sich ein steiler Anstieg der Schadenlast. Von den getesteten Verteilungen erzielten jeweils die Weibull-Verteilungen das höchste Bestimmtheitsmaß (R^2).

Die mathematische Formel zur Berechnung der Vulnerabilität von Wohngebäuden (V) in Abhängigkeit der Prozessintensität in Form der Ablagerungshöhe (I) lautet für fluviatilen Feststofftransport (Totschnig et al., 2011) (Glg. 3)

$$V = 1 - e^{-0,443 \left(\frac{I+1,442}{1,442} - 1 \right)^{2,233}} \quad (3)$$

mit einem R^2 von 0,835, und für Murgänge (Glg. 4, Fig. 3)

$$V = 1 - e^{-1,458 \left(\frac{I+2,284}{2,284} - 1 \right)^{2,337}} \quad (4)$$

mit einem R^2 von 0,931.

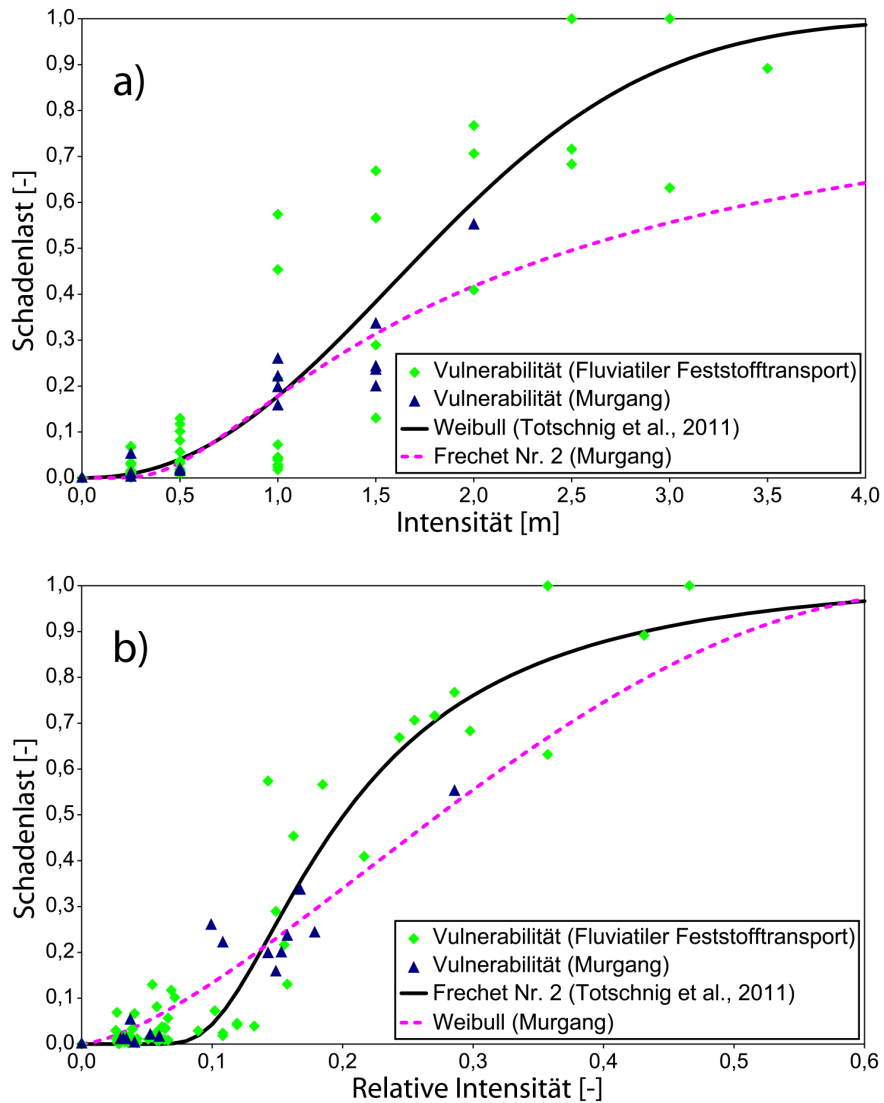


Fig. 2 Comparison of vulnerability functions for fluvial sediment transport (Totschnig et al., 2011) and for debris flows (based on the event of 16 August 1997 in the Wartschenbach torrent, compare also Fuchs et al., 2007). Absolute (a) and relative process intensities (b) are used

Fig. 2 Vergleich von Vulnerabilitätskurven für fluvialen Feststofftransport (Totschnig et al., 2011) und Murgänge (basierend auf dem Ereignis vom 16.08.1997 im Wartschenbach, vergleiche auch Fuchs et al., 2007). Der Vergleich wurde für absolute (a) sowie relative Intensitätswerte (b) durchgeführt

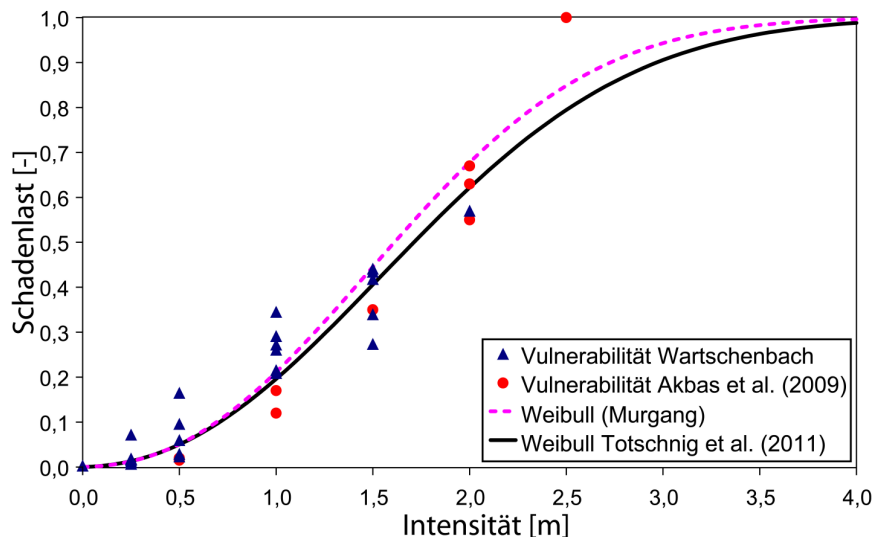


Fig. 3 Comparison of vulnerability functions for fluvial sediment transport (Totschnig et al., 2011) and for debris flows based on absolute intensity. Vulnerability values for debris flow based on the Austrian test site (Wartschenbach) are indicated by blue triangles and values based on the Italian test site (Akbas et al., 2009) are indicated by red dots

Fig. 3 Vergleich von Vulnerabilitätskurven für fluviatilen Feststofftransport (Totschnig et al., 2011) und Murgänge basierend auf absoluten Intensitätswerten. Vulnerabilitätswerte für Murgänge basierend auf dem österreichischen Testgebiet (Wartschenbach) werden als blaue Dreiecke und Werte basierend auf dem italienischen Testgebiet (Akbas et al., 2009) als rote Punkte dargestellt

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Die Bebauung ist ein wichtiges Risikoelement jeder Risikoanalyse. In der naturwissenschaftlich-technischen Begriffsbestimmung im Zusammenhang mit Naturgefahren ist Risiko definiert als eine Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses, des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit bzw. Vulnerabilität. Die Vulnerabilität von Gebäuden lässt sich durch Vulnerabilitätsfunktionen darstellen und bewerten. Im Zuge der vorliegenden Studie wurde eine Vulnerabilitätsfunktion für Murgänge auf Basis eines ökonomischen Ansatzes und mittels einer GIS-gestützten Verarbeitung der Daten weiterentwickelt und mit einer Kurve für fluviatilen Feststofftransport (Totschnig et al., 2011) verglichen. Die weiterentwickelte Murgangskurve beruht auf Daten von zwei Ereignissen in einem österreichischen Einzugsgebiet (Wartschenbach), die um Daten aus der Literatur in Form von Vulnerabilitätswerten einer italienischen Studie ergänzt wurden (Akbas et al., 2009).

Die hier gezeigten ähnlichen Kurvenverläufe der verschiedenen Wildbachprozesse lassen den Schluss zu, dass unterschiedliche Wildbachprozesse nicht zwingend unterschiedliche Vulnerabilitätsfunktionen zur Folge haben. Dies bedeutet, dass die Annahme, Murgänge würden gegenüber fluviatilen Feststofftransport höhere Schäden verursachen (Hungri et al., 2001) nicht bestätigt wird. Insbesondere aus Sicht der Praxis lässt dies die Schlussfolgerung zu, dass rein für die Bestimmung der Vulnerabilität von Wohngebäuden keine Unterscheidung zwischen den Prozessen fluviatiler Feststofftransport, murartiger Feststofftransport und Murgang notwendig ist. Einerseits wird auf diese Unterscheidung in Österreich bereits im Rahmen der *Richtlinie für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawenverbauung* verzichtet (BMLFUW, 2005), andererseits jedoch ist diese Unterscheidung und damit die Ermittlung des dominierenden Prozesses weiterhin für die Ausarbeitung des Schutzkonzeptes (Mazzorana und Fuchs, 2010; Hübl et al., 2011) und möglicherweise auch für die Bestimmung der Vulnerabilität anderer Risikoelemente (z.B. Personen, Infrastruktur) notwendig.

Es zeigte sich in dieser Studie, dass die Vulnerabilitätswerte des italienischen Testgebiets (Akbas et al., 2009) und die Vulnerabilitätswerte der österreichischen Testgebiete in der gleichen Größenordnung liegen, und sich die italienischen Daten daher eignen, um die österreichischen zu vervollständigen (Fig. 3). Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die hier vorgestellten

Vulnerabilitätsfunktionen auch auf andere europäische Länder im Alpenraum für Gebäude des gleichen Bautyps übertragbar sind, wobei eine detaillierte Quantifizierung bislang aussteht. Da die hier präsentierten Vulnerabilitätsfunktionen nur für Wohngebäude abgeleitet wurden, ist die Entwicklung von Vulnerabilitätsfunktionen für andere Gebäudetypen geplant. Für Wohngebäude sind die präsentierten Vulnerabilitätsfunktionen für feststoff-belastete Wildbachprozesse im Alpenraum operativ einsetzbar.

Das hohe Bestimmtheitsmaß das für beide Kurven erzielt wurde darf nicht darüber hinweg täuschen, dass die Kurven nur auf einer beschränkten Anzahl Datenpunkte beruhen. So umfasst der Datensatz für Murgänge auch nach Erweiterung mit Daten aus der italienischen Studie lediglich 39 Werte. Darüber hinaus zeigen die Vulnerabilitätswerte für fluviatilen Feststofftransport eine starke Streuung vor allem im Bereich zwischen 1 m und 1,5 m Ablagerungshöhe (Fig. 2a). Die Streuung in diesem Intensitätsbereich wird vor allem durch das Vorhandensein von Fensteröffnungen bestimmt. Da sich die Fensteröffnungen in der Regel in einer Höhe von rund 1 m befinden, entscheidet sich im Ereignisfall in der Regel erst in diesem Intensitätsbereich (1 m bis 1,5 m), ob das angelieferte Material in das Gebäude eindringt (Fuchs et al., 2007). Abgesehen von der Bauweise beeinflussen weitere Faktoren, wie beispielsweise das Vorhandensein von Objektschutzmaßnahmen (Holub und Fuchs, 2009) oder schützender Vegetation die physische Vulnerabilität eines Gebäudes (Papathoma-Köhle et al., 2011), die im Zuge dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt wurden. Die Unsicherheit in der Berechnung der Funktion bzw. ihrer Parameter selbst kann mittels Ausweisung von Konfidenzbändern bestimmt und visualisiert werden (Totschnig et al., 2011).

Die hier gezeigten Kurven dienen zur Bestimmung der physischen Vulnerabilität von Gebäuden. Abgesehen davon, dass neben Gebäuden weitere Risikoelemente wie Personen oder Infrastruktur gefährdet sein können, ist die physische Dimension nur eine von mehreren Dimensionen, die bei einer integralen Betrachtung von Vulnerabilität eine Rolle spielen. Im Hinblick auf die Situation im europäischen Alpenraum sind hier vor allem die ökonomische, soziale und institutionelle Vulnerabilität von Bedeutung (Fuchs, 2009). Diese sind, obwohl teilweise auf anderen Definitionen und Gedankengebäuden beruhend, miteinander gekoppelt (Fuchs et al., 2011). In Abhängigkeit von den Zielen der Bestimmung und Quantifizierung von Vulnerabilität stellen die in diesem Beitrag vorgestellten Vulnerabilitätskurven den Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen in einem interdisziplinären Kontext dar, insbesondere für die (vor allem akademische) Frage der sozialen Vulnerabilität und die (vor allem praktische) Frage des Risikotransfers (Holub et al., 2011). Ob und wie derartige Ansätze in Zukunft in der Praxis umgesetzt werden, ist aufgrund teilweise fehlender Verankerung des Risikoansatzes in der nationalen Gesetzgebung Gegenstand von Diskussionen (vgl. hierzu beispielsweise Patek, 2011).

DANKSAGUNG

Die dieser Studie zugrundeliegenden Arbeiten wurden durch den Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung gefördert (Projektnummer L535-N10). Die Autoren danken W. Sitter für anregende Diskussionen im Zuge der Gebäudebewertung.

LITERATUR

- Akbas S.O., Blahut J., Sterlacchini S. (2009). Critical assessment of existing physical vulnerability estimation approaches for debris flows. In: Malet J., Remaître A., Bogaard T. (eds). Landslide processes: from geomorphological mapping to dynamic modelling. CERG Editions, Strasbourg, 229-233.
- BMLFUW (2005). Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW (2006). Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation (Teilbericht der Wildbach- und Lawinverbauung). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

- Commission of the European Communities (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:en:pdf> (Abruf 18.02.2011).
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102: 85-98.
- Fuchs S., Heiss K., Hübl J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 495-506.
- Fuchs S., Heiss K. (2008). Vulnerabilität gegenüber Wildbachprozessen. Vorgangsweise und Diskussion anhand einer Studie in Österreich. In: Mikoš M., Hübl J., Koboltschnig G. (eds). Internationales Symposium Interpraevent – Dornbirn (26.-30. Mai). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, Vol. 2, 311-322.
- Fuchs S. (2009). Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 337-352.
- Fuchs S., Kuhlicke C., Meyer V. (2011). Vulnerability to natural hazards – the challenge of integration. *Natural Hazards* 58: 609-619.
- Holub M., Fuchs S. (2009). Mitigating mountain hazards in Austria - Legislation, risk transfer, and awareness building. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9: 523-537.
- Holub M., Gruber H., Fuchs S. (2011). Naturgefahren-Risiko aus Sicht des Versicherers. *Wildbach- und Lawinenverbau* 167: 74-86.
- Hübl J., Ganahl E., Moser M., Schnetzer I. (2002). Dokumentation Wartschenbach. WLS Report 52, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Hübl J., Leber D., Brauner M., Janu S., Volk G., Holzinger H., Gruber H. (2004). Dokumentation der Unwetterereignisse in den Gemeinden St. Stefan/Vorderberg und Feistritz an der Gail vom 29. August 2003. WLS Report 99, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Hübl J., Ganahl E., Bacher M., Chiari M., Holub M., Kaitna R., Prokop A., Dunwoody G., Forster A., Schneiderbauer S. (2006). Dokumentation der Wildbachereignisse vom 22./23. August 2005 in Tirol – Detaillierte Aufnahme. IAN Report 109, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Hübl J., Fuchs S., Sitter F., Totschnig R. (2011). Towards a frequency-magnitude relationship for torrent events in Austria. In: Genevois R., Hamilton D.L., Prestininzi A. (eds). 5th International conference on debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction and assessment – Padua (14-17 June). Casa Editrice Università La Sapienza, Rome, 895-902.
- Hung O., Evans S.G., Bovis M.J., Hutchinson J.N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience* 7: 221-238.
- Keiler M., Zischg A., Fuchs S. (2006). Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken. In: Strobl J., Roth C. (eds). GIS und Sicherheitsmanagement. Wichmann, Heidelberg, 118-128.
- Keiler M., Fuchs S. (2010). Berechnetes Risiko. Mit Sicherheit am Rande der Gefahrenzone. In: Egner H., Pott A. (eds). Geographische Risikoforschung. Zur Konstruktion verräumlichter Risiken und Sicherheiten. Franz Steiner, Stuttgart, 51-68.
- Kranewitter H. (2002). Liegenschaftsbewertung. Gescow, Wien.
- Mazzorana B., Fuchs S. (2010). A conceptual planning tool for hazard and risk management. In: Chen S.-C. (ed). International Symposium Interpraevent in the Pacific Rim – Taipei (26-30 April). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, 828-838.
- Oberndorfer S., Fuchs S., Rickenmann D., Andrecs P. (2007). Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich. BFW-Bericht 139, Bundesausbildungs- und Forschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.
- ONR (2009). Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. ONR 24800, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- Papathoma-Köhle M., Kappes M., Keiler M., Glade T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards* 58: 645-680.

- Patek M. (2011). „Risiko“ in der Strategie 2015 der Wildbach- und Lawinenverbauung: Fragen an die Abteilungsleiterin. Wildbach- und Lawinenverbau 167: 68-72.
- PLANAT (2005). Strategie Naturgefahren Schweiz. Synthesebericht in Erfüllung des Auftrages des Bundesrates vom 20. August 2003. Nationale Plattform Naturgefahren, Biel.
- Statistik Austria (2004). Gebäude- und Wohnungszählung 2001 - Hauptergebnisse Österreich. Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien.
- Statistik Austria (2011). Bevölkerung im Jahresdurchschnitt. Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/index.html (Abruf 12.09.2011).
- Totschnig R., Sedlacek W., Fuchs S. (2011). A quantitative vulnerability function for fluvial sediment transport. Natural Hazards 58: 681-703.
- Tsao T.-C., Hsu W.-K., Cheng C.-T., Lo W.-C., Chen C.-Y., Chang Y.-L., Ju J.-P. (2010). A preliminary study of debris flow risk estimation and management in Taiwan. In: Chen S.-C. (ed). International Symposium Interpraevent in the Pacific Rim – Taipei (26-30 April). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, 930-939.

MANAGEMENT VON GRAVITATIVEN NATURGEFAHREN AUF NATIONALSTRASSEN IN DER SCHWEIZ

METHODIK RISIKOKONZEPT UND DESSEN ANWENDUNG

Hans-Heini Utelli¹, Philippe Arnold², Lukas Hunzinger³, Ueli Gruner⁴, Andy Kipfer⁵,
Bernhard Perren⁶ und Jachen Cajos⁷

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strassen der Schweiz (ASTRA) hat verschiedene Projekte gestartet, um die Risiken ausgehend von gravitativen Naturgefahren (Sturz, Rutschungen, Lawinen, Überschwemmung und Murgänge, Absenkung) netzweit zu analysieren, zu bewerten und zu bewältigen. Mit einem dieser Projekte wurde das methodische Fundament für die transparente und einheitliche Beurteilung und Bewältigung dieser Risiken gelegt. Mit einem der Folgeprojekte wird das gesamte Nationalstrassennetz gemäss dieser Methodik beurteilt.

Im vorliegenden Artikel werden einerseits die generelle Methodik und andererseits Ergebnisse aus einem der untersuchten Streckenabschnitte entlang der europäischen Transitroute durch den Gotthard vorgestellt.

Keywords: Risikomanagement, gravitative Naturgefahren, Autobahn, Verfügbarkeitsrisiken, Kosteneffizienz, Kosteneffektivität, Unteres Reusstal

ABSTRACT

The Swiss Federal Roads Office (FEDRO) has started a program to analyse, assess and manage the risks resulting from gravity-induced natural hazards (rockfall, landslides, avalanche as well as floods and debris flows) on the network of national roads in Switzerland (mostly motorways). In a first step, the methodological background was developed in order to guarantee a transparent and standardized hazard and risk assessment as well as a cost-efficient and cost-effective management of the risks.

Based on this methodology currently a risk assessment for the entire network of national roads is carried out. In this paper, results of the first road sections that have been evaluated (in the Reuss valley, along the Gotthard transit route) are presented.

Keywords: Risk management, gravitative natural hazard, highway, risk analysis, availability risks, risk evaluation, Reuss valley

¹ H.-H. Utelli. IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Seestrasse 2, 3600 Thun, Switzerland (e-mail: hans-heini.utelli@impulsthun.ch)

² Ph. Arnold. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Mühlestrasse 2, 3063 Ittigen, Switzerland (e-mail: philippe.arnold@astra.admin.ch)

³ L. Hunzinger. Flussbau AG SAH, Switzerland

⁴ U. Gruner. Kellerhals+Haefeli AG, Switzerland

⁵ A. Kipfer. geo7 AG Geowissenschaftliches Büro, Switzerland

⁶ B. Perren. IMPULS AG Wald Landschaft Naturgefahren, Switzerland

⁷ J. Cajos. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Switzerland

AUSGANGSLAGE

Gravitative Naturgefahren wie Lawinen, Stein- und Blockschlag, Murgänge und Überflutungen aber auch Rutschungen bedrohen immer wieder Strecken des Nationalstrassennetzes in der Schweiz. Eindrückliche Zeugen dieser Tatsache sind der Lawinenwinter 1999, die Unwetter 2005 oder die Felssturz-Ereignisse auf der N2 am Gotthard im Jahre 2006.

In diesem Zusammenhang sind beim Bundesamt für Strassen (ASTRA) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Nationalen Plattform Naturgefahren (PLANAT), den Kantonen wie auch den Hochschulen seit dem Jahre 2007 im Rahmen des Projektes "Naturgefahren auf Nationalstrassen" verschiedene Teilprojekte für den risikobasierten Umgang mit Naturgefahren auf dem gesamten Nationalstrassennetz gestartet worden oder befinden sich in Planung. Mit diesem Projekt werden unter anderem folgende Ziele verfolgt:

- Das Streckennetz der Nationalstrassen kann hinsichtlich der Gefährdung durch gravitative Naturgefahren nach einer einheitlichen Methodik hinsichtlich Prozess, Intensität und Wahrscheinlichkeit beurteilt werden.
- Daraus können die entstehenden Folgen (Schäden) für Strassenbenutzer und –betreiber und die daraus abgeleiteten Risiken in quantitativer Art bestimmt und verglichen werden.
- Die Resultate können in das unternehmensweite Risikomanagement eingebunden und dort mit anderen Risiken verglichen werden.
- Aus dem Vergleich der bestehenden Risiken mit den Überprüfungs- und Priorisierungskriterien kann der Handlungsbedarf abgeleitet werden.
- Es können Prioritäten für die Massnahmenplanung gesetzt werden.
- Die aus Kosten-Wirksamkeitsüberlegungen optimale Massnahme oder Massnahmenkombination kann evaluiert werden.
- Die Mittel zum Schutz vor Naturgefahren werden zielgerichtet und nach einheitlichen Kriterien verwendet.

Im Teilprojekt 3 - Methodikentwicklung - wird die methodische Basis für die Erreichung dieser Ziele gelegt (ASTRA, 2010). Diese Methodik wird im ersten Teil dieses Artikels vorgestellt. Sie basiert auf den gängigen Richtlinien und Empfehlungen des Bundes für die Gefahrenbeurteilung (BFF, EISLF, 1984, BRP, BWW, BUWAL, 1997), den neu entwickelten Methoden zur Risikoanalyse und –bewertung der PLANAT (Bründl, 2009) sowie neuen Erkenntnissen aus der Forschung, z. B. zur Kostenberechnung von Verkehrsunterbrüchen im schweizerischen Strassennetz (Erath et al., 2009) oder zur Effektivitäts- und Effizienzbeurteilung von Schutzmassnahmen (Linn et al., 2009). Um den Netzbezug sicherzustellen, wurden diese Grundlagen auf die Besonderheiten und Bedürfnisse der Nationalstrassen angepasst.

Im Teilprojekt 4 - Netzbezogene Gefahren- und Risikoanalyse - wird das in dieser Methodik beschriebene Vorgehen zur Risikoanalyse über das ganze Nationalstrassennetz angewendet. Dazu wurde die Methodik in den Jahren 2008 bis 2009 auf zwei Streckenabschnitten im Urner Reusstal entlang der Gotthard Transitroute getestet (sogenanntes Pilotprojekt). Die Ergebnisse aus dem Pilotprojekt werden im zweiten Teil dieses Artikels erläutert.

RISIKOKONZEPT

Das der Methodik zu Grunde liegende Risikokonzept ist in der Figur 1 dargestellt und besteht aus den Teilen:

- Risikoanalyse – Was kann passieren? Diese setzt sich aus der Gefahren-, Expositions- und Konsequenzenanalyse zusammen.
- Risikobewertung – Was darf passieren?
- Massnahmenplanung – Was ist zu tun?

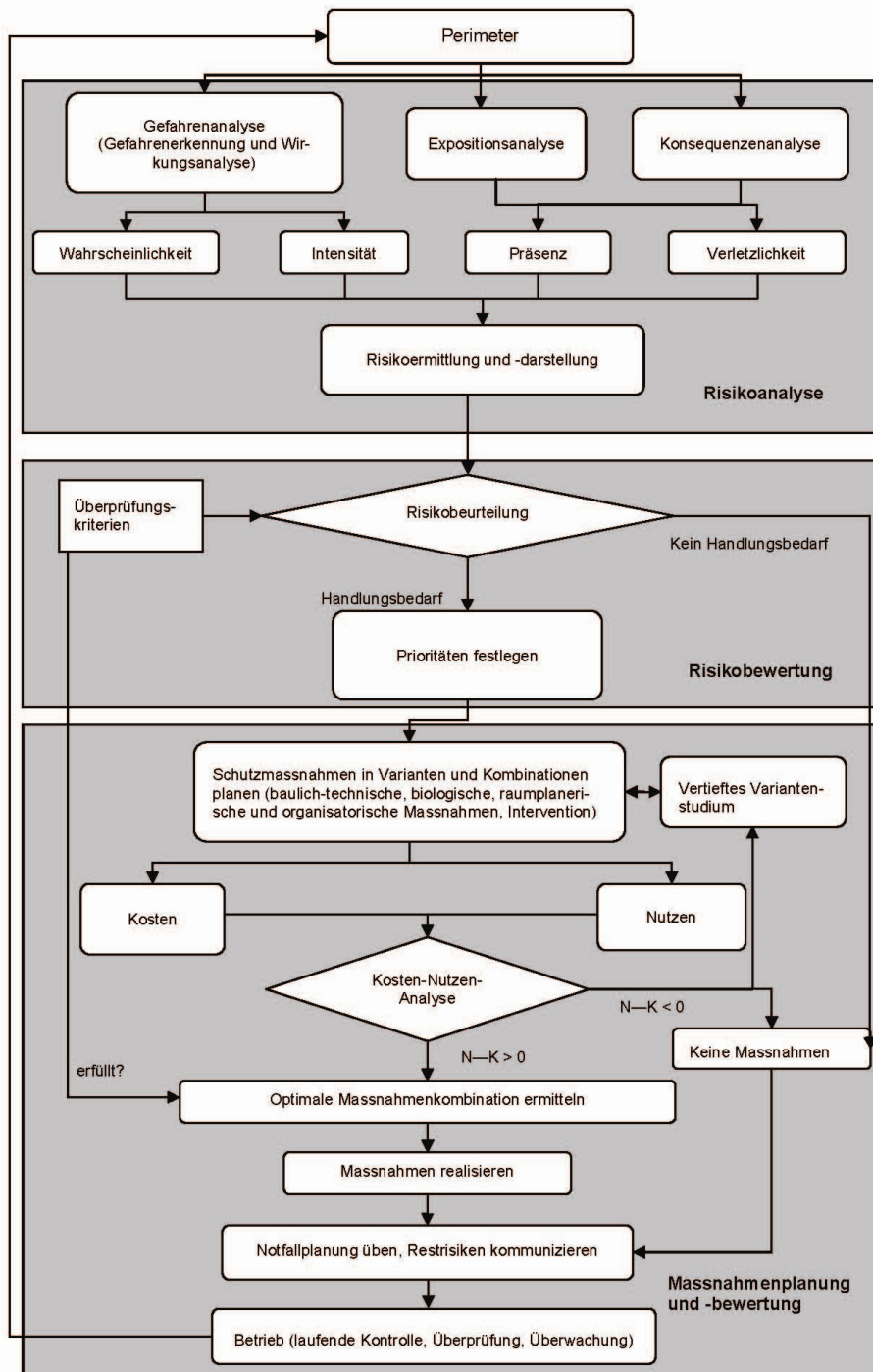


Fig. 1 Schema des Risikomanagement bei Naturgefahren entlang von Nationalstrassen innerhalb des Bundesamt für Strassen (ASTRA) (abgeändert aus ASTRA, 2009)

Fig. 1 Risk management scheme for natural hazards on national roads in Switzerland (adapted in accordance to ASTRA, 2009)

Im Vergleich zum Risikokzept für Naturgefahren der PLANAT (Bründl, 2009) gibt es folgende Unterschiede in diesem Schema:

- Eine Aversion bei grossen kollektiven Risiken wird nicht berücksichtigt.
- In der Risiko beurteilung des ASTRA gibt es keine Schutzziele. Bewertungskriterium ist einzig die Kosteneffizienz von Massnahmen, zusätzlich gibt es Überprüfungskriterien, die eine Priorisierung im Handlungsbedarf bei Stellen mit hohen individuellen Todesfallrisiken sowie bei hohen kollektiven Gesamtrisiken erlaubt.

- Auf die weiteren Besonderheiten für Nationalstrassen wird im folgenden Artikel eingegangen.

GEFAHRENANALYSE

In der Gefahrenanalyse werden für jede Prozessquelle die Naturgefahren gemäss Tabelle 1 hinsichtlich Wahrscheinlichkeit und Ausmass beurteilt. Unter einer Prozessquelle wird ein Gebiet verstanden, das über eine einheitliche Disposition zur Gefahrenentstehung verfügt (z. B. Lawinenzug mit Anrissgebiet, Gerinne mit Einzugsgebiet, abgrenzbare Felswand als Quelle von Steinschlag). Prozessquellen müssen aufgrund von klar dokumentierten Kriterien und Ereignissen voneinander abgegrenzt sein.

Tab. 1 Gliederung der Gefahrenprozesse

Tab. 1 Natural hazard processes addressed using the present methodology

Hauptprozess	Gefahrenprozess
Sturz	Steinschlag / Blockschlag
	Felssturz
	Eisschlag
Hochwasser / Murgang	Übersarung / Überflutung
	Übermürung
	Ufererosion / Unterkolkung
Rutschungen	Permanente Rutschungen und Sackungen
	spontane Rutschungen
	Hangmuren
Einsturz / Absenkung	Einsturz / Absenkung

Tab. 2 In der Gefahrenanalyse berücksichtigte Wiederkehrperioden (=Szenarien der Gefahrenentstehung)

Tab. 2 Recurrence intervals scenarios of hazard formation) to be considered in the hazard analysis

Häufigkeit	Wiederkehrperiode / Jährlichkeit	Bemerkungen
sehr häufig	> 0 bis ≤ 10 Jahre	Konkreter Wert ist gestützt auf den Ereigniskataster festzulegen
häufig	> 10 bis ≤ 30 Jahre	
selten	> 30 bis ≤ 100 Jahre	
sehr selten	> 100 bis ≤ 300 Jahre	
extrem selten	> 300 Jahre	Diese Wiederkehrperiode wird nur bei Talflüssen sowie bei Prozessquellen, wo es klare Hinweise für ein solches Szenario gibt, als Prozessumhüllende abgebildet. Für dieses Szenario findet keine Risikobestimmung statt.

Die Methodik stellt sicher, dass die Wahl der für die Gefährdung massgebenden Szenarien gemäss Tabelle 2 pro Prozessquelle nach einheitlichen und nachvollziehbaren Kriterien erfolgt. Basis dafür bilden die Auswertung der historischen Ereignisse, die Auswertung von statistischen Daten, die Aufnahme von "stummen Zeugen" im Gelände, die Beurteilung der Disposition im Gelände und die Beurteilung der bestehenden Schutzmassnahmen und des Schutzwaldes. Die Wirkung der bestehenden Schutzbauten wird gemäss der Publikation "Wirkung von Schutzmassnahmen" (Romang, 2008) beurteilt. Dabei wird nur der Schritt 1 - Grobbeurteilung durchgeführt, wo evaluiert wird, ob eine relevante Schutzwirkung zu erwarten ist oder nicht oder ob gar von einer negativen Wirkung auszugehen ist.

Ausgehend von den so für jede Prozessquelle festgelegten Szenarien der Gefahrenentstehung werden die Wirkungsräume entlang der Nationalstrassen ausgeschieden und in Form von Intensitätskarten pro Szenario und pro Prozessquelle dargestellt. Dabei werden die speziellen räumlichen Verhältnisse entlang von Strassen berücksichtigt, indem nicht nur die Verhältnisse auf der Fahrbahn sondern auch unter der Fahrbahn (z. B. Kolk bei Brückenpfeilern oder Treffer von Brückenpfeilern durch Sturzprozesse) und über der Fahrbahn (z. B. Lawinen- und Sturzeinwirkungen auf Galerien) beurteilt werden. Im Hinblick auf die zu erwartenden Schäden ist die Gefahrenbeurteilung räumlich so

detailliert, dass Aussagen darüber gemacht werden können, ob ein Gefahrenprozess den Standstreifen, eine Fahrrichtung oder beide Fahrrichtungen tangiert.

Neben den für die Gefahrenbeurteilung in der Schweiz üblichen Intensitätsabstufungen (BFF, EISLF, 1984; BRP, BWW, BUWAL, 1997) werden für die Beurteilung der entstehenden Schäden bei jeder Intensitätsfläche zusätzlich folgende Parameter erhoben:

- Prozessspezifische Werte wie räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Sturzenergie, Ablagerungshöhe auf der Fahrbahn, Fließ- und Rutschungsgeschwindigkeit, Lawinendruck, Kolkstiefen u. a.
- Gleichzeitigkeit möglicher Ereignisse desselben Ereignistyps in der näheren Umgebung.
- Wahrscheinlichkeit und Dauer einer vorsorglichen Sperrung infolge eines unmittelbar bevorstehenden Ereignisses.
- Angabe darüber, ob Schäden an Kunstbauten wie Brückenpfeilern oder Galeriedächern zu erwarten sind.

EXPOSITIONS- UND KONSEQUENZENANALYSE

Die durch Naturgefahren verursachten Schäden und Risiken werden in folgende Risikokategorien unterteilt:

- *Personenrisiken*, die durch Direkttreffer oder Auffahren auf ein Hindernis auf der Fahrbahn verursacht werden.
- *Personenrisiken*, die durch Direkttreffer auf Nebenanlagen wie Rastplätze, Werkhöfe u. a. verursacht werden.
- *Sachrisiken*, die durch die Räumungs- und Wiederherstellungsarbeiten auf der Fahrbahn oder auf Nebenanlagen nach einem Naturgefahrenereignis entstehen.
- *Verfügbarkeitsrisiken*, die entstehen, wenn ein Streckenabschnitt infolge eines Naturgefahrenereignisses vorsorglich oder nachträglich gesperrt werden muss. Für die betroffenen Fahrzeuge entstehen dabei längere Umfahrungswege.

Für die Risikobestimmung auf der Fahrbahn sind die Schadensbilder gemäss Fig. 2 massgebend.

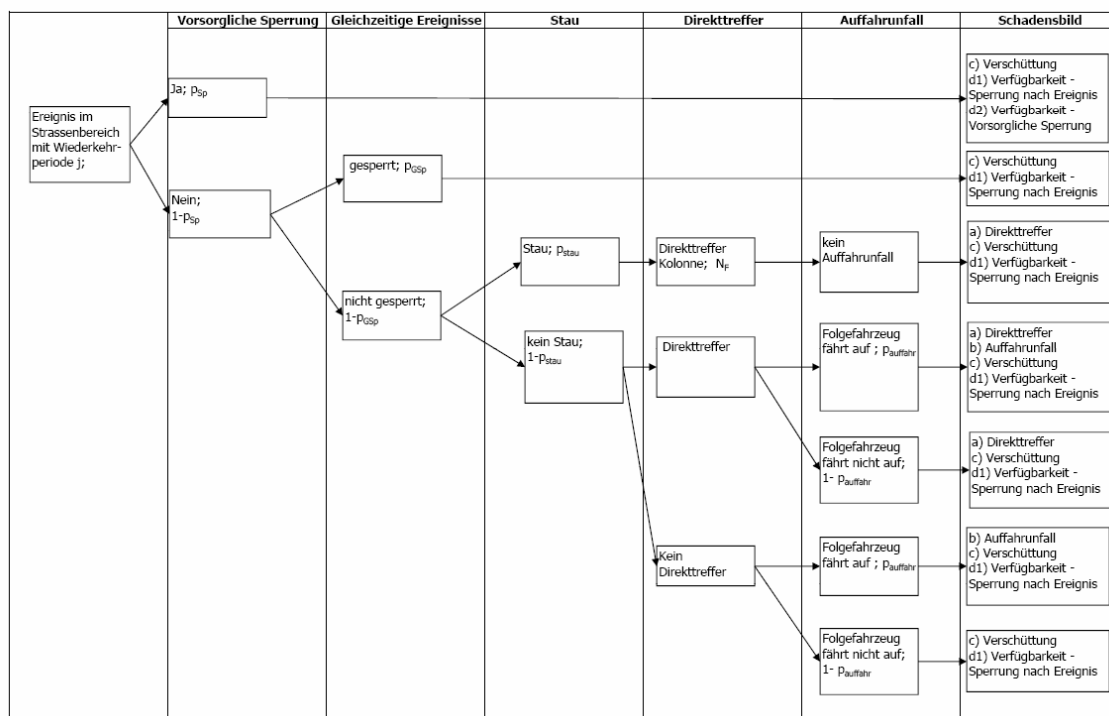


Fig. 2 Massgebende Szenarien der Schadentstehung im Bereich der Fahrbahn (ASTRA, 2009)

Fig. 2 Relevant scenarios of damage occurrence in the road (ASTRA, 2009)

Die Relevanz der einzelnen Schadenszenarien ergibt sich aus den gewonnenen Daten der Gefahrenanalyse (z. B. Sperrungswahrscheinlichkeit; Ablagerungshöhe und damit Wahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalls) und den zur Verfügung gestellten Daten der Expositionsanalyse (z. B. Stauwahrscheinlichkeit; Verkehrsdichte und Fahrgeschwindigkeit, welche die Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers bestimmen).

Die folgenden, nach Fahrbahn getrennten Inputdaten für die Expositionsanalyse können aus den bestehenden Grundlagendaten des ASTRA übernommen werden:

- Durchschnittlicher täglicher Verkehr (saisonal differenziert)
- Fahrgeschwindigkeit
- Stauwahrscheinlichkeit
- mögliche Umfahrungswege und zusätzliche Fahrzeit

Die Eingabegrößen zur Expositionsanalyse der Nebenanlagen (Anzahl betroffene Personen, Verweildauer usw.) werden objektspezifisch erhoben.

Für die Konsequenzenanalyse macht die Methodik Vorgaben, mit welchen Schadenempfindlichkeits- und Letalitätswerten in Abhängigkeit des Gefahrenprozesses und der Ereignisintensität gerechnet werden muss. Diese Werte sind abgeleitet aus bestehenden Instrumenten zur Risikoanalyse (Bründl, 2009; BAFU, 2010), ergänzt um die spezifischen Werte und Erfahrungen der Nationalstrassen.

Die Konsequenzen hinsichtlich Verfügbarkeit (Strassensperrung nach Ereignis) werden objektspezifisch festgelegt. Für die Dauer der Sperrung nach einem Ereignis gibt es in der Methodik Richtwerte in Abhängigkeit der Ereignisintensität. Die möglichen Umfahrungswege und die zusätzliche Fahrzeit werden durch das Verkehrsmodell (Erath et al, 2009) berechnet.

Alle Risiken werden separat quantitativ berechnet und zum Vergleich in einen Geldwert umgesetzt. Dazu werden die Personenrisiken mit den Grenzkosten gemäss dem Risikokonzept der PLANAT (Bründl, 2009) mit SFr. 5 Mio. pro statistischen Todesfall multipliziert. Die zusätzlichen Umfahrungswege werden mit dem Staukostenansatz von SFr. 21.- pro Fahrzeug und Stunde (ARE, 2007) in Wert gesetzt.

RISIKOBEWERTUNG UND MASSNAHMENPLANUNG

Mit der Risikobewertung wird überprüft, ob die ermittelten Risiken für den Anlagenbetreiber und die Gesellschaft tragbar sind oder nicht. Als Bewertungskriterium gilt die Kosteneffizienz von zusätzlichen Schutzmassnahmen. Sind kosteneffiziente Massnahmen möglich (Nutzen/Kosten >1), so ist das Risiko untragbar und Massnahmen müssen realisiert werden. Sind keine kosteneffizienten Massnahmen möglich, so müssen diese Risiken kommuniziert werden und mögliche Massnahmen werden zurückgestellt. Mit der Methodik werden Vorgehen und Kriterien festgelegt, die es erlauben, risikomindernde Massnahmen und Massnahmenkombinationen auf ihre Kosten und Nutzen hin zu überprüfen. Das Kriterium der Kosteneffektivität erlaubt es dann, aus verschiedenen möglichen Massnahmen und Massnahmenkombinationen die optimale Entscheidung zu treffen. Dabei ist diejenige Massnahmenkombination optimal, welche den Nettonutzen (= Nutzen minus Kosten) maximiert.

Da auf dem Nationalstrassennetz sehr viele Risikostellen erwartet werden, werden in der Methodik Kriterien zur Prioritätensetzung in der Massnahmenplanung (= Überprüfungskriterien) festgelegt:

- Für individuelle Todesfallrisiken (z. B. ein Pendler, der einen bestimmten Streckenabschnitt zweimal täglich befährt), wird ein Grenzwert von 10^{-5} festgelegt. Dieser Wert soll es erlauben, Streckenabschnitte mit erhöhten individuellen Todesfallrisiken zu erkennen.
- Um Streckenabschnitte mit hohen kollektiven Risiken zu erkennen und in der Massnahmenplanung zu priorisieren, gelten folgende Überprüfungskriterien:
 - Risiko auf Streckenabschnitt > SFr. 100 pro m und Jahr
 - Risiko pro Prozessquelle > SFr. 10'000 pro Jahr

Das Ablaufschema zur Überprüfung der bestehenden Risiken, zur Priorisierung von Risikostellen und zur Bewertung von möglichen Massnahmen ist in der Figur 3 dargestellt.

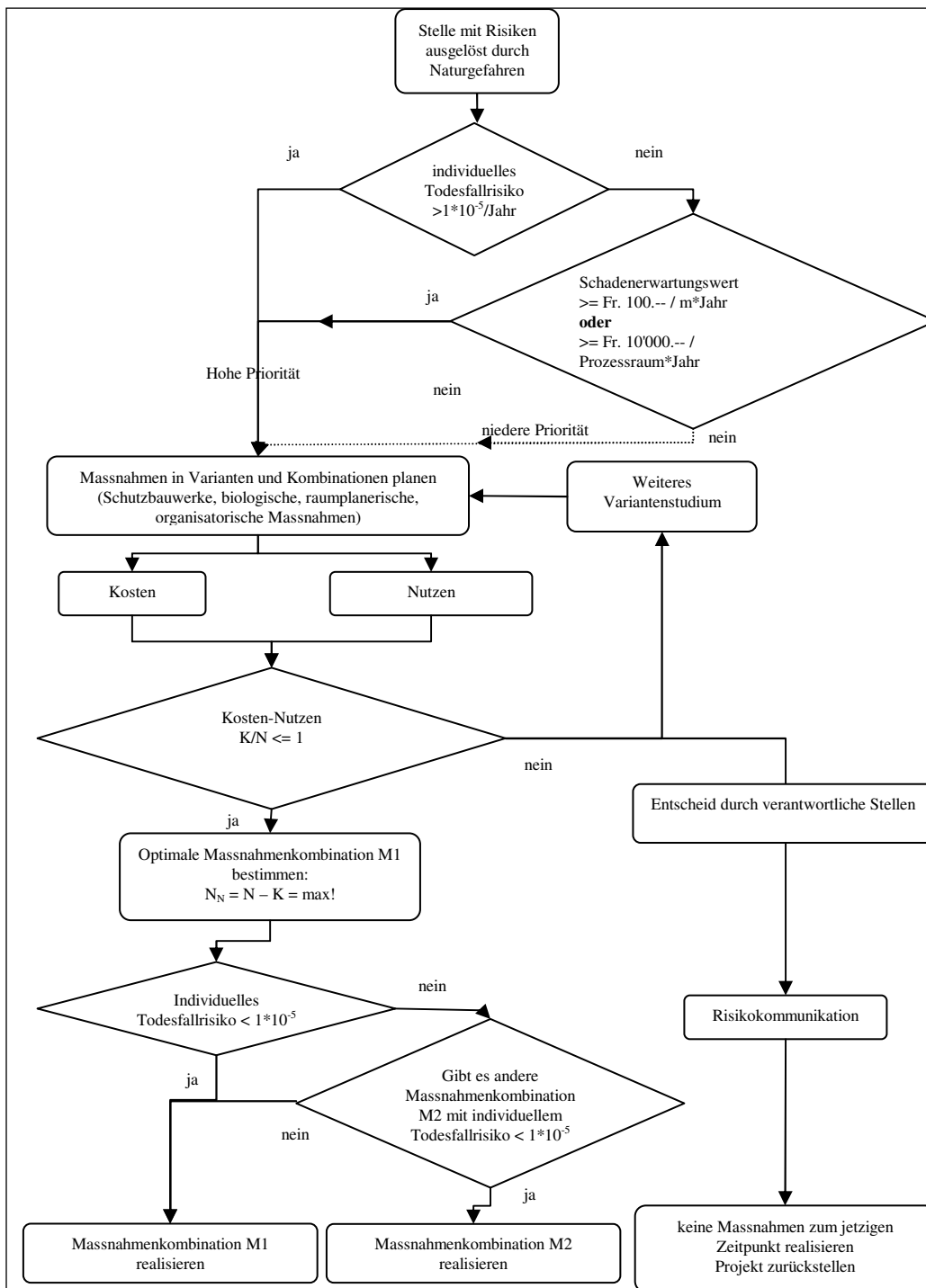


Fig. 3 Ablaufschema zur Überprüfung der bestehenden Risiken, Priorisierung von Risikostellen und Bewertung von möglichen risikomindernden Massnahmen innerhalb des ASTRA (angepasst aus ASTRA, 2009)

Fig. 3 Process of risk evaluation (individual risk of fatality), prioritisation of measure planning (collective risk criteria) and evaluation of measures (cost-benefit-criteria) in the FEDRO (adapted in accordance to ASTRA, 2009)

PILOTPROJEKT UNTERES REUSSTAL

Allgemeines: Die oben beschriebene Methodik wurde vor deren Anwendung auf dem gesamten, rund 2'000 km langen Nationalstrassennetz auf zwei Streckenabschnitten im Urner Reusstal (sogenanntes Pilotprojekt) geprüft. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem rund 12 km langen Streckenabschnitt des Unteren Reusstals vorgestellt (ARGE geo7-flussbau-Kellerhals+Haefeli-IMPULS, 2009). Die Abbildungen und Tabellen stammen auch aus diesem Bericht.

Gefahrenanalyse: In der Gefahrenanalyse wurden insgesamt 60 Gefahrenquellen beurteilt. Für 21 Prozessquellen wurde eine relevante Gefährdung der Nationalstrassen nachgewiesen (siehe Tabelle 3). Dazu wurden - wie in der Methodik vorgesehen - alle bisherigen relevanten Ereignisse erfasst, umfangreiche Gelände- und Modellierungsarbeiten durchgeführt und alle bestehenden Schutzbauten erfasst und hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt. Die Gefährdung wurde in Form von Intensitätskarten in den vier Wiederkehrperioden (siehe Tabelle 2) dargestellt.

Tab. 3 Beurteilte und als relevant ausgeschiedene Prozessquellen im Pilotprojekt Unteres Reusstal. Weiter angegeben ist die pro Gefahrenprozess und Wiederkehrperiode maximal zu erwartende Ereignisintensität auf der Fahrbahn.

Tab. 3 Number of hazard sources on a 12 km long street section in the Reuss valley, which had been evaluated and analyzed in detail with maximum intensity per scenario for every hazard process.

Gefahrenprozess	Anzahl relevante und beurteilte Gefahrenquellen	Anzahl Gefahrenquellen welche die Fahrbahn gefährden	maximale Intensität auf der Fahrbahn bei Wiederkehrperiode (3 = starke Intensität, 2 = mittlere Intensität, 1 = schwache Intensität, Intensitätsabstufung gemäss BFF, EISLF, 1984, und BRP, BWW, BUWAL, 1997)			
			> 0 bis ≤ 10 Jahre	> 10 bis ≤ 30 Jahre	> 30 bis ≤ 100 Jahre	> 100 bis ≤ 300 Jahre
Steinschlag, Blockschlag	12	5	3 ¹⁾	3	3	3
Permanente Rutschung ²⁾	2	1	2			
Hangmuren	9	1			2	2
spontane Rutschung	0	0	0	0	0	0
Hochwasser in Wildbach	24	3			1	2
Hochwasser in Talfluss	9	9			3	3
Lawine	4	2			1	2

1) Die starke Intensität trifft nur den Standstreifen

2) Die Gefährdung durch permanente Prozesse wird nicht in verschiedenen Wiederkehrperioden angegeben.

Für die Prozesse Felssturz, spontane Rutschung und sowie Einsturz / Absenkung wurde keine relevante Gefährdung erkannt und deswegen keine Prozessquellen ausgeschieden.

Expositions- und Konsequenzenanalyse: Die Angaben zum Schadenpotenzial wurden vom ASTRA zur Verfügung gestellt. Der durchschnittliche tägliche Verkehr in der für die Lawinengefährdung relevanten Zeit wurde gutachterlich reduziert, da erfahrungsgemäss aufgrund der dann anzunehmenden Sperrung beim Nordportal des Gotthardtunnels der Transitverkehr stark reduziert ist. Zur Berechnung der möglichen Umfahrungswege im Falle einer Streckensperrung stand noch kein Verkehrsmodell zur Verfügung. Zusammen mit den verantwortlichen Stellen für den Betrieb und Unterhalt der Strecke wurden deswegen für jede Gefahrenstelle und Szenario objektspezifisch die möglichen Umfahrungswege, deren wahrscheinliche Verfügbarkeit sowie die zusätzlich benötigte Fahrzeit (bezogen auf die Basisstrecke Luzern - Altdorf) berechnet. Bestanden keine Umfahrunsmöglichkeiten, wurde eine zusätzliche Fahrzeit von 8.3 Stunden angenommen.

Risikoermittlung und Darstellung:

Das über alle Prozessquellen und Szenarien ermittelte Risiko auf dem untersuchten Streckenabschnitt beträgt rund SFr. 170'000 / Jahr. Dieser Wert teilt sich auf die in Figur 4 dargestellten Schadenbilder auf.

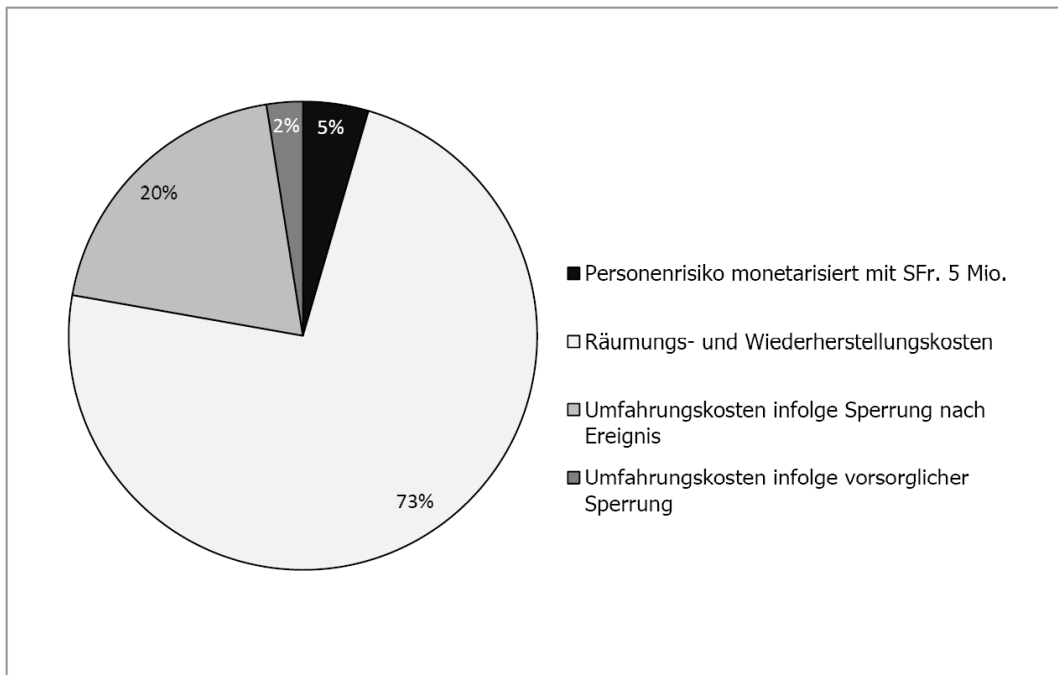


Fig. 4 Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unterer Reusstal, aufgeteilt nach den verschiedenen Schadensbildern. Die Prozentangaben stellen den Anteil des Schadenbildes am gesamten Risiko dar.

Fig. 4 Collective risks caused by natural hazards along a 12 km long road section in the Reuss valley, divided into different type of risks. The number in the figure shows the percentage of every type of risk to the total collective risk. This type of distribution is typical for flood dominated hazards.

Die in Figur 4 ersichtliche Verteilung der Schadensbilder ist typisch für ein Gebiet, das grossflächig durch Überschwemmung und Übersarung gefährdet ist. Murgang, Sturz und Lawinen verursachen anteilmässig höhere Personenrisiken. Ist ein Streckenabschnitt hauptsächlich durch Lawinen gefährdet, dominieren die Verfügbarkeitsrisiken, da in der Schweiz für diese Prozesse vielfach ein gut funktionierender Lawinenwarndienst besteht und die Strassen entsprechend vorsorglich gesperrt werden.

Die Risiken der einzelnen Prozessquellen sind in Tabelle 4 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Personenrisiken auf diesem Streckenabschnitt im Vergleich zu den anderen Schadenbildern nur rund 5% ausmachen. Innerhalb der Personenrisiken entfällt der grösste Anteil auf den Direkttreffer mit Normalsituation, während der Auffahrnfall nach einem Naturereignis und auch der Direkttreffer mit Stausituation nur untergeordnete Bedeutung haben.

Tab. 4 Risiko pro Prozessquelle im Pilotprojekt Unteres Reusstal, aufgeteilt auf die verschiedenen Schadensbilder

Tab. 4 Collective Risk for every hazard source along a 12 km long road section in the Reuss valley, divided into the different types of risk. Fatalities are multiplied by CHF 5 Mio to be compared with other type of risk

	Risiko Direkttreffer Normalsituation	Risiko Direkttreffer Stausituation	Risiko Direkttreffer Normal- und Stausituation	Risiko Auffahrnfall	Personenrisiko Total		Räumungs- und Wiederherstellungskosten	Umfahrungskosten infolge Sperrung nach Ereignis	Umfahrungskosten infolge vorsorglicher Sperrung	Sachrisiken Total	Gesamtes Risiko
	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Tf./ Jahr)	(Fr./ Jahr) monetarisiert mit Fr. 5 Mio.	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)	(Fr./ Jahr)
Fischlaur	4.6E-05	0.0E+00	4.6E-05	2.5E-06	4.8E-05	200	30	400	0	430	630
Schopfthaltau	2.2E-04	0.0E+00	2.2E-04	1.4E-05	2.3E-04	1'100	1'000	40	0	1'040	2'140
Steinbruch - Kraftwerk Bolzbach	5.9E-06	1.0E-10	5.9E-06	0.0E+00	5.9E-06	30	100	0	0	100	130
Hostet Bolzbach - Seehof	3.3E-05	6.5E-10	3.3E-05	1.9E-07	3.4E-05	200	300	500	0	800	1'000
Seelisbergtunnel Südportal	5.7E-06	1.3E-10	5.7E-06	4.0E-06	9.7E-06	50	20	0	0	20	70
Taubach Süd	5.7E-04	4.2E-09	5.7E-04	6.0E-05	6.3E-04	3'100	500	6'200	0	6'700	9'800
Taubach Nord	2.5E-04	1.9E-09	2.5E-04	3.6E-05	2.9E-04	1'400	200	6'200	0	6'400	7'800
Waldgebiet Bolzbach-Seedorf	2.1E-04	4.0E-09	2.1E-04	2.0E-05	2.3E-04	1'200	400	2'200	0	2'600	3'800
Flüelentunnel Südportal	3.0E-06	1.2E-10	3.0E-06	4.0E-06	7.0E-06	30	10	80	0	90	120
Reuss, Hochwasserentlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.6E-06	3.6E-06	20	2'000	0	400	2'400	2'420
Reuss, Gerinnekapazität erschöpft	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	600	0	100	700	700
Reuss, Seitenerosion	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	40'400	3'100	100	43'600	43'610
Reuss, Dammbbruch A	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	900	600	100	1'600	1'610
Reuss, Dammbbruch B	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.3E-06	1.3E-06	10	1'000	600	100	1'700	1'710
Reusskanal, Hochwasserentlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	70'500	12'800	800	84'100	84'140
Schächen, Gerinnekapazität erschöpft	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.5E-06	8.5E-06	40	300	300	200	800	840
Schächen und Stille Reuss: Seebildung, Entlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.9E-06	7.9E-06	40	4'000	0	900	4'900	4'940
Reuss und Stille Reuss: Seebildung, Entlastung	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-06	1.2E-06	10	700	0	100	800	810
Schnuerli-Runse	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.0E-07	9.0E-07	0	30	20	500	550	550
Schopfli-Runse 1	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0	10	0	100	110	110
Tanneital	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.1E-07	9.1E-07	0	300	20	700	1'020	1'020
Total	1.3E-03	1.1E-08	1.3E-03	1.8E-04	1.5E-03	7'600	123'300	33'200	4'200	160'700	168'300

Mit der gewählten Datenbank- und GIS-Lösung für die Risikoberechnung können die Ergebnisse nicht nur tabellarisch nach Prozessquelle ausgewertet sondern, auch streckenbezogen und graphisch dargestellt werden (Figur 5 und 6). In Figur 6 wird zudem ersichtlich, wie sich auf den einzelnen 100 m Abschnitten Risiken verschiedener Prozessquellen überlagern, was im Hinblick auf die Risikobewertung (Priorisierungskriterien) wichtig ist.

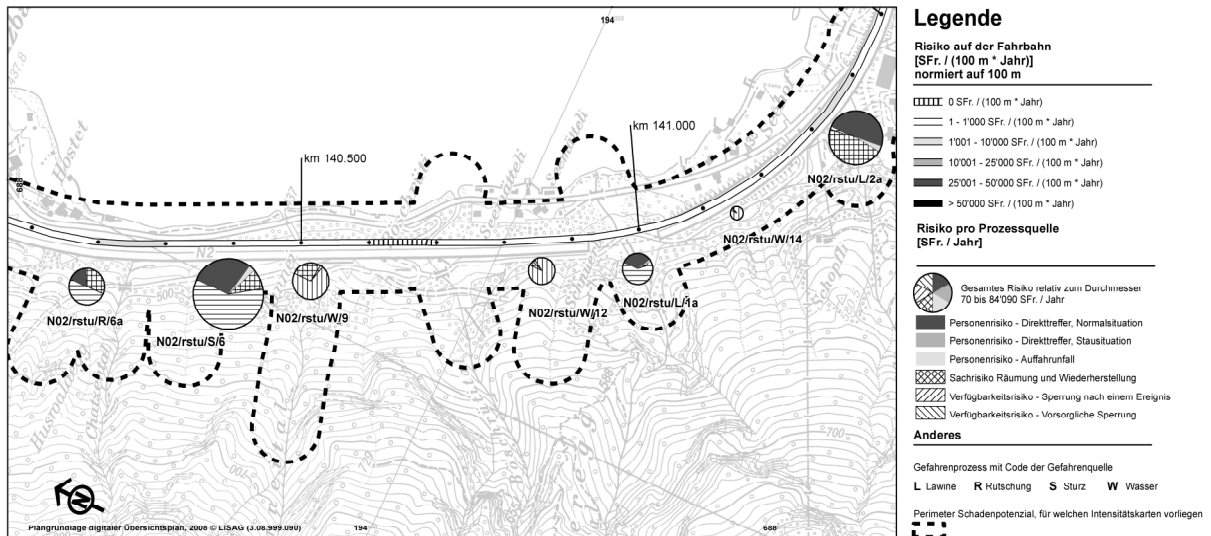


Fig. 5 Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unteres Reusstal, dargestellt als Risiko pro Prozessquelle (Kuchendiagramm mit Unterteilung nach Schadensbild pro Prozessquelle, Durchmesser des Kuchendiagramms ist proportional zur Grösse des Risikos) und als Risiko pro 100m-Abschnitt (abgestuft nach der Grösse des Risikos).

Fig. 5 Presentation of the collective risks caused by natural hazards along Swiss highways in the Reuss valley (Risk per process source, divided into different type of risks and risks per 100 m fragment along the street).

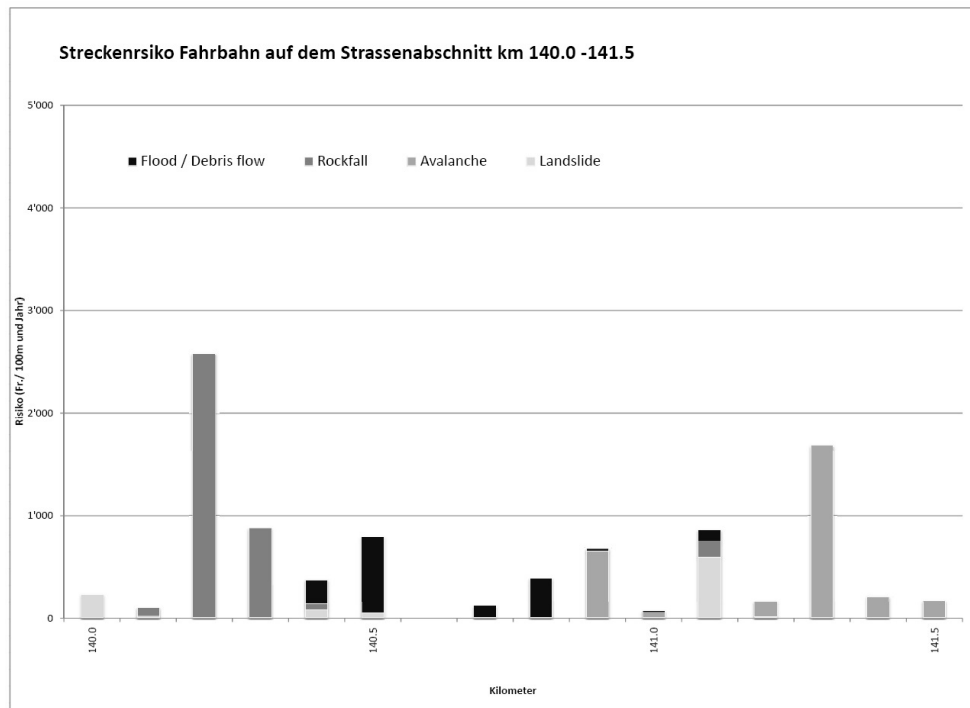


Fig. 6 Risiken verursacht durch Naturgefahren im Pilotprojekt Unteres Reusstal, dargestellt als Histogramm pro 100m-Abschnitt entlang der Strecke und unterteilt nach Gefahrenprozess (der gewählte Streckenausschnitt ist identisch mit demjenigen in Abbildung 5)

Fig. 6 Collective risks caused by natural hazards along Swiss highways in the Reussvalley, represented as histogram per 100 m, divided into different type of hazard process

Risikobewertung: Die gemäss Methodik angewendeten Kriterien zeigen, dass das Überprüfungskriterium des individuellen Todesfallrisikos (10^{-5}) mit dem über den gesamten Streckenabschnitt berechneten Wert von $1.2 \cdot 10^{-7}$ nicht verletzt wird. Bei den beiden Prozessquellen "Reusskanal, Hochwasserentlastung" sowie "Reuss, Seitenerosion" wird der Wert von SFr. 10'000.- pro Prozessquelle und Jahr deutlich überschritten (siehe auch Tabelle 4). Erstere stellt ein Spezialfall dar, da es sich um eine gewollte Massnahme im Rahmen des Hochwasserschutzes Reusstal handelt. Somit besteht prioritärer Handlungsbedarf nur für die Prozessquelle "Reuss, Seitenerosion".

AUSBLICK

Seit dem Jahre 2010 wird das gesamte Nationalstrassennetz etappenweise in Form von einzelnen Losen durch ausgewiesene Fachleute beurteilt. Dabei werden jeweils rund 30 bis 50 km lange Streckenabschnitte pro Lose bearbeitet. Im Herbst 2011 wird die Bearbeitung der ersten Lose abgeschlossen sein.

Für die Risikoermittlung wird für alle Lose - anders als im Pilotprojekt - ein webbasiertes Berechnungstool eingesetzt, das - auf der Grundlage der Gefahrenanalyse - eine standardisierte Berechnung der Risiken erlaubt. Die Massnahmenplanung und -bewertung ist an ausgewählten Stellen bereits im Gange.

REFERENCES

- ARGE geo7-flussbau-Kellerhals+Haefeli-IMPULS (2009). Pilotprojekt Unteres Reusstal. Strecke 02.48.139: Seelisbergtunnel bis Alpbachtunnel Nordportal.
- BRP, BWB, BUWAL (1997). Empfehlung zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- BRP, BWB, BUWAL (1997). Empfehlung zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.

- Bründl M. (Ed) (2009). Risikokzept Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.
- Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (BFF, EISLF) (1984). Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten.
- Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) (2007). Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz. Aktualisierung 2000/2005.
- Bundesamt für Strassen (ASTRA) (2010). Risikokzept Naturgefahren Nationalstrassen, Ausgabe 2009 V1.30. Dokumentation. ASTRA 89 001.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2010). EconoMe2.0. Online-Berechnungsprogramm zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren.
- Erath A., Birdsall J., Axhausen K., Hajdin R. (2009). Vulnerability Assessment - Methodology for Swiss Road Network. Journal of the Transportation Research Board, No. 2137, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009, pp. 118–126.
- Linn A. van, Welte U., Hajdin R., Adey B. (2009). Sicherheit des Verkehrssystems Straße und dessen Kunstbauten : Effektivität und Effizienz von Maßnahmen; Forschungsauftrag AGB 2005/104 / - Zürich : Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2009. 88 S.
- Romang H. (Ed) (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.