



# Wildbach- und Lawinenverbau

Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz  
Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering

**verein der diplomingenieure**  
der wildbach und lawinenverbauung  
österreichs

73. Jahrgang, Jänner 2009, Heft Nr. 160

Heft 160

# Wildbach- und Lawinenverbau

Impressum:

Eigentümer:

Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung  
Österreichs, A-5700 Zell am See

Herausgeber:

Dipl.-Ing. Christoph Skolaut, c/o Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und  
Lawinenverbauung, Sektion Salzburg, Bergheimerstraße 57, A-5021 Salzburg  
T: +43-662-878153, F: +43-662-870215  
e-mail: christoph.skolaut@wlv-austria.at

Titelbild:

Hochwald am Hochkönig

Quelle: Kopfsache

... NUR FÜR SIE   
GEHEN WIR IN DIE LUFT ...

- Rettungsflüge
- Montagen
- Hüttenversorgung
- Holztransporte
- Feuerbekämpfung
- Film- und Fotoflüge
- Tierbergungen
- Lawinsprengungen
- Leitungskontrollen
- VIP- und Shuttleflüge

**Unsere Flotte:**

2 Bell Super 204B

4 AS 350

5 AS 355 (Twin-Engine)

1 MD Explorer



**Heli Tirol GmbH**  
A-6462 Karres  
Tiroler Bundesstraße 1  
Tel +43 (0)5412 - 61 421  
Fax +43 (0)5412 - 61 421 - 110  
Mobil +43 (0) 664 - 80 440 80  
Mail fly@heli-tirol.at



**Heli Austria GmbH**  
A-5600 St. Johann im Pongau  
Heliport  
Tel +43 (0)6462 - 4200  
Fax +43 (0)6462 - 4200 - 42  
Mobil +43 (0) 664 - 80 440 80  
Mail fly@heli-austria.at

## Inhalt Heft 160

Christoph Skolaut:  
**Vorwort**

Michael Brauner, Thomas Tartarotti:  
**Hydrologie von 97 Einzugsgebieten der nördlichen Randalpen und des Alpenvorlandes**

Bruno Mazzorana, Christian Scherer:  
**Eine Methode zur Ermittlung von nachvollziehbaren Naturgefahrenszenarien**

Michelle Bollschweiler, Markus Stoffel:  
**Jahrringe und Naturgefahren - Wie und wo können Bäume bei der Gefahrenbeurteilung helfen?**

Rudolf Sailer, Wolfgang Fellin, Reinhard Fromm, Philipp Jörg, Lambert Rammer, Peter Sampl, Andreas Schaffhauser:  
**Massenbilanzberechnungen einer Lawine und Verifikation von Lawinsimulationsmodellen**

Reinhard Ribitsch, Siegfried Hermann:  
**Georisikokartierungen im Rahmen der Gefahrenzonenplanung - Beispiele aus der Gemeinde Gasen, Oststeiermark.**

Christoph Skolaut:  
**Kurzzusammenfassung des Programms und der gewählten Schwerpunkte**

Michael Botthof, Stefan Fieger, Thomas Frandl, Johann Kessler, Wilfried Klaus:  
**Stahlschneebrücken/Schneenetze**

Georg Dichlberger, Matthias Granig, Eduard Kotzmaier, Stefan Janu, Stefan Oberndorfer, Franz Schmid, Ingo Schnetzer:  
**Lawinsimulation**

Winterstudienreise April 2008 Tirol



*Wildbachbaustelle im Watschergraben.*

## Sicher bauen.

*Bauen auf schwierigem Terrain. Im Team erfolgreich:*

## Nach bestem Wissen

*MEVA Schalungs-Systeme, Alzner Baumaschinen und die*

## und Gewässer.

*Wildbach- und Lawinenverbau, Sektion Lungau. Danke für's Teamwork.*



www.meva.at • info@meva.at • Tel. 02252 209000  
www.alzner.at • office@alzner.at • Tel. 06219 8065

## Inhalt Heft 160

Berichte zur Tagung „Forsttechnische Kompetenz in Österreichs Schutzwäldern“ im Oktober in Zell am See

Franz Anker, Roland Bauer, Thomas Huber, Markus Mayerl, Christoph Skolaut, Leopold Stepanek:  
**Lawinenerlass**

Seite 104

Franz Anker:  
**Einleitung**

Seite 108

Jörg Heumader:  
**Rolle des Waldes**

Seite 110

Franz Anker:  
**Das Ingenieurwesen der Wildbach- und Lawinenverbauung – Kompetenz und Aufgaben des WLV-Ingenieurs**

Seite 112

Florian Rudolf-Miklau:  
**Zwischen der forsttechnischen Tradition und den Herausforderungen der Zukunft**

Seite 114

Hubert Hasenauer:  
**Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkte des Departments für Wald und Bodenwissenschaften**

Seite 120

Johannes Hübl:  
**Schutz vor Naturgefahren, Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkte am Department Bautechnik und Naturgefahren der Universität für Bodenkultur Wien**

Seite 122

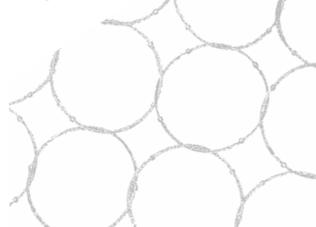
Karl Kleemayr:  
**Schutz vor Naturgefahren am BFW: Forschungs- und Ausbildungsschwerpunkte**

Seite 124

Andreas Reiterer:  
**Flächenwirtschaftliche Projekte bei der WLV**

Seite 128

1. Merdenson, Schweiz
2. Goiserer Weissenbach, Österreich
3. Illgraben, Schweiz



## Flexible Ringnetzbarrieren schützen Mensch und Infrastruktur vor Murgängen

Im Vergleich zu starren Barrieren können die flexiblen Ringnetzbarrieren jeweils bis zu 1000 m<sup>3</sup> Geschiebe und Schwemmholt zurückhalten, während das Wasser weiter fließen kann. So können Verkläuerungen von Durchlässen verhindert, der Strassen- und Schienenverkehr offen gehalten und Objekte vor Zerstörung geschützt werden. Die Entleerung ist einfach.

Unsere Spezialisten analysieren zusammen mit Ihnen gefährdete Stellen, erheben die für die Bemessung erforderlichen Parameter und erarbeiten daraus wirtschaftliche Vorschläge für eine wirkungsvolle Schutzmassnahme.



**GEOBRUGG** 

**Geobruigg Austria Ges.m.b.H.**  
 Innsbrucker Bundesstraße 71  
 A-5020 Salzburg  
 Tel. +43 6277 7911  
 Fax +43 6277 79114  
 www.geobruigg.com  
 info@geobruigg.com

CHRISTOPH SKOLAUT

## Vorwort

Drei unterschiedliche, aber äußerst interessante Teile prägen dieses 160. Heft der Zeitschrift Wildbach- und Lawinenverbau.

Der erste Teil ist einem breiten Spektrum mit Artikeln zur Hydrologie, zur Ermittlung von Naturgefahrenszenarien, zu Jahrringuntersuchungen in der Naturgefahrenbewertung, zur Verifizierung von Lawinensimulationen an 1:1-Naturversuchen und zur Intensitätsabschätzung von Rutschungen gewidmet.

Im Mittelteil finden Sie die Dokumentation der im April 2008 durchgeführten Winterstudienreise des Vereins nach Tirol zu den Themenschwerpunkten Lawinensimulation, Berücksichtigung von Verbauungen in der Gefahrenbeurteilung, Stahlschneebrücken vs. Schneesetze und Lawinenerlass.

Den Abschluss bilden Kurzbeiträge zur Fachtagung „Forstliches Ingenieurwesen & Schutz vor Naturgefahren – Gestern Heute Morgen“, die Anfang Oktober 2008 in Zell am See im Bundesland Salzburg stattgefunden und sich intensiv mit aktuellen und künftigen Herausforderungen an eine forschungsgeleitete Ausbildung beschäftigt hat.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen dieser Palette unterschiedlichster Information.

MICHAEL BRAUNER, THOMAS TARTAROTTI

## Hydrologie von 97 Einzugsgebieten der nördlichen Randalpen und des Alpenvorlandes

### *Hydrology of 97 catchment areas of the northern border alps and the alp's foreland*

#### Zusammenfassung:

Der Artikel stellt ein Projekt vor, im Zuge dessen die Hochwasserabflusswerte für die maßgeblichen Jährlichkeiten (HQ150, HQ100, HQ30) von 97 Einzugsgebieten aus zehn Gemeinden berechnet wurden. Insgesamt wurden Berechnungen an 184 Knotenpunkten vorgenommen. Alle prioritären Einzugsgebiete wurden mit einem Niederschlags-Abfluss-Modell auf Basis von Arc-Map und HEC-HMS simuliert und in einer Geodatenbank zusammengefasst. Durch die regionale Analyse der hydrologischen Einflussfaktoren wie z.B. Niederschlag, Vorbefeuchtung und die Modellkalibrierung an mehreren Pegelmessstationen kann eine hohe Kontinuität und Plausibilität bei den Berechnungsergebnissen erzielt werden.

#### Schlagworte:

regionalisierte Niederschlags-Abfluss-Modellierung, Bemessungsniederschlag

#### Summary:

*The article presents a project, where the most important design flood values (HQ150, HQ100, HQ30) for 97 catchment areas of 10 municipalities have been calculated. Altogether about 184 calculation points have been simulated. All high priority catchment areas have been simulated with a precipitation discharge model based on Arc-Map and HEC-HMS. The results are summarized in a geodatabase. According to the regional analysis of hydrological input parameters such as precipitation, pre-moisture and calibration of models with water gauge stations, high continuity and plausibility of the simulation results is achieved.*

#### Einleitung

Die Gebietsbauleitung Steyr-Enns-Gebiet war vom Augusthochwasser 2002 und dem medial eher unbeachteten Mai-Hochwasser 2005 massiv betroffen. Als Basis für die Revision der vorhandenen Gefahrenzonenpläne und die Ausarbeitung von Hochwasserschutzprojekten wurde die Idee geboren, für insgesamt zehn der 45 Gemeinden der Gebietsbauleitung Steyr-Enns-Gebiet flä-

chendeckende hydrologische Berechnungen der Hochwasserspitzen und Hochwasserfrachten vorzunehmen. Die gewählten Gemeinden befinden sich am nördlichen Kalkalpenrand und im vom Flysch geprägten Alpenvorland.

Mit den umfangreichen Berechnungen und Simulationen wurde das Büro Geoexpert Research & Planning GmbH unter der Leitung von Dr. DI Michael Brauner beauftragt.

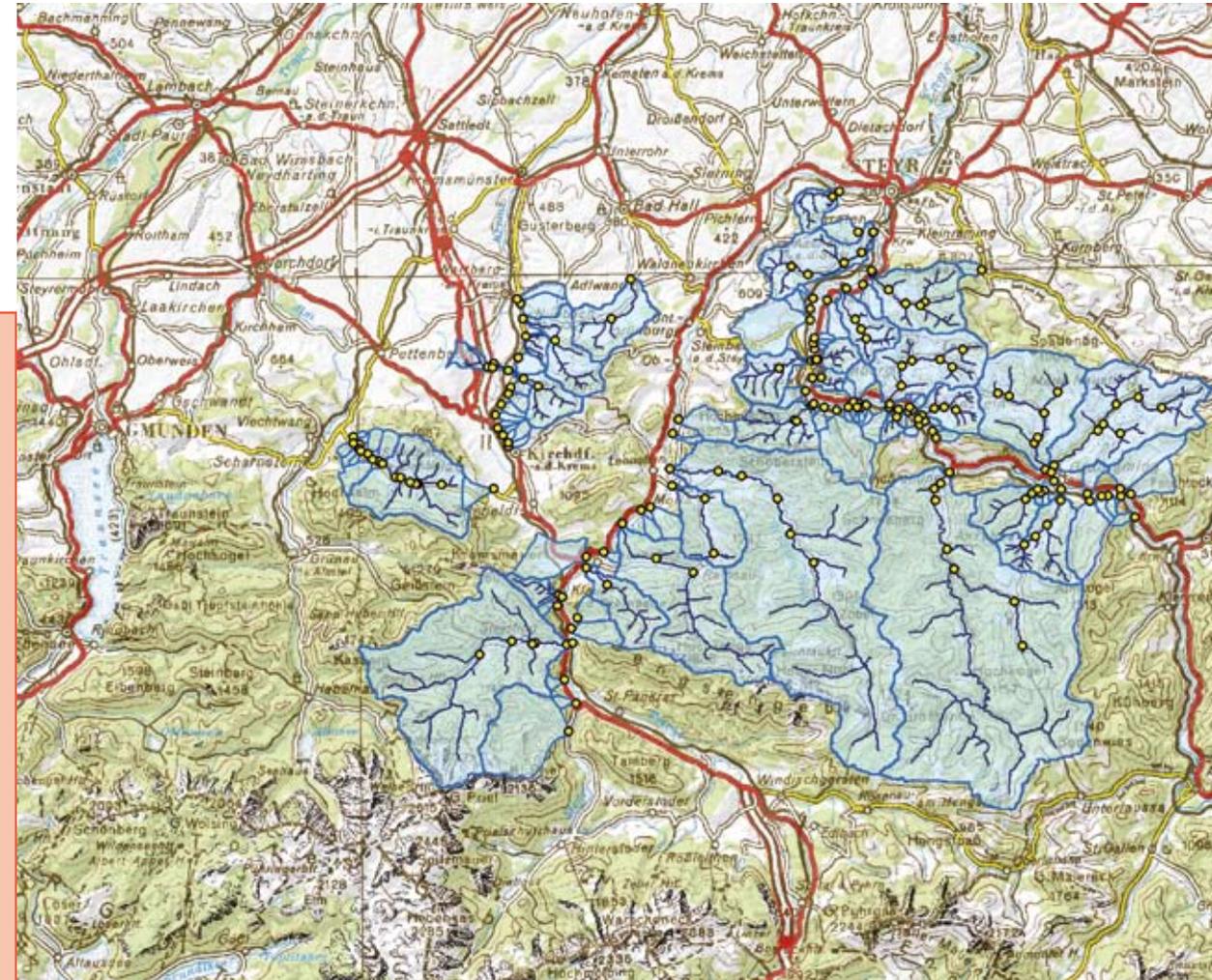


Abb. 1: Übersicht über die 97 Einzugsgebiete mit den 184 Berechnungsknoten in den Bezirken Kirchdorf und Steyr-Land, Oberösterreich

Fig. 1: Overview of the 97 catchment areas with 184 simulation points in the districts „Kirchdorf“ and Steyr-Land“, Upper Austria

## Zielsetzungen

Der Grundgedanke für das Projekt besteht darin, die für die Gutachterfähigkeit und Revision von Gefahrenzonenplänen (HQ150) sowie für allfällige technische Projekte (HQ100) und wasserrechtliche Verhandlungen (HQ30) notwendigen Hochwasserabflusswerte und dazugehörige Hochwasserfrachten dem Stand der Technik entsprechend zusammenzustellen. Bei den Abflusswerten handelt es sich um Reinwasserwerte, bei denen der Geschiebeanteil bzw. der maßgebliche Wildbachprozess noch nicht berücksichtigt ist.

Ferner sollen die Berechnungen so aufbereitet sein, dass das Setup für detaillierte Folgeuntersuchungen weiterverwendet werden kann. Dies geschieht auf der Basis von Arc-Map und der Simulationssoftware HEC-HMS. Dadurch ist auch ein einfaches und übersichtliches Abrufen der HQ-Werte gewährleistet.

## Überblick über die Einzugsgebiete

In den betrachteten Gemeinden liegen insgesamt 97 Einzugsgebiete (EZG). (Abb. 1) Ca. 2/3 davon nehmen EZG mit einer Fläche von weniger als 5 km<sup>2</sup> ein. 10 EZG weisen eine Fläche von 5 km<sup>2</sup> bis 10 km<sup>2</sup> auf. 11 EZG sind in der Klasse von 10 km<sup>2</sup> bis 30 km<sup>2</sup> einzuordnen. 7 EZG sind größer als 30 km<sup>2</sup>. Der Reichramingbach weist als größtes EZG eine Fläche von 170 km<sup>2</sup> auf.

Da eine detaillierte Niederschlagsabflusssimulation für alle 97 EZG sehr aufwändig wäre, wurde abhängig von der Raumrelevanz eine Unterscheidung in drei Prioritätsklassen bei den Berechnungen getroffen. Tab. 1 zeigt die Kurzbeschreibung der für die einzelnen Prioritätsklassen verwendeten hydrologischen Modelle und die Anzahl der in die Dringlichkeitsstufe fallenden Einzugsgebiete (EZG). Demzufolge wird ca. ein 1/3 der EZG mit einem Niederschlags-Abfluss-

Modell (SCS-Verfahren mittels HEC-HMS) detailliert berechnet. Zur Beurteilung der restlichen 2/3 werden klassische Faustformeln (WUNDT bzw. WUNDT modifiziert nach LÄNGER) verwendet.

Prioritätsklasse	Anzahl EZG	Hydrologisches Modell
niedrig	68	Verwendung von Faustformeln
mittel	13	Berechnung mittels SCS-Verfahren an der Mündung in den Vorfluter bzw. an der Kompetenzgrenze
hoch	16	Knotenpunkte bei allen wichtigen Zubringern und vor Eintritt in raumrelevante Bereiche, Berechnung für jedes Teileinzugsgebiet mittels SCS-Verfahren

Tab. 1: Prioritätsklassen mit dazugehöriger Anzahl der EZG sowie der gewählten Berechnungsmodelle

Table 1: priority classes with belonging number of catchment areas and chosen model

Verschneidet man nun die Prioritätsklassen mit den Größenklassen der Einzugsgebiete, so zeigt sich erwartungsgemäß, dass der Anteil der detailliert hydrologisch zu betrachtenden EZG mit deren Größe zunimmt.

In der betrachteten Region befinden sich in fünf EZG sechs Pegelmessstationen sowie zehn Niederschlagsmessstationen. Diese Messstationen wurden dazu verwendet, um eine extremwertstatistische Auswertung vorzunehmen und das Niederschlags-Abfluss-Modell zu kalibrieren.

## Methodik

Für die Bearbeitung der Einzugsgebiete mittleren und hohen Detaillierungsgrads sollte ein Niederschlags-Abfluss-Modell (N/A-Modell) Anwendung finden, welches bei wirtschaftlich vertretbarem Aufwand eine ausreichende Berücksichtigung von Niederschlagsverhalten und lokaler Gebietscharakteristika möglich macht. Es wurde dazu die Softwareanwendung HEC-HMS 3.0.1 gewählt. Mit ihr kann mit einfachen Oberflächenverlustansätzen ein ereignisbezogenes N/A-Modell aufgebaut werden. Das Einzugsgebiet wird dazu

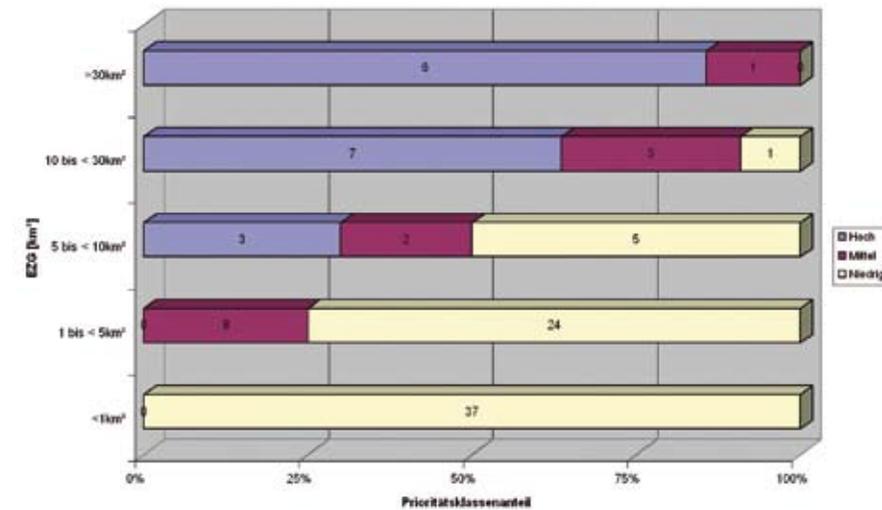


Diagramm 1: Anzahl der EZG sowie Anteil der Prioritätsstufen betrachtet nach den EZG-Größenklassen

Diagram 1: Number of catchment areas and percentage of priority classes according to the catchment area size classes

in Teilgebiete homogener Niederschlags-Abflussreaktion unterteilt, welche durch Gerinne miteinander verbunden sind. Entlang dieser Gerinne können Berechnungsknoten flexibel angeordnet werden, welche auch nachträglich schnell ergänzt werden können.

Die Einzugsgebiete und deren Teilgebiete wurden entsprechend dem BEV-Geländemodell und den vorgegebenen Berechnungsknoten teilautomatisiert ausgeschieden. Anschließend wurden die einzelnen Modellkomponenten folgenderma-

Modellkomponente	Methode	Parametererhebung
Versickerungsverlust	SCS-CN Ansatz	CN-Wert: CORINE-Datensatz Bodenklasse: digit. Bodenkarte Vorbefuchtung: Beobachtungsdaten
Niederschlags/Abflussbildung	Clark-Einheitsganglinie (liniare Speicher)	Konzentrationszeit: Lorenz & Skoda Speicherkonstante: Beobachtungsdaten
Basisabfluss	Rezession	Basisabfluss: laut HAO Beiwert: Beobachtungsdaten
Wellentransformation durch Fließretention	Muskingum-Cunge	Gelände-Querprofile sowie Gerinne/Vorlandrauigkeit: Geländemodell, Bilder, Geländebegehung

Tab. 2: Übersicht über die Komponenten des angewendeten N/A-Modells HEC-HMS

Table 2: N/A-model HEC-HMS: Components and procedures applied

ßen parametrisiert: Nach erfolgreicher Kalibrierung der Modellparameter an acht beobachteten Ereignissen wurde das Modell auf die insgesamt 29 Einzugsgebiete hoher und mittlerer Prioritätsklasse angewendet. Die Modelle wurden dazu entsprechend der vorgegebenen Berechnungsknoten aufgebaut und parametrisiert. Für das 30-, 100- und 150-jährliche Bemessungsereignis wurden

die Modelle mit Niederschlagsdauerstufen von 15 Minuten bis 48 Stunden beaufschlagt und für jeden Berechnungsknoten der maßgebliche Spitzenabfluss bzw. die maßgebliche Abflussfracht ermittelt.

Für die Bearbeitung der Einzugsgebiete niedriger Prioritätsklasse wurden lokal gültige, empirische Formulierungen wie die Methode WUNDT, modifiziert nach LÄNGER (LÄNGER, 1981), sowie WUNDT (WUNDT, 1965) angewendet und für den Mündungspunkt der Spitzenab-

fluss sowie die Hochwasserfracht ermittelt.

Abschließend wurden die Abflussdaten aller Bäche strukturiert in einer Datenbank abgelegt. Diese Daten können vom Bearbeiter räumlich in Arc-Map oder tabellarisch unter MS-ACCESS abgefragt werden.

## Kalibrierung des N/A-Modells an beobachteten Einzugsgebieten

Da Abflussverhältnisse mehr durch langfristige Vorbefeuchtung bzw. Jahresniederschlagssumme bestimmt werden als durch Vegetationsverhältnisse oder Bewirtschaftungsart (MERZ, 2006; GRUBER, 2005), sollten N/A-Modelle durch beobachtete Einzugsgebiete an die lokalen Gegebenheiten angeeicht werden. Aufgrund der großflächigen Erstreckung des Bearbeitungsgebiets konnten acht geeignete Kalibrierungsereignisse für fünf Einzugsgebiete mit einer Größe zwischen 31 und 170 km<sup>2</sup> gefunden werden. Es handelt sich dabei um Hochwasserereignisse in den Jahren 2002,

Einzugsgebiet	Ereignisdauer	Geologie	Flächenerstreckung	Niederschlagstation	Jährlichkeit Niederschlag (Dauer)	Vorbereitung 5 Tage	Niederschlagssumme beobachtet	max 24h Niederschlag beobachtet	Spitzenabfluss beobachtet	Jährlichkeit Abfluss Extremwertstatistik	mittlerer sowie (maximaler) Abflussbeiwert gemäß Hydr. Atlas Österr.
						[mm]	[mm]	[mm]	[m <sup>3</sup> /s]		[%]
Reichramingbach	11.-15.4.2002 11.-15.8.2002	Kalk	170,28	Brunnbach	70-100+ (2Tage) 10-100 (6 h)	80	181,00	38,44	b 75,1	>>150*	61% (78%)
Steyrlingbach	11.-16.8.2002	Kalk	76,56	Klaus	10-50 (6h-2Tage)	12	152,00	28,90	97,6	60-75	72%
Krumme Steyrling	11.-18.8.2002	Kalk	135,90	Brunnbach	70-100+ (2Tage) 10-100 (6 h)	80	182,55	22,80	c 166,0	100-150	50% (62/88%)
	19.-28.10.1996	Kalk	135,90	Klaus	1-10 (2 Tage)	15	154,91	17,20	111,5	25-50	61%
Paltenbach	12.-16.9.1996	Kalk	41,00	Klaus	1-5 (6h)	15	114,00	22,80	48,0	10-20	65%
Pechgraben	10.-18.8.2002	Flysch	31,77	Pechgraben	50-100+ (6h, 2 Tage) 30-70 (1 Tag)	180	174,50	19,39	b 100,2	~150***	54%
	4.-10.7.1997	Flysch	31,77	Pechgraben	10-30 (1-2 Tage)	38	178,00	25,43	46,6	15-25	54%
									b Spitzenwert durch Einstau beeinflusst		* um 1 Ausreißer bereinigt
									c durch hohe Versickerungsverluste verfälscht		*** um 3 Ausreißer bereinigt

Tab. 3: Übersicht über die beobachteten Ereignisse welche zur Modellkalibrierung herangezogen wurden

Table 3: Monitored events used for model calibration.

1997 und 1996. In Tab. 3 sind die verwendeten Hochwasserereignisse angeführt. Auf Basis von Pegelbewertungen konnten drei Ereignisse mit einer Jährlichkeit von  $\geq 150$ , ein Ereignis mit einer Jährlichkeit um 70 sowie drei Ereignisse mit einer

Jährlichkeit zwischen 20 und 50 Jahren eingestuft werden. Die Analyse der Niederschläge auf Basis von hoch auflösenden Niederschlagsstationen (5 min Schrittweite) zeigte, dass der Niederschlag durchwegs geringere Jährlichkeiten aufwies und die Ereignisse insbesondere durch die hohe Vorbefeuchtung disponiert waren.

Ziel dieser Kalibrierung war es, bei guter Anpassung an einzelne Ereignisse übergeordnete Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und auf diesen aufbauend eine Regionalisierung der Modellparameter auf die übrigen, unbeobachteten Einzugsgebiete durchzuführen. Tab. 4 zeigt hierzu die aus den Kalibrierungsdurchgängen abgeleiteten Parametrisierungen.

So konnte die Wasserfracht durch Anpassung der CN-Bodenklassen an einen Mischwert zwischen II und III befriedigend an die ereignisspezifischen Abflussbeiwerte der Wasserbilanzierung des Hydrologischen Atlas Österreich angepasst

Einzugsgebiet	Ereignisdauer	Geologie	mittlerer sowie (maximaler) Abflussbeiwert gemäß Hydr. Atlas Österr.	CN-Bodenklasse ermittelt	Anfangsverlust ermittelt	Abflussbeiwert ermittelt	Konzentrationszeit ermittelt	Speicherkonstante CLARK	Spezifischer Basisabfluss	Verhältnis Abflussfracht modelliert/ gemessen	Verhältnis Spitzenabfluss modelliert/ gemessen
			[%]		[%]	[%]	[h]		[m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]	[%]	[%]
Reichramingbach	11.-15.4.2002 11.-15.8.2002	Kalk	61% (78%)	II - III	5%	75%	3,4	4-6	0,007	102%	101%
Steyrlingbach	11.-16.8.2002	Kalk	72%	II+	5%	61%	1,8	4-6	0,007	99%	96%
Krumme Steyrling	11.-18.8.2002	Kalk	50% (62/88%)	II	5%	65%	2,5	4-6	0,007	82%	101%
Krumme Steyrling	19.-28.10.1996	Kalk	61%	II	5%	63%	2,5	4-6	0,007	94%	102%
Paltenbach	12.-16.9.1996	Kalk	65%	II	5%	56%	1,0	4-6	0,007	90%	107%
Pechgraben	10.-18.8.2002	Flysch	54%	II - III	5%	77%	1,3	4-6	0,007	104%	106%
Pechgraben	4.-10.7.1997	Flysch	54%	II+	5%	61%	1,3	4	0,007	89%	119%

Tab. 4: Parametrisierung der N/A-Modelle sowie erreichte Übereinstimmung zwischen beobachteter und modellierter Abflusswelle auf Basis Spitzenabfluss und Ereignisfracht.

Table 4: Parameterization of N/A-models and goodness-of-fit between observed and modelled events based on peak-discharge and water-volume.

werden (HAO, 2007). Dabei wurde entsprechend der Empfehlungen von MERZ (2006) vorgegangen und mit einem Anfangsverlust von 5 % gute Übereinstimmung gefunden. Für die höheren Versickerungswerte auf Kalk sowie für häufige Ereignisse wurde die Bodenklasse II, sonst ein Mittelwert zwischen II und III gewählt.

Mit Ausnahme der Einzugsgebiete des Reichramingbachs und der Krummen Steyrling sind im HAO nur Abflussbeiwerte durchschnittlicher Ereignisse angegeben. Für extreme Ereignisse, welche sich 2002 in den Gebieten Reichramingbach, Krumme Steyrling und Pechgraben ereigneten, liegen die Abflussbeiwerte mit der Modellierung übereinstimmend zwischen 60 und 70%. Für häufigere Ereignisse ist mit einem Abflussbeiwert zwischen 45 und 60% zu rechnen, was durch die Nachrechnung bestätigt wird (siehe Tab. 4).

Der Wellenverlauf konnte durch eine Einheitsganglinie mit einer österreichweit gültigen Ableitung der Konzentrationszeit nach Lorenz & Skoda (HAO, 2007) sowie einer Speicherkonstan-

te von 4 bis 6 (kleine und mittlere Einzugsgebiete) gut angepasst werden.

Der Basisabfluss wurde mit 0,007 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> abgeleitet und ist ebenfalls in Übereinstimmung mit den im HAO empfohlenen Werten.

Im Diagramm 2 ist die Übereinstimmung der beobachteten sowie modellierten, ca. 150-jährlichen Hochwasserwellen für die Testgebiete Pechgraben und Reichramingbach dargestellt. Gut zu erkennen ist die gute zeitliche wie auch mengenmäßige Übereinstimmung der beobachteten und simulierten Hochwasserwellen. Die Welle springt regelmäßig etwas zu spät an, was durch einen modellbedingt anfangs zu hohen Versickerungsanteil zu erklären ist, welcher sich im weiteren Verlauf ausgleicht.

### Festlegung des Niederschlagsverlaufs

Um eine Ableitung der Niederschlagsmenge definierter Jährlichkeit für Niederschlagsdauerstufen zwischen 15 Minuten und 72 Stunden durchfüh-

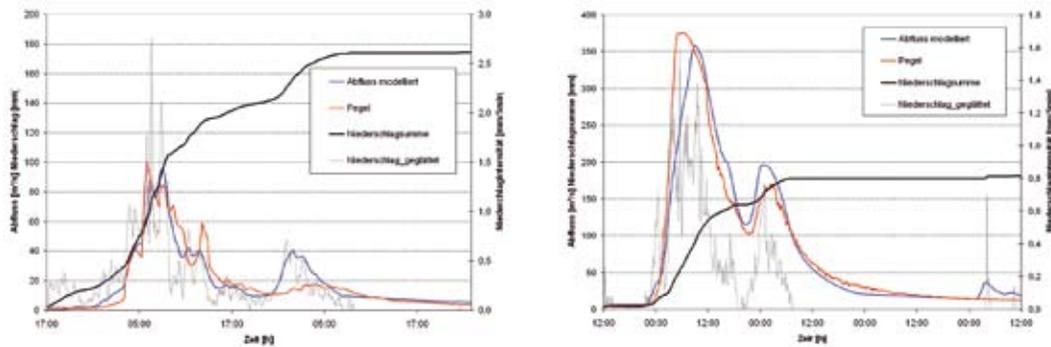


Diagramm 2: Vergleich der beobachteten und modellierten Hochwasserwellen für die Einzugsgebiete Pechgraben (links) (Größe: 31 km<sup>2</sup>) und Reichramingbach (rechts) (Größe: 170 km<sup>2</sup>).

Diagram 2: observed and modelled event-flows of catchment Pechgraben (left) (Size: 31 km<sup>2</sup>) and Reichramingbach (right) (Size: 170 km<sup>2</sup>).

ren zu können, wurde auf die folgenden Grundlagen zurückgegriffen:

- Die extremwertstatistische Auswertung der 24-h-Niederschlagssummen von 19 Niederschlagsstationen des HD-Oberösterreich, 1961- 2006
- Auswertung der Konvektiven Starkniederschläge kurzer Dauer (HAO, 2007)
- Auswertung nach ÖKOSTRA (BMLFUW, 2006)

Die Niederschlagszeitreihen von 10 Stationen konnten extremwertstatistisch ausgewertet werden. Es wurde dazu eine partielle Serie der höchsten 24-, 48- und 72-h-Summenwerte generiert und eine GPD-Verteilung (Generalized Pareto Distribution) angepasst. Jahre mit überdurchschnittlichen Niederschlagsereignissen wurden daher stärker gewichtet als unterdurchschnittliche Jahre, was sich in einer besseren Absicherung der angepassten Verteilungen auswirkt.

Um für ein Gebiet eine durchgängige Beziehung zwischen Niederschlagsmenge und Niederschlagsdauer zu bekommen, wurde versucht die gewichteten Mittelwerte von HAO und ÖKOSTRA (15-720 min) (BMLFUW, 2006) über eine Ausgleichskurve an die extremwertstatistische Auswertung der Niederschlagsstationen (24 bis 72h) anzupassen. Die Ausgleichskurve sollte der Form nach dem

Starkregenkriterium nach KREPS folgen.

Wie in Diagramm 3 beispielhaft zu sehen ist, folgt die vorgeschlagene Niederschlags-Dauerstufenverteilung bis zu einer Dauer von vier Stunden der angeführten Starkregenverteilung, schwenkt dann in Richtung der oberen, 95%-Vertrauensgrenze der Extremwertverteilung und nähert sich abschließend dem 72-Stunden-Erwartungswert der Extremwertverteilung an. Die verlaufende Anpassung innerhalb des oberen Vertrauensbereichs der Extremwertanpassung erscheint gerechtfertigt, da die 24-h-Summenwerte, bedingt durch das fixe Erfassungsintervall, die tatsächlichen Niederschlagsverhältnisse um bis zu 20% unterschätzen. Durch das größere Zeitfenster der 48- und 72-h-Summenwerte nimmt diese Beeinflussung für längere Zeitintervalle ab, wie Vergleiche zwischen Tagesstationen und hochauflösenden Zeitreihen im Bearbeitungsgebiet bestätigen.

An Hand der extremwertstatistischen Auswertung sowie der Verteilung der flächig vorliegenden Starkregenniederschläge liegt der Schluss nahe, dass die Niederschlagsintensität in den Staulagen, verstärkt durch nordöstlich verlaufende Täler und zunehmende Reliefenergie von NW nach SO zunimmt. Das bestätigt auch die Analyse der Unwetterereignisse 1997-2005 (HD-Oberösterreich, 2005).

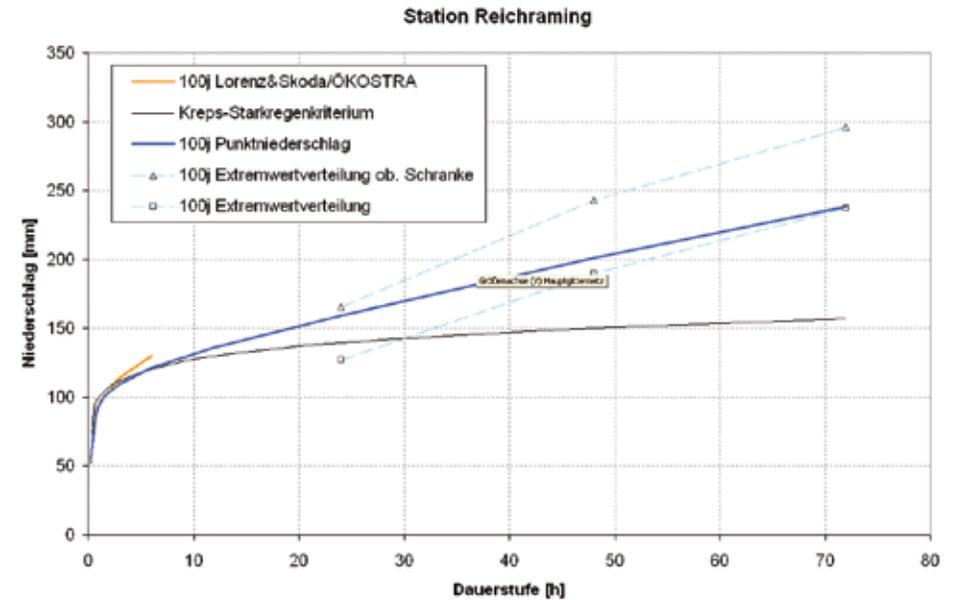


Diagramm 3: Vorgeschlagene Niederschlags-Dauerstufenbeziehung am Beispiel Randalpine Staulage für eine Niederschlagsdauer zwischen 0,25 und 72 Stunden.

Diagram 3: Proposed precipitation-duration distribution of Type „Randalpine Staulage“. Rainfall duration between 0,25 and 72 hours.

Aufgrund der kurzen Zeitreihe liegt dieser räumliche Trend innerhalb des 95%-Vertrauensintervalls der statistischen Auswertung, ist also schwach abgesichert. Es erscheint daher sinnvoll für die weiteren Berechnungen nur zwei repräsentative Niederschlags-Dauerstufenverteilungen zu unterscheiden. Es sind dies:

- Alpenvorland – Station Waldneukirchen
- Randalpine Staulage – Station Reichraming

Analog zu der in Diagramm 3 vorgeschlagenen Kurve wurde für diese beiden Stationen für die 30-, 100- und 150-jährlichen Bemessungsniederschläge Ausgleichskurven abgeleitet. Die Trennlinie des Gültigkeitsbereichs der beiden Stationen liegt am Übergang Alpenvorland-Nordalpin, entlang der Linie Kleinraming-Damberg-Dürnbach-Steinbach-Kirchdorf-Micheldorf-Falkenmauer.

#### Ermittlung der Bemessungs-Gebietsniederschläge

Da je nach Vorbefeuchtung und Intensitätsverlauf ein variabler Zusammenhang zwischen einem

Abflussereignis bestimmter Frequenz und der Niederschlagsintensität besteht (MERZ, 2006), wurde auch hier der Zusammenhang zwischen Niederschlagsintensität und Abflussgeschehen für die in Tab. 3 angeführten, beobachteten Ereignisse durch gleitende Mittelbildung unterschiedlicher Länge untersucht.

Es zeigte sich, dass nach ausreichend intensiver Vorbefeuchtung, nicht so sehr kurze, intensive Niederschlagszellen zu Abflussspitzen führen, sondern intensive Niederschläge zwischen 6 bis 72 h Dauer, in hohen Abflussspitzen, mit Jährlichkeiten zwischen 100 und 150 Jahren resultieren. So ergaben gleitende Niederschlagssummen von weniger als 6 Stunden, 1- bis 10-jährliche Intensitäten, gleitende Mittel zwischen 2 und 6 Stunden, 25- bis 100-jährliche Intensitäten und Mittelwerte über 72 h bis über 100-jährliche Niederschlagsintensitäten. Der zeitliche Verlauf der Niederschlagsintensität an den Stationsdaten war in diesem Zusammenhang zweitrangig, da er durch die hohe räumliche Variabilität der Nie-

Einzugsgebiet	Ereignisdauer	Flächentreckung	Spitzenabfluss beobachtet	Jährlichkeit Abfluss Extremwertstatistik	mittlerer sowie (maximaler) Abflussbeiwert gemäß Hydr. Atlas Österr.	HQ 30-jährl.	Ereignisfracht 30-jährl.	Abflussbeiwert 30-jährl.	HQ 100-jährl.	Wasserfracht 100-jährl.	Abflussbeiwert 100-jährl.	HQ 150-jährl.	Wasserfracht 150-jährl.	Abflussbeiwert 150-jährl.
			[m³/s]		[%]	[m³/s]	[1000 m³]	[%]	[m³/s]	[1000 m³]	[%]	[m³/s]	[1000 m³]	[%]
Reichramingbach	11.-15.4.2002 11.-15.8.2002	170,28	b 375,1	>>150*	61% (78%)	181,56	9475	68%	301,01	9830	80%	314,00	14763	83%
Krumme Steyrling	11.-18.8.2002	135,90	c 166,0	100-150	50% (62/88%)	x	x	x	218,00	9642	64%	239,00	10474	65%
Krumme Steyrling	19.-28.10.1996	135,90	111,5	25-50	61%	136,00	7794	64%	x	x	x	x	x	x
Paltenbach	12.-16.9.1996	41,00	48,0	10-20	65%	61,42	1517	48%	111,00	2507	63%	123,00	2723	65%
Pechgraben	10.-18.8.2002	31,77	b 100,2	~150***	54%	x	x	x	109,00	1755	70%	127,28	1880	71%
Pechgraben	4.-10.7.1997	31,77	46,6	15-25	54%	62,28	1177	59%	x	x	x	x	x	x
b Spitzenwert durch Einstau beeinflusst					* um 1 Ausreißer bereinigt									
c durch hohe Versickerungsverluste verfälscht					*** um 3 Ausreißer bereinigt									

Tab. 5: Vergleich der rückgerechneten Bemessungsabflüsse definierter Jährlichkeit mit beobachteten Abflussverläufen

Table 5: Comparison of back-calculated design-events of defined recurrence probability to observed events

erschlagszellen innerhalb der beobachteten Einzugsgebiete ausgeglichen wurde.

Um nun einen Zusammenhang zwischen Jährlichkeit von Niederschlägen und Abflussereignis herstellen zu können, wurden die kalibrierten N/A-Modelle der beobachteten Einzugsgebiete mit den 30-, 100- und 150-jährlichen, konstanten Niederschlägen der Dauerstufen 15 bis 48 h beaufschlagt.

Die bekannte Abnahme der Niederschlagsintensität mit der überregneten Fläche wurde dabei durch die im HAO (2007) empfohlenen Niederschlags-Flächen-Beziehung berücksichtigt. Wie in Tab. 5 ersichtlich ist, resultierte die Rückrechnung der Bemessungsniederschläge für die beobachteten Einzugsgebiete in einer befriedigenden Übereinstimmung mit den Auswertungen der Pegelzeitreihen.

Es besteht für die 150-jährliche Simulation Reichramingbach, die 100-jährliche Si-

mulation Pechgraben sowie für die 30-jährliche Simulation Paltenbach gute Übereinstimmung mit den beobachteten Werten, zumal aufgrund von Einstausituation beim Pegel Reichraming und Pechgraben mit Überschätzung zu rechnen ist. Die 100-/150-jährliche Simulationen der Krummen Steyrling liegen stark über den beobachteten Pegelabflüssen, welche jedoch laut Auskunft des HD-Oberösterreich zu geringe Werte angeben.

#### Hochwasserabfluss- und Hochwasserfrachtberechnung

Nach erfolgter Regionalisierung der Modellparameter der unbeobachteten Einzugsgebiete (siehe Tab. 4) wurden die N/A-Modelle für alle 29 Einzugsgebiete für das 30-, 100- und 150-jährliche Bemessungsereignis für die Niederschlagsdauerstufen 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720 und 1440 Minuten aufgesetzt.

Damit für jede Dauerstufe ein realistisches, räumlich verteiltes Starkregenszenario angewendet wird, muss unter Einhaltung einer der Jährlichkeit entsprechenden Niederschlags-Dauerstufenbeziehung ein Teilgebiet voll beaufschlagt und das restliche Einzugsgebiet entsprechend geringer teilbeaufschlagt werden. Dazu wurde für jede Dauerstufe folgendermaßen vorgegangen:

1. alle Teilgebiete mit einer Konzentrationszeit, die geringer ist als die aktuelle Dauerstufe, werden mit einer der Teilgebietfläche entsprechenden Niederschlagsintensität beaufschlagt
2. die restlichen Teilgebiete werden mit einer dem Gesamtgebiet entsprechenden Niederschlagsintensität überregnet

Entsprechend diesem Ansatz wurden nun alle N/A-Modelle für alle Dauerstufen und Jährlichkeiten durchgerechnet und daraus die Dauerstufe mit maßgeblichem HQ-Wert und Wasserfracht ausgewählt. Diagramm 4 zeigt exemplarisch für alle Berechnungsknoten des Einzugsgebiets Pechgraben die Verteilung der HQ-Werte über alle Dauerstufen der Jährlichkeit 100.

Wie zu sehen ist, weisen die Spitzenabflüsse der einzelnen Berechnungsknoten entsprechend der Einzugsgebietsgröße einen Kulminationspunkt zwischen 60 und 180 Minuten auf.

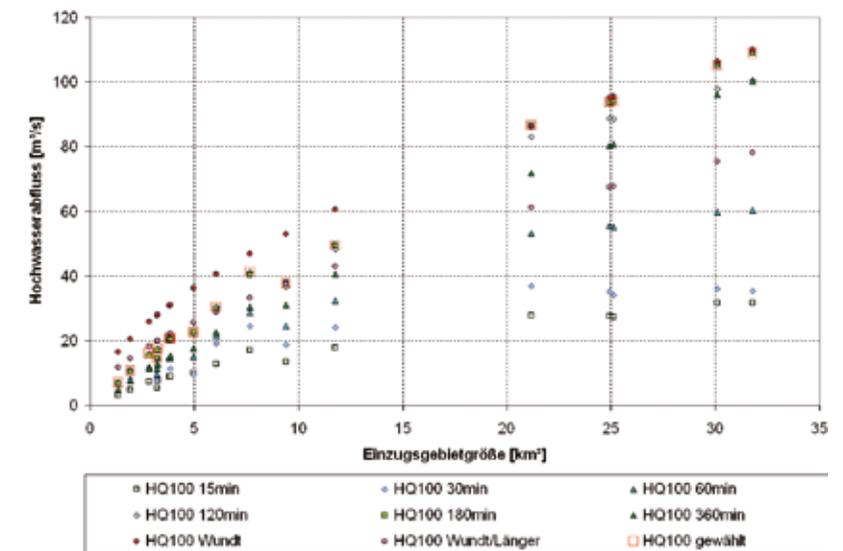


Diagramm 4: Abflüsse der einzelnen Berechnungsknoten für das Einzugsgebiet Pechgraben für unterschiedliche Niederschlagsdauerstufen.

Diagram 4: Discharge of different precipitation-duration for all points-of-interest for catchment Pechgraben.

Während die kleineren und mittleren Einzugsgebiete im Bereich von WUNDT, modifiziert nach LÄNGER, liegen, steigen die HQ100 Werte der großen Teilgebiete weiter an und liegen in der Größenordnung des WUNDT-Werts.

Darüber hinaus wurde für die Mündungsknoten aller Einzugsgebiete vergleichsweise der 30-, 100- und 150-jährliche Spitzenabfluss nach der Methode WUNDT, modifiziert nach LÄNGER, ermittelt und mit den N/A-Modelldaten zusammengeführt.

Aus diesen Daten wird anschließend, strukturiert nach Berechnungsknoten, Einzugsgebiet und Gemeinde, eine Datenbank aufgebaut (Abb. 2). Mit dieser Datenbank können 97 Einzugsgebiete mit 184 Berechnungsknoten sowie Abflusswerten zu 315 Teilgebieten per Mausklick auf den Berechnungsknoten abgefragt werden.

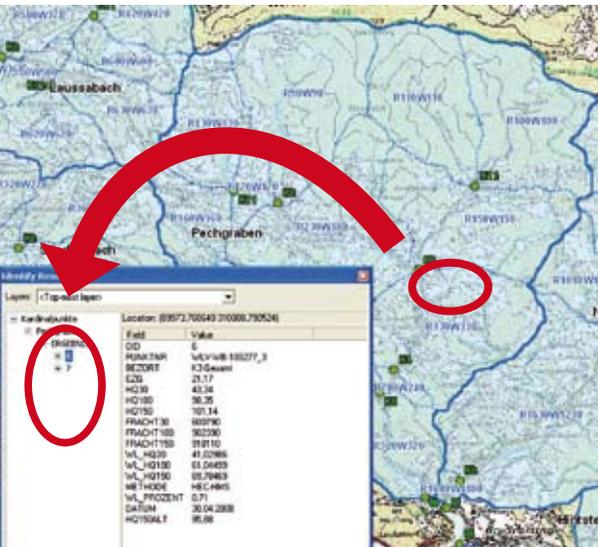


Abb. 2: Datenbankabfrage für einen Berechnungsknoten des Einzugsgebiets Pechgraben.

Fig. 2: database query for one point-of-interest for catchment Pechgraben.

## Ergebnisanalyse

Wie die vergleichenden Berechnungen zeigen, konnte durch Analyse von acht beobachteten Er-

eignissen die Parametrisierung der N/A-Modelle der 29 detailliert zu untersuchenden Einzugsgebiete erfolgreich durchgeführt werden.

Dazu können die folgenden Aussagen getroffen werden:

- Da das Abflussgeschehen maßgeblich von Vorbefeuchtung und räumlicher Einzugsgebietsstruktur geprägt wird, ist zur Parametrisierung von N/A-Modellen eine Regionalisierung der Modellparameter auf Basis von beobachteten Gebieten notwendig. Das betrifft zu gleichen Maßen Geländeparameter wie Abflussbeiwert oder Niederschlag.
- Eine Regionalisierung braucht ausreichend Beobachtungen. Dazu ist in Abhängigkeit von Messstellendichte ein ausreichend großes Bearbeitungsgebiet notwendig.
- Durch vergleichende, extremwertstatistische Analyse konnten auf Basis der acht Beobachtungen für Bemessungsabflüsse definierter Jährlichkeit 30, 100 und 150 korrespondierende Niederschlags-Dauerstufenbeziehungen gefunden werden. Dabei zeigte sich, dass für das Bearbeitungsgebiet nach hoher Vorbefeuchtung, insbesondere nach 2- bis 12-stündiger, 50- bis 100-jährliche Niederschläge relevant werden, wobei kein bevorzugter Intensitätsverlauf erkannt werden konnte.
- Die Analyse zeigt, dass kurz- bis mittelfristige Starkniederschläge auch in topographisch strukturiertem Gelände große Ausdehnung erfahren können. Daher ist ein „milder“ Niederschlags-Flächen-Reduktionsansatz, wie er im HAO (2007) vorgeschlagen wird und in dieser Studie Anwendung findet, durchaus berechtigt.

- Die Durchrechnung der Modelle zeigt, dass der Kulminationspunkt der Abflussverteilungen, trotz der recht kurzen einzugspezifischen Konzentrationszeiten, zwischen 60 und 720 Minuten liegt, was realistisch erscheint. Diese Situation ist durch die anfangs starke Zunahme der Niederschlagsintensität bis zu 3 Stunden bei gleichzeitig zu Niederschlagsdauer und Intensität verkehrt proportional wirkender Niederschlags-Flächen-Reduktion bedingt.
- Weiters zeigt sich, dass die Abflusskonzentration stark durch die Einzugsgebietsform und Gewässernetzstruktur disponiert ist, was in den meist langgestreckten Einzugsgebieten des Bearbeitungsgebiets zu verstärkter Abflusskonzentration in den Mittel- und Unterlaufabschnitten führt, und nicht mehr einem „klassischen“ exponentiellen Ansatz ähnlich dem Wundt-Ansatz folgt und daher individuell bewertet werden sollte.

## Vorteile des vorgestellten Verfahrens

- Bei bestehendem, kalibrierten N/A-Modell eines Einzugsgebiets ist eine schnelle Anpassung an geänderte Verhältnisse möglich (Einbauten, veränderte Bewirtschaftung, zusätzliche Bemessungspunkte, etc).
- Neue Erkenntnisse, wie z.B. Extremniederschläge, können schnell eingebunden und N/A-Modelle wie auch die Ergebnisdatenbank aktualisiert werden.
- Verschiedenen Szenarien können auch nachträglich effizient durchgerechnet werden.

- Weitere Einzugsgebiete können durch Regionalisierung schnell eingebunden werden.
- Da Datenbank und N/A-Modell dieselbe Datenstruktur aufweisen, können nach einer Neuberechnung der Abflussdaten die Ergebnisse direkt in die Datenbank übernommen werden.

## Nachteile des vorgestellten Verfahrens

- Einmalig erhöhter Arbeitsaufwand

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Das durchgeführte Projekt hat gezeigt, dass eine großflächige, regionale Betrachtung der hydrologischen Einflussfaktoren, wie z.B. die Auswertung der Niederschlagsstationen, der Vorbefeuchtung oder der Abflussbeiwerte, große Vorteile bringt. Durch diese regionale Herangehensweise wird eine hohe Kontinuität und Plausibilität bei den Berechnungen gewährleistet. Von dieser Kontinuität gibt es jedoch auch immer wieder Ausreißer, die immer eine detaillierte, losgelöste Betrachtung notwendig machen werden und ein „Vor-Ort“-Expertenwissen erfordern.

Da es sich bei den berechneten Werten um Reinwasserabflusswerte handelt, ist der maßgebliche Wildbachprozess für den Einsatz bei der Gefahrenzonenplanung oder der Projektierung noch zu berücksichtigen.

Durch die Aufbereitung auf Arc-Map-Basis, verbunden mit einer Geodatenbank, kann von der Gebietsbauleitung Steyr-Enns-Gebiet rasch auf die Abflusswerte und mit hoher Qualitätskonformität zugegriffen werden.

Ein wichtiger, jedoch noch offener Schritt ist die Koordinierung der Hochwasserabflusswerte mit dem Hydrografischen Dienst des Landes OÖ.

**Adresse der Verfasser /***Author's address:*

DR. DI Michael Brauner  
 Geoexpert Research & Planning GmbH  
 Brunhildengasse 1  
 A-1150 Wien  
 michael.brauner@geoexpert.at

Dipl.-Ing. Thomas Tartarotti  
 Gebietsbauleitung Steyr-Enns-Gebiet  
 Garnisonstraße 14  
 4560-Kirchdorf a.d. Krems  
 thomas.tartarotti@die-wildbach.at

**Literatur**

BMLFUW, (2006):  
 Bemessungsniederschläge in der Siedlungswasserwirtschaft, Forschungs-  
 projekt Endbericht, BMLFUW, März 2006

GRUBER, H., (2005):  
 Ereignisdokumentation zu den Ereignissen vom Mai und Juli 2005, Interner  
 Bericht WLW

HAO (2007):  
 Hydrologischer Atlas Österreich, Lieferung 2007, Ergänzungsblätter 2.5–7,  
 Wien

HD-Oberösterreich (2005):  
 Hochwasserereignisdokumentation

LÄNGER, E., (1981):  
 Die Hochwasser-Abflussmengen kleiner Wildbacheinzugsgebiete, Wild-  
 bach- und Lawinenverbau, 45. Jg., Heft 1.

MERZ, R., (2006):  
 Wiener Mitteilungen Band 197: Methoden der hydrologischen Regionali-  
 sierung, ÖWAV-Seminar, 18.–19. Mai 2006

WUNDT, W., (1965):  
 Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflussspende in Ab-  
 hängigkeit von der Fläche, Die Wasserwirtschaft, 55. Jg., Heft 1.

**Go ahead...**

**Wir sind Ihr absolut kompetenter Partner bei Planungen, Gutachten und Projektmanagement von...**

- Wildbachverbauungen
- Schutzwasserbauten
- Böschungssicherungen
- Lawinenverbauungen
- Forst- und Güterwegen
- Landschaftspflegerische Begleitplanung
- Speicherteiche
- Schneeanlagengesamtplanung
- Skipistenbau
- Schneileitungssystemen
- Wasser- und Quellsfassungen
- Wasserver- und entsorgung
- schiGIS<sup>®</sup>-Infosystem für Skigebiete
- uvm...

Holzstützverbauung

Forst- und Güterwegplanung

Alperschönbach

**www.klenkhart.at**

**Klenkhart & Partner Consulting**  
 A-6067 Absam · Salzbergstrasse 15  
 Telefon: +43 (0) 50226-0 · Fax: +43 (0) 50226-20  
 e-mail: office@klenkhart.at

**KLENKHART & Partner Consulting**

BRUNO MAZZORANA, CHRISTIAN SCHERER

## Eine Methode zur Ermittlung von nachvollziehbaren Naturgefahrenszenarien

### *A method for the definition of consistent natural hazard scenarios*

#### Zusammenfassung:

Die Qualität und die Nachvollziehbarkeit von Gefahrenbewertungen wird maßgeblich durch die Festlegung von plausiblen und in sich schlüssigen Szenarien, sei es hinsichtlich der Belastungsgrößen für die Untersuchungsräume mit relevantem Schadenspotenzial oder sei es hinsichtlich der möglichen Prozessabläufe in den Schadenswirkungsgebieten, verbessert. Die Erarbeitung von nachhaltigen Schutzkonzepten wird ebenfalls durch eine strukturierte Gefahren- und Risikoinformation, die klar das Kausal- und Wirkungsgefüge der Prozessketten wiedergibt, erleichtert, da gezielt kostengünstige Lösungsvarianten mit hoher Wirksamkeit hinsichtlich der Risikoreduktion für die identifizierten Problembereiche vorgeschlagen werden können. Die entwickelte Methode, deren konzeptioneller Aufbau hier vorgestellt wird, ist ein nützliches Instrument für die Integration des für die Festlegung der Gefahren- und Risikoszenarien, notwendigen, qualitativen und quantitativen Wissens. Durch die Anwendung der Formativen Szenarioanalyse wird die „Plausibilität und innere Kohärenz“ der einzelnen Szenarien bewertet und es werden rational die relevanten Szenarien ausgewählt.

Keywords: Naturgefahren, Risikoanalyse, Formative Szenarioanalyse, Gefahrenzonenplanung

Schlagworte: Naturgefahren, Risikoanalyse, Formative Szenarioanalyse, Gefahrenzonenplanung

#### Summary:

Throughout the whole procedure of risk assessment for hydrologic hazards in regions with high damage potential the construction of well defined, both consistent and reliable, system loading and system response scenarios, is fundamental for the quality and reproducibility of the resulting hazard zone maps. The conceptual design of sustainable protection systems is enhanced by the availability of structured knowledge about hazard and risk and the identification of viable solutions is facilitated either from a risk reduction or from a cost-benefit perspective. The method presented in this paper is a useful tool for integrating qualitative and quantitative knowledge with respect to the determination of hazard and risk scenarios. By applying the Formative Scenario Analysis it is possible to analyze the consistency and plausibility of the single scenarios and to choose the relevant scenarios rationally.

Keywords: natural hazards, risk analysis, formative scenario analysis, hazard zones planning

#### Einleitung

Das Ausmaß der Schäden, die auf extreme Murgang- und Hochwasserereignisse zurückzuführen sind, nahmen in den alpinen Berggebieten ständig zu (Oberndorfer et al., 2007; Autonome Provinz Bozen Südtirol, 2008), trotz beträchtlicher Investitionen zum Schutz der schadensrelevanten Räume (Fuchs und Mcalpin, 2005).

Es ist nicht nur eine wirtschaftliche Herausforderung einen optimalen Schutzgrad vor Naturgefahren sicherzustellen, sondern auch eine gesellschaftliche Aufgabe, eine geordnete Raumentwicklung in alpinen Regionen zu ermöglichen.

Die Stakeholder müssen sich folglich mit dieser komplexen Problematik auseinandersetzen und risikobasiert im Sinne eines integralen Risikomanagements nachhaltig und zukunftssträftig entscheiden. Diese Prinzipien wurden auch in der European Flood Directive (Europäische Kommission, 2007) niedergeschrieben.

Gefahrenzonenkarten stellen für definierte Bemessungsereignisse bestimmter Jährlich-

keiten flächenhaft und klassenunterteilt die Prozessintensitäten dar.

Die Risikozonenkarte resultiert aus dem Verschnitt von Gefahrenzonenkarte mit der Karte der Schadensanfälligkeit (Autonome Provinz Bozen Südtirol, 2008).

Die Genauigkeit der Gefahrenbewertung beeinflusst maßgebend die Zuverlässigkeit der Risikoermittlung. Trotz jahrzehntelanger Erfahrung auf dem Gebiet der Gefahrenzonenplanung in einigen alpinen Regionen sind deren Ergebnisse nicht immer im Einklang mit der Intensität der dokumentierten Extremereignisse (März et al., 2008).

Vor allem morphologische Bachbettveränderungen, die auf Extremereignisse zurückzuführen sind, und Schwemmholttransportprozesse, die im Bereich kritischer Konfigurationen besonders problematisch sind, beeinflussen erheblich das Gefahrenbild (Lyn et al., 2007).

Die nicht selten in der Gefahrenplanung stark vereinfachten Annahmen bezüglich der Sohldynamik, sowie die weitgehende Vernachlässigung des Schwemmholttransportes dürften die Hauptgründe für die oben genannten Diskrepanzen sein.

Es lassen sich bezüglich hydrologischer Gefahren und Wildbachprozesse folgende Unsicherheitsquellen definieren:

1. Unsicherheit bezüglich der Bandbreite reologischen Verhaltens von Wasserfeststoffgemischen bei Murgängen;
2. Unsicherheiten in den Systembelastungsannahmen wie z.B. die Angaben über die Intensitätsdauer der analysierten Gefahren;
3. Unsicherheiten, was die Schutzwirkung der Bauwerke betrifft;
4. Unsicherheiten bezüglich Verklausungsmechanismen an Schwachstellen am Bachverlauf;
5. Unsicherheiten durch die bereits oben genannten Veränderungen der Bachmorphologie;
6. Unsicherheiten bezüglich der Simulationsmodelle. Dieses Thema wird in den Kompendien für das Projekt ETAlp (2003) eingehend diskutiert.

Die Bandbreite der Unsicherheiten kann durch eine nachvollziehbare Methode zur Definition plausibler Gefahrenszenarien eingegrenzt werden.

In dieser Arbeit wird eine Methode vorgestellt, die spezifisch für Wassergefahren die Integration des notwendigen, qualitativen und quantitativen Wissens für die Festlegung der Gefahrenszenarien ermöglicht.

Durch die Anwendung der Formativen Szenarioanalyse wird die Plausibilität und Kohärenz der einzelnen Szenarien bewertet und es werden rational die relevanten Szenarien ausgewählt.

### Begriffsdefinitionen

Einleitend werden wichtige Begriffe zum Verständnis der Struktur des Rahmenwerkes definiert.

Die Richtlinien der Autonomen Provinz Bozen Südtirol definieren unter anderen

folgende wesentliche Bestandteile des Gefahrenzonenplanes:

- a) Karte der Bearbeitungstiefe;
- b) Karte der Phänomene;
- c) Gefahrenzonenkarte;
- d) Karte der Schadensanfälligkeit;
- e) Risikozonenkarte.

Die Gefahrenzonenkarte kann auf Gemeindeebene bzw. gemeindeübergreifend erstellt werden.

Ausgangspunkt unserer Überlegung ist die prozessspezifische Karte der Bearbeitungstiefe, die von der betroffenen Gemeinde (bzw. Gemeinden) und den zuständigen Ämtern festgelegt wird. Die Flächen des Gemeindegebietes werden den folgenden 3 Kategorien zugeordnet:

#### Kategorie a:

Flächen mit starker Urbanisierung und solche, die zu urbanisieren sind. Das sind alle bestehenden und potenziellen Baugebiete sowie bestehende touristische und öffentliche Einrichtungen und Anlagen, für welche der Aufenthalt von Personen vorgesehen ist, und auf jeden Fall alle Flächen, welche sich innerhalb der Abgrenzung der verbauten Ortskerne laut Artikel 12 des Landesgesetzes Nr. 10/1991 befinden, einschließlich des 300-m-Puffers. Die Abgrenzung der verbauten Ortskerne wird eindeutig der Kategorie a zugeordnet; der 300-m-Puffer gilt als primäres Erweiterungsgebiet bzw. als Bauerwartungszone und kann in Abhängigkeit von urbanistischer Relevanz, bekannten Naturgefahren oder von der allgemeinen Sensibilität der Landschaft den Kategorien a bis c zugeordnet werden. Bereits ausgewiesene Notfallflächen des Zivilschutzes (Sammelpplätze, Notunterkünfte, Bereitstellungsflächen) sind nach der Vorgangsweise für Kategorie a zu untersuchen. Sollten kleine Wohnsiedlungen, Einzelhäuser oder Streusiedlungen, welche nicht von vornherein der Kategorie a zugeordnet werden, bekannten Prozessen/Phänomenen unterworfen

sein, so müssen sie nach der Vorgangsweise für Kategorie a untersucht werden.

#### Kategorie b:

Flächen, die einzeln oder nicht bebaut sind und Infrastrukturen und Hauptleitungen von öffentlichem Interesse aufweisen. Das sind unter anderem die Verkehrsflächen außerhalb der Siedlungsgebiete, die Erholungseinrichtungen, die auch im landwirtschaftlichen Grün errichtet werden können, wie z. B. Golf- und Reitplätze, Skipisten, Aufstiegsanlagen, Langlaufloipen und Rodelbahnen, sowie die Hauptversorgungslinien („Lifelines“).

#### Kategorie c:

Flächen und Einrichtungen, die hinsichtlich der Gefahrenzonenplanung nicht von urbanistischem Interesse sind. Das sind die unbebaute natürliche Landschaft sowie die Netzinfrastrukturen (Leitungen) und die Flächen für Infrastrukturen von untergeordneter Bedeutung.

In einem iterativen und interaktiven Prozess zwischen Gemeinde bzw. Gemeinden und zuständigen Ämtern wird aufgrund der Einteilung der Gemeindefläche in den oben genannten Kategorien und aufgrund der vorhandenen Gefahreninformation die prozessspezifische Bearbeitungstiefe der einzelnen Wasserläufe festgelegt.

Die vorhandenen Gefahreninformationen bestehen in den meisten Fällen z.B. aus:

- Gefahrenhinweiskarte (IHR Endbericht, 2007);
- Ereignisdokumentation der Abt. 30;
- Überflutungskarte;
- Datenbank Etsch/Talflüsse;
- Schutzbautenkataster;
- lokalem Wissen der Ortsansässigen.

In diesem Artikel beschränkt man sich auf die Prozesse der Wassergefahren, welche die ausgewiesene Fläche der Kategorie a betreffen und daher mit großer Bearbeitungstiefe (BT05) zu analysie-

ren und mit Modellierungen/Simulationen zur Gefahrenbeurteilung detailliert und erschöpfend zu untersuchen sind.

Es werden hier weiters definiert:

**Auswirkungssystem erster Ordnung:** Gebiete mit hohem Schadenspotenzial und hoher potenzieller Gefahrenbelastung. Typischerweise sind das jene Gebiete die hinsichtlich Wassergefahren genauestens zu untersuchen sind, also die Flächen die der Kategorie a zuzuordnen sind.

Ausgewählte Gebiete der Kategorie b können auch als Auswirkungsgebiete erster Ordnung kategorisiert werden (vergleiche Abb. 1).

**Auswirkungssystem zweiter Ordnung:** Die Auswirkungssysteme zweiter Ordnung werden aus jenen der ersten Ordnung abgeleitet, indem letztere einerseits an die topografischen Randbedingungen, z.B. Schwemmkegelhals, geomorphologische Geländebereiche, angepasst werden und andererseits soweit adaptiert werden, dass nachvollziehbare hydraulische Randbedingungen für die Belastungsgefahren (Hochwasser und Murgang) vorliegen.

Den Umfang der Auswirkungssysteme an hydraulischen Querprofilen zu definieren, an denen gröbere morphologische Veränderungen während der Extremereignisse zu vermuten sind, würde die Unsicherheitsmarge vergrößern.

Ist die Größe der Auswirkungssysteme nicht beliebig wählbar, so sind die Randbedingungen der hydrodynamischen Prozesse weit genug außerhalb des Auswirkungsgebietes zu definieren, damit am Umfang der Auswirkungssysteme plausible Zuflussbedingungen vorliegen.

Die Bereiche des Umfangs der Auswirkungssysteme zweiter Ordnung die vom „Fließvorgang“ der Wassergefahren benetzt werden, werden **Systembelastungsschnittstellen** genannt.

Von den Systembelastungsschnittstellen

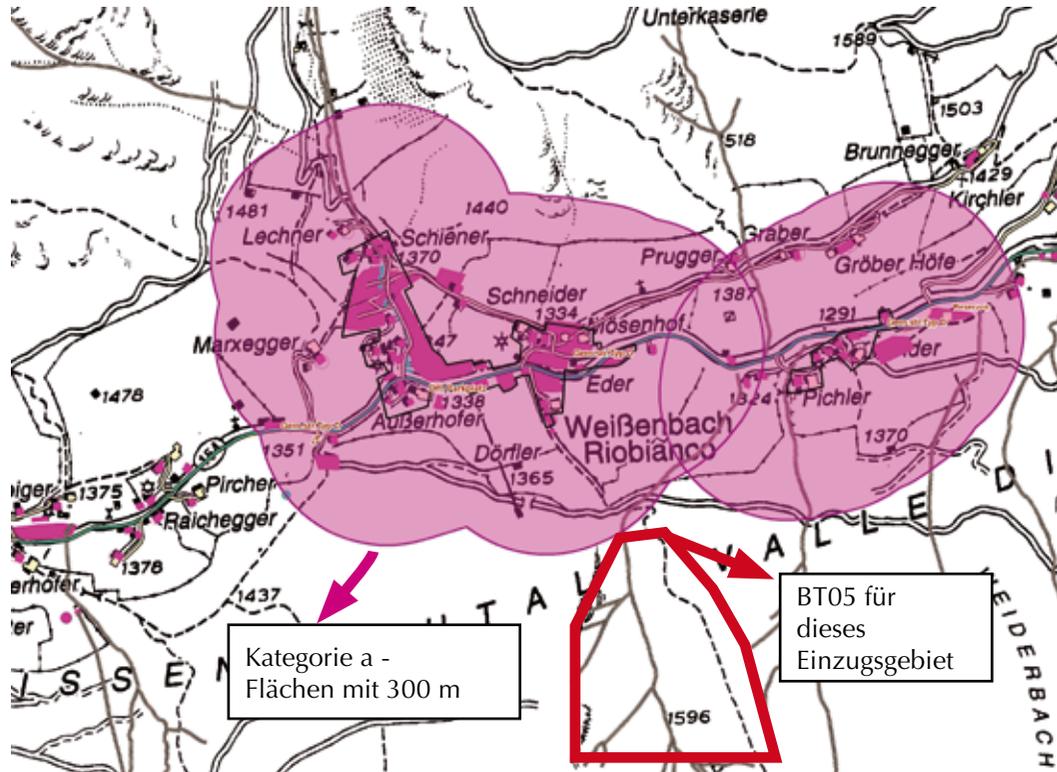


Abb. 1: Definiertes Auswirkungssystem erster Ordnung

Fig. 1: Defined first order response system

bach- und flussaufwärts erfolgt die Definition der hydrologischen **Belastungssysteme**, die als Systemausgang die definierten Schnittstellen haben.

Die Auswirkungssysteme sind über die Systemschnittstellen mit den Belastungssystemen gekoppelt (vergleiche Abb. 2).

### Methode

In den sogenannten Belastungssystemen geht es in erster Linie um die Ermittlung der Belastungsgrößen, wie Abflusskurven, Feststofffrachten, und um die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der Prozessketten im hydrologischen Einzugsgebiet. Die Prozessketten, die zu beschreiben sind, setzen sich zusammen aus Niederschlagszenarien bestimmter Jährlichkeit, Szenarien der Niederschlags- Abflusstransformation und Konzentration

in den hydrologischen Subeinheiten, Feststoffeintrag- und Transportprozesse sowie aus der Interaktion mit den Schutzbauwerken.

Die Bearbeitungstiefe zur Ermittlung der Belastungsgrößen für das Auswirkungssystem ist in den Belastungssystemen je nach Komplexität der Prozessketten und des sich ergebenden Prozess-Routings anzupassen (ETALp, 2003).

In den Auswirkungssystemen müssen die Fließ- und Auswirkungsprozesse mittels Simulationsmodellen berechnet werden. Die in der Einleitung angesprochenen Problematiken kommen hier zu tragen. Die plausible Definition der Randbedingungen, die Beschreibung der Prozessinteraktionen an „Schwachstellen“, wie Brückenquerschnitten, und die Erfassung des Einflusses topografischer Elemente im Überflutungsbereich sind unentbehrlich für die Sicherstellung der Zu-

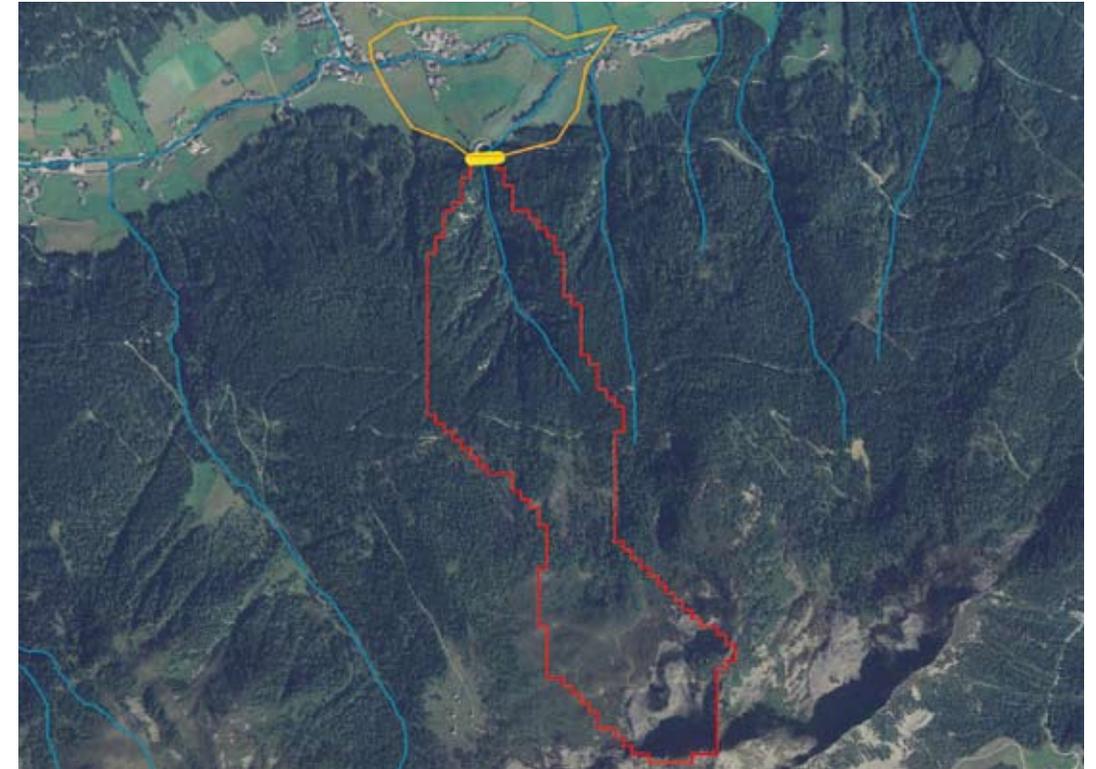


Abb. 2: Definiertes Belastungssystem (rot) und Auswirkungssystem (orange) zweiter Ordnung mit Systembelastungsschnittstelle (gelb)

Fig. 2: Defined loading system (red) and second order response system (orange) with system loading interface (yellow)

verlässigkeit der Simulationsergebnisse.

Die als Simulationsergebnisse vorliegenden Prozessintensitäten sind somit mit den Niederschlagszenarien über ein Kausal- und Wirkungsgefüge verknüpft. Die Übersichtlichkeit der Darstellung dieses Gefüges durch das sogenannte Prozess-Routing (Hübl et al., 2007) erleichtert die Kontrolle der Gefahrenzonenplanung ganz wesentlich. Quellen der Unsicherheit können identifiziert werden und sind somit bekannt.

In einigen Fällen können sie durch vertiefende Studien behoben werden.

Zur Simulation von Hochwassergefahren kann man in bestimmten Fällen auf statistische Auswertungen von Abflussreihen zurückgreifen. Auch hier sei jedoch Vorsicht geboten, was die Extrapolationsergebnisse auf Extremwerte (z.B.

HQ300!) betrifft.

Wir befassen uns jetzt mit der Darstellung des Belastungssystems.

Im hydrologischen Belastungssystem soll die Prozessdynamik vom Niederschlagsinput zum resultierenden Abflussverhalten am Belastungsausgang (= Systembelastungsschnittstelle) nachvollzogen werden. In einem ersten Schritt werden die funktionalen **Subsysteme**, sprich Untereinzugsgebiete, ermittelt. In jedem Subsystem kann man die vollständige Prozesskette vom Niederschlagsinput zum Abflusskurvenoutput an einer definierten Endsektion (= maßgebender hydraulischer Knoten) beobachten.

Jedem Subsystem ist also die Facette der Niederschlags-Abflusstransformation und Konzentration eigen.

Zusätzlich können in jedem Subsystem geomechanische Feststoffeintragsmechanismen (ins Fließgewässersystem) vorkommen. Wir definieren also, falls vorhanden, die Facette der geomechanischen Feststoffeintragsmechanismen und jene der Gerinnetransportprozesse. Der Gefahrenzonenplaner hat diesbezüglich die spezifische Aufgabe das kohärente „Zusammenspiel“ der Stoffflüsse (Wasser, Feststoffe) räumlich und zeitlich zu definieren. In jedem Subsystem werden die wesentlichen hydrologischen Mechanismen beschrieben, die zum Reinwasseroutput aus den Subsystemen führen. Es werden auf GIS-Ebene die Gerinnelemente und Abflusskonzentrationselemente kartiert.

Durch Begehungen, Analysen der Ereignisdokumentation und Luftbildinterpretationen werden die geomorphologischen Feststoffeintragsflächen lokalisiert und eingetragen.

Es wird somit ein grobes abstrahiertes Gerinne- und Feststoffeintragsystem für jedes Untereinzugsgebiet generiert. Die genaue Zuteilung der maßgebenden Feststoffeintrags- und Transportprozesse erfolgt erst in der sogenannten Prozess-Routing-Phase. Die Berücksichtigung der Facette der Gerinnetransportprozesse in diesem Stadium führt vorerst zur Unterteilung der Gerinnelemente in Unterabschnitte aufgrund der vorhandenen geomorphologischen Charakteristika.

Sind diese Schritte für die Subsysteme, sprich Untereinzugsgebiete, vollzogen, werden die Verbindungsstrecken, die analog zu den Gerinnelementen in den Subsystemen zu behandeln sind, eingetragen.

Zwischen den Ausgangsknoten zweier oder mehrerer Subsysteme oder zwischen den Ausgangsknoten eines Gerinnetraktes und eines Subsystems werden **Summationsknoten** definiert. Hier überlagern sich die Intensitäten am Ausgangsknoten der Subsysteme bzw. Gerinnetrakte. Es ist ebenfalls Aufgabe des Prozess-Routings diesen Überlagerungsmechanismus näher zu beleuch-

ten, denn auch in diesem Zusammenhang ist die Plausibilität der Szenarien besonders relevant. Das vorläufige abstrahierte Gerinnesystem wird in der Folge bis zum Ausgangsknoten des Belastungssystems vervollständigt. Eine geeignete Symbolik zur Darstellung des abstrahierten Gerinnesystems findet sich in den Kompendien des ETAlp-Projektes (2003) und in Hübl et al. (2007).

Die Berücksichtigung der Wirkung und Funktionsweise des Schutzsystems ist ein zentraler Aspekt der Gefahrenzonenplanung. Die Trakte des abstrahierten Gerinnesystems, die Schutzbauten (z.B. Konsolidierungssperren, Längswerke, Sperrenstaffelungen, Geschiebedosier- und Sortiersperren) enthalten, müssen eingehend während der Prozes-Routing-Phase hinsichtlich der Funktionsfähigkeit untersucht werden, denn die Beeinflussung des Wirkungsgefüges der Gefahr kann erheblich sein.

#### **Das Prozess-Routing im Belastungssystem: Ein Überblick**

Die Aufschlüsselung des Ablaufes der Prozessketten, die im Belastungssystem stattfinden, also die Darstellung des kausal bedingten Ineinander-greifens und Aufeinanderfolgens der Prozesse, die vom Niederschlagsinput zum Belastungssystemoutput führen, ist für die Qualitätskontrolle der Gefahrenzonenpläne wichtig. Um den Verlagerungsprozess an einem Betrachtungspunkt zu definieren, ist es notwendig die gerinneaufwärts auftretenden Prozesstypen zu bestimmen und diese dann entlang der Gerinnelemente zu routen. In Hübl et al. (2007) ist die Vorgangsweise des Prozess-Routings detailliert behandelt worden und eignet sich für eine unmittelbare Anwendung bei der Erarbeitung der Gefahrenzonenpläne. Das abstrahierte Gerinnesystem und das aufgrund der Prozesstransformationsszenarien (längs der Gerinnelemente) erstellte Geschiebefracht dia-

gramm sind für die Definition der Belastungsgrößen und für die Analysen im Auswirkungssystem vorgesehen. Der Gefahrenzonenplaner richtet somit die Aufmerksamkeit auf jene Schlüsselfaktoren wie Feststoffbereitstellung für die verschiedenen Mobilisierungsvorgänge (Interaktion von hydrologischer und geomechanischer Feststoffeintragsfacette) und jene Faktoren, die die Geschiebetransportdynamik beeinflussen (z.B. Verklausungen, Gerinneerosion). Diese Faktoren werden hier **Prozessänderungsfaktoren** genannt. Die Identifikation der möglichen Verlagerungsprozesse wie Hochwasser, fluviatiler Feststofftransport, murartiger Abfluss und Murgang längs des abstrahierten Gerinnesystems wird durch das Instrument der Formativen Szenarioanalyse (Scholz und Tietje, 2002) unterstützt. Diese Methode ermöglicht die Bewertung der Kohärenz und Plausibilität der erstellten Szenarien und bereichert somit das Instrumentarium für die Gefahrenbewertungen. Die Einarbeitung dieser innovativen Bewertungsmethode für die Ziele und Zwecke der Gefahrenzonenplanung in den Alpenregionen ist eines der zentralen Themen des laufenden EU-Projektes AdaptAlp.

#### **Charakterisierung des Auswirkungssystems**

Auch das Auswirkungssystem ist als Vorbereitung für die durchzuführenden Simulationen zu analysieren. Das Wissen aus der Ereignisdokumentation, aus bereits erstellten geologischen und hydraulischen Gutachten, sowie aus den Begehungsprotokollen soll genutzt werden, um jene kritischen Konfigurationen zu identifizieren, in denen potenziell eine große Bandbreite an Prozessdynamiken auftreten kann. Diese kritischen Konfigurationen können z.B. Brückenquerschnitte und eingedeichte Flusstrecken sein. Auch eine Künette mit geringer Längsneigung kann fallweise zu den kritischen Konfigurationen gezählt werden, zumal Ablagerungsprozesse den verfü-

baren Abflussquerschnitt reduzieren können und unerwartete Übermürungen bzw. Übersarungen induzieren können. Obwohl in dieser Phase noch keine Berechnungen erfolgen, ist qualitativ das Breitenspektrum der möglichen „Systemreaktionen“ zu erfassen.

Diesbezüglich sei als Beispiel der Fall eines eingedeichten Flusses beschrieben. Man nehme an, die Deiche seien streckenweise längs des Deichkontinuums in schlechtem Zustand und könnten, im Zuge eines 30-jährlichen Hochwassers, versagen. Wahrscheinlichkeitstheoretisch bedeutet dies, dass die volle Zuverlässigkeit der Deiche nicht postuliert werden kann. Würde man das Szenario „volle Zuverlässigkeit“ der Deiche annehmen und ein 30-jährliches Belastungshochwasser im Auswirkungsgebiet simulieren, würde die Rechtfertigung der Resultate (ausgewiesene Gefahrenzonen) zumindest problematisch sein, denn dem Ereignis „kein Deichbruch längs des Deichkontinuums“ kann nicht die Wahrscheinlichkeit 1 zugeordnet werden. Das simulierte Szenario (kein Deichbruch) hat demnach eine geringere Wahrscheinlichkeit als jenes des Belastungshochwassers (hier HQ30).

Auch was die Charakterisierung des Auswirkungssystems betrifft, ist die kartographische Darstellung der kritischen Konfigurationen, also jener Schlüsselemente, die erwiesenermaßen (rückwärtsgerichtete Indikation) oder potenziell die „Ausbreitungsmuster der Gefahren“ beeinflussen können, sehr zweckmäßig. Eine grafentheoretische Darstellungsform dieser Sachverhalte wurde von Mazzorana et al. (2008) vorgeschlagen. Der Gefahrenzonenplaner weiß also in der Phase der Gefahrensimulation (Teil der vorwärts gerichteten Indikation), was in den topografischen Datengrundlagen akkurat dargestellt werden sollte und welche Modifikationen am digitalen Geländemodell in besonders „sensiblen“ Bereichen (hinsichtlich möglicher Szenariovielfalt) vorge-

nommen werden sollten. Ist beispielsweise an einem Brückenquerschnitt die Verklausung durch Schwemmholz ein plausibles Szenario, so sollte im sensiblen Bereich das digitale Gerinnemodell dementsprechend modifiziert werden. Die sich auf den Gefahrenzonenplan stützenden Interventionskarten würden diese möglichen Reaktionen mitberücksichtigen und somit eine höhere Qualität aufweisen.

### Die Festlegung der Szenarien

In dieser Arbeit wird die Formative Szenarioanalyse als Methode zur Festlegung der Szenarien, sowohl was die Prozessketten im Belastungssystem als auch was das Prozessgeschehen im Bereich kritischer Konfigurationen im Auswirkungssystem betrifft, verwendet. Obwohl im Prinzip mehrere Methoden zur Szenariodefinition herangezogen werden können, hat die Formative Szenarioanalyse eine Reihe von Vorteilen, u.a.:

1. Strukturierte und nach Möglichkeit partizipierte Vorgehensweise
2. Klare Definition der Schlüsselfaktoren und ihrer Ausprägungen
3. Nachvollziehbarkeit der Bewertung
4. Integration von qualitativem und quantitativem Wissen, d.h. effiziente Wissensverarbeitung
5. Rationale Szenarioauswahl

Das Mitwirken bei der Szenariofestlegung von Experten verschiedener Disziplinen und Fachleuten mit lokalen Kenntnissen ist dem Risikodialog dienlich und führt zu einem großen Wissenserwerb.

Beispielhaft sei hier ein hypothetischer Fall für die Anwendung der Formativen Szenarioanalyse skizziert.

Problembeschreibung: Am Eingangsknoten eines bestimmten Gerinnetraktes im Belastungssystem seien folgende zwei Verlagerungsprozesse möglich: fluvialer Feststofftransport

oder murartiger Abfluss. Die geometrischen Charakteristika (Länge, Breite, Längsneigung, Korngrößen) seien bekannt. An der orografisch rechts gelegenen Böschung und am Hang seien potenziell Feststoffeintragsprozesse möglich. Das Feststoffpotenzial am labilen Hang bzw. an der Böschung ist also ein Schlüsselfaktor, welcher den, am Ausgangsknoten zu erwartenden, Gerinneprozess erheblich beeinflussen kann. Der Ausgangsknoten sei am Kegelhalbes eines stark besiedelten Kegels definiert worden. Im alten Gefahrenzonenplan sei für ein 100-jährliches Niederschlagszenario der Prozesstyp fluvialer Feststofftransport angenommen worden und die Dauer des Feststofftransportprozesses sei aufgrund des Überschreitens eines gewissen Grenzabflusses bestimmt worden und umfasst einen großen Teil des aufsteigenden und fallenden Astes des Reinwasserhydrogramms. Die Simulationen führten zur Ausscheidung von ausgedehnten roten und blauen Zonen im unteren Kegelbereich. Die Durchflusskapazität der eigentlich auf ein 100-jährliches Reinwasserereignis bemessenen Künette sei weit überschritten worden und die Übersarungsprozesse in diesem Bereich seien der logisch zu erwartende Folgeprozess gewesen. Das Schadenspotenzial im übersarten Bereich sei gering gewesen. Im oberen Bereich des Schwemmkegels habe das natürliche Gerinne eine größere Durchflusskapazität, deshalb hätten hier keine Übersarungen stattfinden können. Diesen Gefahrenzonenplan berücksichtigend habe die Gemeinde weitere Flächenwidmungen für Siedlungszwecke im oberen Kegelbereich im Bauleitplan vorgenommen. Die Investitionen seien getätigt worden und die Siedlungsstrukturen seien dort schnell entstanden. Die kleineren Ereignisse die dokumentiert wurden, hätten jedoch auf ausgeprägte Auflandungstendenzen bei murartigem Verhalten im eher flachen Naturgerinne am Kegel hingewiesen. Dieser hypothetische Fall zeigt recht deutlich potenzielle Quellen der

Fehleinschätzung. Im Belastungssystem könnte die Herleitung der Prozessintensitäten lückenhaft gewesen sein und wichtige Aspekte könnten vernachlässigt worden sein. Es besteht also der Verdacht, dass die Darstellung der Gefahr ebenfalls mit einer Fehlerquote behaftet sein könnte. Mit Hilfe der Formativen Szenarioanalyse sei nun ein Kernproblem im Belastungssystem behandelt. Das Problem betrifft den Feststoffeintrag vom Hang und von den Böschungen längs des untersuchten Gerinnetraktes, da eigentlich der Prozesstyp Murgang in diesem Fall nicht nur von der Menge der bereitgestellten Feststoffe, sondern auch von der Bereitstellungsintensität abhängig ist. Vergleiche folgendes Schema (Abb. 3).

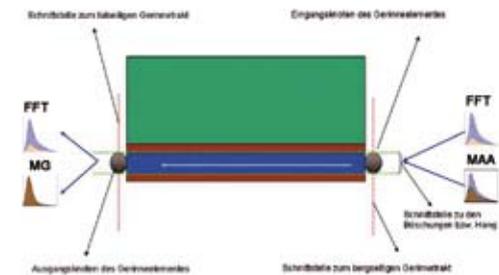


Abb. 3: Schematisierung des Problems

Fig. 3: Problem Sketch

Zur Ermittlung plausibler Belastungsszenarien am Schwemmkegel wurde ein Expertenteam beauftragt, unter Zuhilfenahme der Formativen Szenarioanalyse den Problemfall zu analysieren. Die relevanten Schlüsselfaktoren (*key variables*) sind in Tabelle 1 (Tab. 1, siehe Anhang) angeführt. Ebenfalls sind in Tabelle 1 für jeden Schlüsselfaktor die dementsprechenden *Impact Levels* angeführt.

Die formative Szenarioanalyse sieht vor, Paare von *Impact Levels* verschiedener Schlüsselfaktoren miteinander zu vergleichen und jedem Paar werden Konsistenzzahlen (*consistency ratings*) je nach Verträglichkeit der *Impact Levels* zueinander zugeteilt. Zum Verständnis wird in Tabelle 2 ein Ausschnitt der Konsistenzmatrix

(*consistency matrix*) dargestellt (Tab. 2, siehe Anhang). Die mögliche Konsistenzzahlen (*consistency ratings*) sind wie folgt definiert worden: totale Inkompatibilität -99, teilweise kompatibel 1 und kompatibel 3.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich und logisch zu erwarten, ist ein murartiger Abfluss (d<sub>1,2</sub>) mit einer Berechnungsformel nach Mayer-Peter und Müller (d<sub>3,1</sub>) nicht kompatibel (-99). Als kompatibel gilt z.B. ein Sedimentoutput nach Takahashi (d<sub>13,4</sub>) mit Murgang als Transportprozess (d<sub>12,3</sub>). Der nächste Schritt ist die Herausfilterung der plausiblen Szenarien. Es sind jene Szenarien darunter zu verstehen, die den höchsten Kompatibilitätsindex aufweisen. Der Kompatibilitätsindex (*additive consistency value*) errechnet sich aus der Summe der Kompatibilitätszahlen zwischen den zum jeweiligen Szenario gehörenden Paaren von *Impact Levels* verschiedener Schlüsselfaktoren. Tabelle 3 (Tab. 3, siehe Anhang) zeigt das Prozedere.

Alle Konsistenzzahlen (*consistency ratings*) der gekoppelten *Impact Levels* werden zum Konsistenzindex (*additive consistency value*) des Szenarios aufsummiert. Der Konsistenzindex für das plausibelste Szenario beträgt hier 166 Punkte. Das Szenario lautet:

1. Dominanter Inputprozess → murartiger Abfluss;
2. Verlagerungsprozessdauer nur im Bereich der Abflussmaxima;
3. Transportformel nach Tognacca;
4. die Transportkapazität ist am bergseitigen Knoten ausgelastet;
5. der Geschiebeeintrag erfolgt aus dem Böschungsbereich;
6. der Konnex zu den Geschiebeeintragsquellen ist vorhanden;
7. große Menge an mobilisiertem Volumen;
8. Erosion im Gerinnetrakt;
9. kurzfristige Mobilisierungszeit;

10. teilweise gegebener Synchronismus der Prozessmaxima;
11. Murgang als dominanter Outputprozess;
12. Transportformel nach Takahashi;
13. Anwendung der Transportformel nach Takahashi im zeitlichen Bereich der Reinwassermaxima.

Von der Problemstellung ist jedoch bekannt, dass am bergseitigen Knoten des Gerinnetraktes auch fluvialer Feststofftransport als dominanter Inputprozess möglich ist. Das Ergebnis der Szenarioanalyse zeigt in diesem Falle, dass am Systemausgang eine tendenzielle Verschärfung des Feststofftransportes möglich ist, obwohl der dominante Prozess weiterhin fluvialer Feststofftransport ist. Quantifiziert wird diese Intensivierung des Prozesses mittels einer geeigneten Formel zur Berechnung der Transportkapazität. Die volle und ausgereifte Anwendung (Scholz und Tietje, 2002) der Formativen Szenarioanalyse, im Unterschied zur hier vorgestellten gestrafften Version, wird im AdaptAlp-Projekt für Naturgefahrenproblematiken erfolgen.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Qualität und Nachvollziehbarkeit der Gefahrenzonenpläne ist einerseits direkt abhängig von der Schlüssigkeit der erstellten Szenarien, die das kausale Wirkungsgefüge, ausgehend von Niederschlagsintensitäten bestimmter Jährlichkeit und Dauer bis zu den stattfindenden Gerinneprozessen an den Systembelastungsschnittstellen, beschreiben. Andererseits ist die Ermittlung und Festlegung des Prozessgeschehens im Auswirkungssystem (Szenarien) für die Erfassung der Gefahrenintensitäten von zentraler Bedeutung. In diesem Artikel wurde ein fundierter Weg zum Verständnis des Zusammenwirkens der verschiedenen Schlüsselfaktoren, die das Ausmaß der Ge-

fahren beeinflussen, vorgeschlagen. Dieser Ansatz sieht die klare Unterscheidung zwischen Belastungs- und Auswirkungssystem vor. Durch das Prozess-Routing, anhand einer zweckmäßigen Darstellung des abstrahierten Gerinnesystems, werden die relevanten Gefahrenszenarien für die, zu untersuchenden, Auswirkungssysteme definiert. Die Formative Szenarioanalyse ermöglicht eine systematische Herangehensweise, um komplexe Sachverhalte zu strukturieren und ihre Dynamik zu interpretieren. Anhand eines hypothetischen, aber durchaus realistischen Fallbeispiels, wurde die Plausibilität verschiedener Szenarien untersucht. Die kartografische Erfassung der kritischen Konfigurationen im Auswirkungssystem, also jener Schlüsselemente die erwiesenermaßen oder potenziell die „Ausbreitungsmuster der Gefahren“ beeinflussen können, ist ein weiteres Hilfsmittel zur systematischen Durchführung der Simulationen und Gefahrenbewertungen. Die Einarbeitung dieser Ideen ist ein zentrales Thema des laufenden EU-Projektes AdaptAlp.

## Anhang

$d_i$	Schlüsselfaktoren	$d_{i,j}$	Impact Levels
$d_1$	dominanter Inputprozess am bergseitigen Abflussknoten	$d_{1,1}$	FFT – fluvialer Feststofftransport
		$d_{1,2}$	MAA – murartiger Abfluss
		$d_{2,1}$	Großteil der Dauer
$d_2$	Verlagerungsprozessdauer/Abflussdauer (INPUT)	$d_{2,2}$	nur im Maximum-Bereich
		$d_{3,1}$	MPM – Mayer-Peter-und-Müller-Formel
$d_3$	TRANSPORKAPAZITÄT am bergseitigen Abflussknoten	$d_{3,2}$	SJ – Smart-und-Jaeggi-Formel
		$d_{3,3}$	TO – Tognacca-Formel
		$d_{4,1}$	ausgelastet
$d_4$	Auslastung Transportkapazität am bergseitigen Abflussknoten	$d_{4,2}$	Hypo – nicht ausgelastet
		$d_{5,1}$	aus Gerinnesohle
$d_5$	Geschiebequellen längs des Untersuchungstraktes	$d_{5,2}$	aus Böschungsbereich
		$d_{5,3}$	vom Hang
		$d_{6,1}$	ja, sicher
$d_6$	Konnektivität (connectivity) zum Gerinne der Geschiebequellen	$d_{6,2}$	teilweise
		$d_{6,3}$	kein Konnex
		$d_{7,1}$	klein
$d_7$	Mobilisiertes Volumen	$d_{7,2}$	mittel
		$d_{7,3}$	groß
		$d_{8,1}$	Erosion
$d_8$	Maßgebender Prozess im Gerinnetrakt	$d_{8,2}$	Nullstrecke- Gleichgewicht
		$d_{8,3}$	Ablagerung
		$d_{9,1}$	kurzfristig
$d_9$	Mobilisierungszeit	$d_{9,2}$	mittelfristig
		$d_{10,1}$	gegeben
		$d_{10,2}$	teilweise
$d_{10}$	Synchronismus der Prozessmaxima (Hang $\leftrightarrow$ Gerinnetrakt)	$d_{10,3}$	nein
		$d_{11,1}$	FFT-out – fluvialer Feststofftransport im Output
		$d_{11,2}$	MAA-out – murartiger Abfluss im Output
$d_{11}$	dominanter Outputprozess am talseitigen Abflussknoten	$d_{11,3}$	MG-out – Murgang im Output
		$d_{12,1}$	MPM – Mayer-Peter-und-Müller-Formel
		$d_{12,2}$	SJ – Smart-und-Jaeggi-Formel
$d_{12}$	Sedimentoutput am talseitigen Abflussknoten	$d_{12,3}$	TO – Tognacca-Formel
		$d_{12,4}$	TA – Takahashi-Formel
		$d_{13,1}$	gesamte Dauer
$d_{13}$	Verlagerungsprozessdauer/Abflussdauer (OUTPUT)	$d_{13,2}$	nur im Maximumbereich

Tab. 1: Definition der Schlüsselfaktoren und der Impact Levels

Tab. 1: Definition of the key factors and the impact levels

			FFT	MAA	MPM	SJ	TO	....	FFT-out	MAA-out	MG-out	MPM	SJ	TO	TA
d <sub>1</sub>	Schlüsselfaktoren	d <sub>1,j</sub>	d <sub>1,1</sub>	d <sub>1,2</sub>	d <sub>3,1</sub>	d <sub>3,2</sub>	d <sub>3,3</sub>	....	d <sub>1,1,1</sub>	d <sub>1,1,2</sub>	d <sub>1,1,3</sub>	d <sub>1,2,1</sub>	d <sub>1,2,2</sub>	d <sub>1,2,3</sub>	d <sub>1,2,4</sub>
d <sub>1</sub>	dominanter Inputprozess am bergseitigen Abflussknoten	d <sub>1,1</sub>						....							
		d <sub>1,2</sub>						....							
d <sub>2</sub>	Verlagerungsprozessdauer/Abflussdauer (INPUT)	d <sub>2,1</sub>	3	-99				....							
		d <sub>2,2</sub>	-99	3				....							
d <sub>3</sub>	TRANSPORKAPAZITÄT am bergseitigen Abflussknoten	d <sub>3,1</sub>	3	-99				....							
		d <sub>3,2</sub>	3	1				....							
		d <sub>3,3</sub>	-99	3				....							
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
d <sub>11</sub>	dominanter Outputprozess am talseitigen Abflussknoten	d <sub>11,1</sub>	3	-99	3	3	-99	....							
		d <sub>11,2</sub>	1	3	-99	-99	3	....							
		d <sub>11,3</sub>	1	1	-99	-99	3	....							
d <sub>12</sub>	Sedimentoutput am talseitigen Abflussknoten	d <sub>12,1</sub>	3	-99	1	-99	-99	....	3	-99	-99				
		d <sub>12,2</sub>	1	1	1	3	-99	....	3	-99	-99				
		d <sub>12,3</sub>	1	3	-99	1	3	....	-99	3	1				
		d <sub>12,4</sub>	1	3	-99	1	3	....	-99	1	3				

Tab. 2: Konsistenzmatrix (consistency matrix) mit Konsistenzzahlen (consistency ratings)

Tab. 2: Consistency matrix with consistency ratings

			MAA	nur im Maximumbereich	TO	ausgelastet	aus Böschungsbereich	vom Hang	ja, sicher	teilweise	mittel	groß	Erosion	Ablagerung	kurzfristig	teilweise	MAA-out	MG-out	TO	TA	
		d <sub>1,2</sub>																			
		d <sub>2,2</sub>																			
d <sub>1,1</sub>	FFT																				
d <sub>1,2</sub>	MAA																				
d <sub>2,2</sub>	nur im Maximumbereich	3																			
d <sub>3,3</sub>	TO	3	3																		
d <sub>4,1</sub>	ausgelastet	1	3	1																	
d <sub>5,2</sub>	aus Böschungsbereich	1	1	1	3																
d <sub>5,3</sub>	vom Hang	1	1	1	3																
d <sub>6,1</sub>	ja, sicher	3	1	1	3	3	1														
d <sub>6,2</sub>	teilweise	3	3	1	1	1	1														
d <sub>7,2</sub>	mittel	1	1	1	3	3	1	1	1												
d <sub>7,3</sub>	groß	3	1	1	3	1	3	3	1												
d <sub>9,1</sub>	Erosion	3	3	3	1	3	1	1	1	1	1										
d <sub>9,3</sub>	Ablagerung	3	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1									
d <sub>10,1</sub>	kurzfristig	3	3	3	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1							
d <sub>11,2</sub>	teilweise	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
d <sub>12,2</sub>	MAA-out	3	3	3	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3					
d <sub>12,3</sub>	MG-out	1	3	3	1	3	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3					
d <sub>13,3</sub>	TO	3	3	3	3	3	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1			
d <sub>13,4</sub>	TA	3	3	3	3	3	1	3	1	1	3	3	1	3	1	1	3				
d <sub>14,2</sub>	nur im Maximumbereich	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Tab. 3: Herausfilterung plausibler Szenarien

Tab. 3: Identification of plausible scenarios

**Adresse der Verfasser /***Author's address:*

Bruno Mazzorana  
Abteilung Wasserschutzbauten der Autonomen  
Provinz Bozen –Südtirol, Cesare Battisti Straße  
Nr.23, 39100 Bozen  
Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)  
Universität für Bodenkultur, Wien

Christian Scherer  
Ingenieurbüro Obrist und Partner  
Paterbichl Nr.2, 39052 Kaltern (BZ)

**Literatur**

ARMANINI, A., and LARCHER, M.:  
Rational criterion for designing opening of slit-check dam, Hydraulic Engineering, 127 (2), 94-104, 2001.

AUTONOME PROVINZ BOZEN-SÜDTIROL:  
Informationssystem zu hydrogeologischen Risiken, Methodischer Endbericht, Bozen: Autonome Provinz Bozen-Südtirol, 2008.

AUTONOME PROVINZ BOZEN-SÜDTIROL:  
Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR), 2008.

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. and VOLK, G.,:

DIS-ALP. Disaster information system of alpine regions, Final report, unpublished, 2007.

BEZZOLA, G. and HEGG, C.:  
Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung, Bern und Birmensdorf, Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2007.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES:  
Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, European Commission, 2007.

DIEHL, T.:  
Potential drift accumulation at bridge, Washington, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Research and Development, Turner-Fairbank Highway Research Center, 1997.

DUCOT, C. and LUBBEN, J.:  
A typology of scenarios, Futures, 12, 49-57, 1980.

ETALP – KOMPENDIEN:  
Erosion, Transport in Alpinen Systemen, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien, 2003.

FUCHS, S. and MCALPIN, M.:  
The net benefit of public expenditures on avalanche defence structures in the municipality of Davos, Switzerland, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5 (3), 319-330, 2005.

GODET, M.:  
The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls, Technological Forecasting and Social Change, 65, 3-22, 2000.

HÜBL, J., FUCHS, S., AGNER, P.:  
Optimierung der Gefahrenzonenplanung: Weiterentwicklung der Methoden der Gefahrenzonenplanung; IAN Report 90; Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien (unveröffentlicht), 2007.

KAHN, H. and WIENER, A.:  
The Year 2000: A framework for speculation on the next thirty-three years, Macmillan, New York, 1967.

LYN, D., COOPER, T., CONDON, D. and GAN, L., 2007.:  
Factors in debris accumulation at bridge piers. , Washington, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Research and Development, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2007.

MAZZORANA, B. and FUCHS, S.:  
A Fuzzy Formative Scenario Analysis modelling framework for natural hazard management, Environmental Modelling & Software, in press.

MERZ, B., KREIBICH, H. and APEL, H.:  
Flood risk analysis: Uncertainties and validation, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 60 (5-6), 89-94, 2008.

O'BRIEN, F. and DYSON, R.:  
Supporting strategy – Frameworks, methods and models, John Wiley and Sons, Chichester, 2007.

OBERNDORFER, S.; FUCHS, S.; RICKENMANN, D. and ANDRECS, P.:  
Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbacherereignissen in Österreich, BFW, Wien, 2007.

PATÉ-CORNELL, E.:  
Uncertainty in risk analysis: Six levels of treatment, Reliability Engineering and System Safety, 54 (2-3), 95-111, 1996.

SCHOLZ, R. and TIETJE, O.:  
Formative scenario analysis, edited by Scholz, R. and Tietje, O., Embedded case study methods, Sage, Thousand Oaks, 79-116, 2002.

TIETJE, O.:  
Identification of a small reliable and efficient set of consistent scenarios, European Journal of Operational Research, 162, 418-432, 2005.

**Wir sichern und kultivieren die Erde**

Hang- u. Böschungssicherung

Steinschlagschutz

Stützbauwerke

Steilwälle

Wasserbau

Entwässerung

u.v.m.

**J. Krismer  
Handelsges.m.b.H.**

Bundesstraße 23  
A - 6063 Innsbruck-Rum

Telefon +43 512 263800  
Fax +43 512 263819  
krismer.hg@EUnet.at

[www.krismer.com](http://www.krismer.com)



**i.n.n.** | **naturraum - management**  
ingenieurgesellschaft  
geoinformatik  
geotechnik  
risk-management recht

ingenieurgesellschaft für naturraum-management  
GmbH & Co KG

Grabenweg 3a  
A-6020 Innsbruck

Tel: +43-512-342725

Fax: +43-512-342725-11

mailto: r.unterasinger@inn.co.at

optional: office@inn.co.at

web: www.inn.co.at

MICHELLE BOLLSCHWEILER, MARKUS STOFFEL

## Jahrringe und Naturgefahren Wie und wo können Bäume bei der Gefahrenbeurteilung helfen?

### *Tree rings and natural hazards Where and how can trees help hazard assessment?*

#### Zusammenfassung:

Für eine Beurteilung von Gefahren und Risiken durch geomorphologische Prozesse sind profunde Kenntnisse zur aktuellen wie auch vergangenen Ereignisaktivität erforderlich. Da derartige Daten meist nur sehr spärlich vorhanden sind, müssen Grundlagen zur vergangenen Aktivität erarbeitet werden. Wenn Bäume durch einen geomorphologischen Prozess beeinträchtigt wurden, registrieren sie die Störung in ihrem Jahrringbild. Durch die Untersuchung solcher Bäume lassen sich vergangene Ereignisse jahrgenau datieren und ihre räumliche Ausdehnung bestimmen. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie Jahrringuntersuchungen durchgeführt und welche Informationen aus den Jahrringserien für die Gefahren- und Risiko- beurteilung gezogen werden können.

#### Summary:

*A profound knowledge of current as well as past events is an important prerequisite for assessing the hazards and risks posed by geomorphic processes. As data on past events is normally scarce, methods are needed in order to reconstruct previous activity. Trees that have been influenced by past geomorphic events record this impact in their tree-ring series. By analyzing this impact, past events can be dated accurately to within one year and their spatial extent can be determined. In this article, we illustrate how tree-ring analyses are performed and what kind of information they can provide for the assessment of hazards and risks.*

#### Einleitung

Massenbewegungen wie Lawinen, Murgänge oder Steinschlag stellen ein beachtliches Gefahrenpotenzial in zahlreichen Berggebieten dar. Durch den zunehmenden Bevölkerungsdruck, die damit verbundene Ausdehnung der menschlichen Besiedelung im Alpenraum sowie durch das sich ändernde Klima wird ein besseres Verständnis von Naturgefahrenprozessen immer wichtiger. Um Infrastruktur und Menschenleben vor Naturgewalten zu schützen, müssen nebst Raumplanungs- auch geeignete Schutzmaßnahmen realisiert werden. Die Art der Maßnahme sowie die Lokalisierung und Dimensionierung von Schutzbauten müssen an den jeweiligen Standort angepasst werden. Dazu sind detaillierte Kenntnisse zur Prozessgeschichte am Standort vonnöten – Archivdaten zu früheren Ereignissen sind jedoch mit großer Regelmäßigkeit nur sehr spärlich vorhanden und meist auch lückenhaft.

Aus diesem Grund müssen andere Ansätze herangezogen werden, um diese Datenlücke zu schließen. Eine Möglichkeit, Kenntnisse zu vergangenen Ereignissen an einem Standort zu gewinnen, bietet die Untersuchung von Jahrrings-

erien geschädigter Bäume, die sogenannte Den-drogeomorphologie (Alestalo 1971). Bäume, die durch Massenbewegungen getroffen werden, reagieren auf eine Störung mit Wachstumsänderungen, die sich jahrgenau und manchmal sogar mit monatlicher Auflösung datieren lassen (z. B. Bollschweiler et al. 2007, 2008, Stoffel et al. 2008).

In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie Jahrringuntersuchungen zur Rekonstruktion geomorphologischer Prozesse durchgeführt werden und wie und wo die Methode bei der Gefahren- und Risikoanalyse helfen kann. Anhand zweier Fallbeispiele werden die Anwendungsmöglichkeiten der Methode sowie die Grenzen des Ansatzes dargelegt.

#### Wie reagieren Bäume auf geomorphologische Prozesse?

In unseren Breiten bilden Bäume jedes Jahr einen Jahrring aus, dessen Breite hauptsächlich von äußeren Faktoren wie Klima und Standorteinflüssen (Nährstoffe, Wasserverfügbarkeit, Bodencharakteristika, Konkurrenz, usw.) bestimmt wird. Diese Einflussfaktoren sind für Bäume desselben Standorts vergleichbar, so dass sich ein für die Lokalität

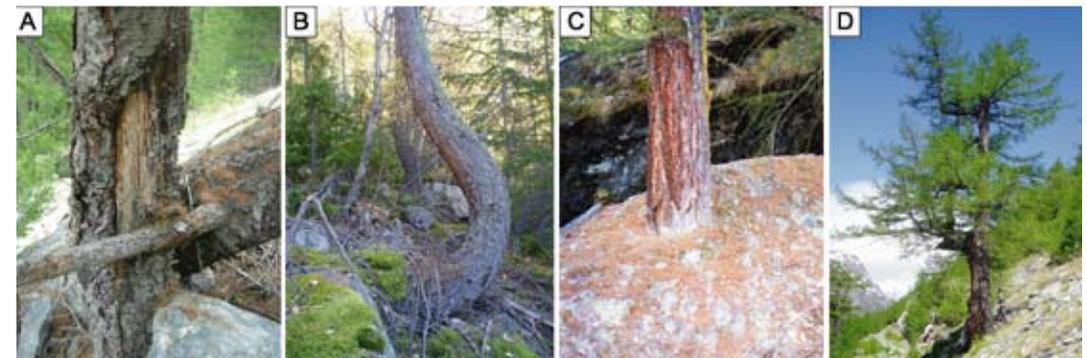


Abb. 1: Äußerlich sichtbarer Einfluss geomorphologischer Prozesse auf Bäume. A. Verletzung durch Steinschlag. B. Schrägstellung der Stammachse durch eine Lawine mit anschließender Reaktion des Baumes. C. Einsedimentierung des Stammfußes durch einen Murgang. D. Köpfung des Baumes durch Steinschlag.

*Fig. 1: Visible growth defects on trees influenced by geomorphic processes. A. Damage caused by rockfall. B. Inclination of trunk caused by a snow avalanche with subsequent reaction of the tree. C. Burial of trunk base caused by a mud avalanche. D. Decapitation of tree through rockfall*

typisches Wachstumsmuster ergibt (Schweingruber 1996). Zusätzlich können Bäume durch mechanische Störungen infolge Massenbewegungen beeinflusst werden, was sich in einer Abweichung vom normalen Wachstumsmuster auswirkt. Aufgrund dieser Anomalien lassen sich entsprechend auch Massenbewegungen datieren (Stoffel und Bollschweiler 2008a).

Geomorphologische Prozesse wie Murgänge, Lawinen, Steinschlag oder Rutschungen führen zu äußeren Merkmalen wie Verletzungen, Schrägstellung der Stammachse, Zuschüttung des Stammfußes oder auch Kandelaberwuchs (Abb. 1). Zusätzlich zur äußerlich sichtbaren Störung reagiert der Baum mit anormalem Breitenzuwachs und mit spezifischen anatomischen Abweichungen im Holz.

Ein Baum, der eine Verletzung aufweist, wird versuchen diese so rasch wie möglich komplett zu schließen. Dazu bildet er sogenanntes Kallusgewebe aus, das für den Verschluss der Wunde zuständig ist. Gleichzeitig bilden Nadelbäume zum Schutz vor Insekten und anderen äußeren Störungen tangentielle Harzkanalreihen aus (Abb. 2A). Da diese Harzkanalreihen unmittelbar nach der Verletzung ausgebildet werden,

eignen sie sich hervorragend zur Datierung von Ereignissen. Auch wenn auf der Stammoberfläche die Spuren der Verletzung bereits verschwunden sind, lassen sich durch die Harzkanalreihen längst überwachsene Verletzungen datieren.

Murmaterial sowie die Feststofffracht von Bächen und Flüssen können die Basis von Bäumen verschütten. In einem einsedimentierten Stamm ist der Nähr- und Sauerstofftransport reduziert, was sich im Jahrringbild durch geringeren Zuwachs und somit schmalere Jahrringe äußert (Abb. 2B). Eine Zuwachsreduktion tritt ebenfalls auf, wenn ein Baum seine Krone oder wichtige Äste verliert, da die Photosynthese nicht mehr in demselben Maße gewährleistet ist.

Einseitiger Druck auf die Stammachse oder eine Destabilisierung des Untergrundes kann zu einer Schrägstellung des Baumes führen. Nadelbäume reagieren auf die Kippung, indem sie auf der Stammunterseite mehr Holz mit stärkeren Zellwänden (sogenanntes Druckholz) ausbilden. Durch die zusätzliche Holzproduktion auf der Stammunterseite wird sich der Baum im Laufe der Jahre wieder aufrichten und sein vertikales Wachstum zurückgewinnen (Abb. 2C).

Größere Ereignisse können Bäume und

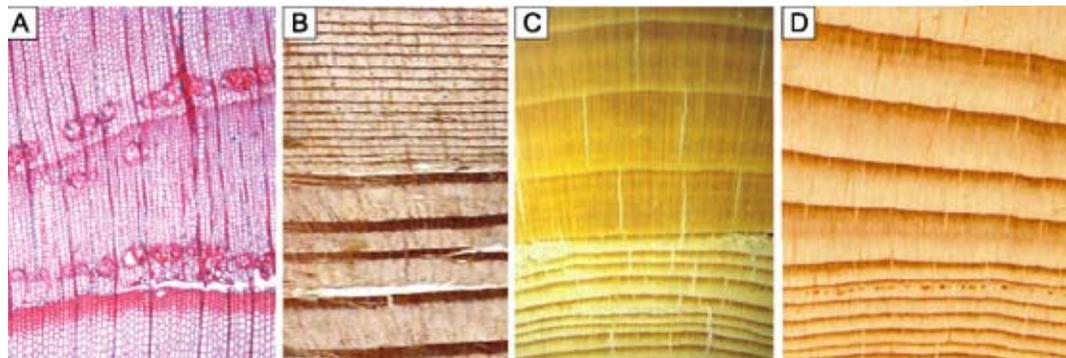


Abb. 2: Wachstumsreaktionen von Bäumen infolge geomorphologischer Ereignisse (die Wachstumsrichtung des Baumes auf den Abbildungen ist jeweils von unten nach oben). A. Verletzung mit angrenzenden traumatischen Harzkanalreihen. B. Markanter Wachstumsseinbruch nach einer Einsedimentierung der Stammbasis. C. Druckholzbildung nach einer Schrägstellung der Stammachse. D. Wachstumsschub nach Eliminierung von Nachbarbäumen.

Fig. 2: Growth reactions of trees after geomorphic events (the growth of the tree in each figure runs from bottom to top). A. Damage with bordering rows of traumatic resin ducts. B. Distinct growth decrease after burial of the trunk base. C. Formation of compression wood after inclination of the trunk. D. Growth increase after the removal of neighbouring trees

Waldabschnitte gänzlich eliminieren. Überlebende Bäume am Rande des Einflussbereiches von Ereignissen profitieren von den plötzlich besseren Wachstumsbedingungen (mehr Licht, mehr Nährstoffe). Als Folge davon kann im Jahrringbild ein markanter Zuwachs beobachtet werden (Abb. 2D).

### Arbeitsmethoden in der Dendrogeomorphologie

Eine dendrogeomorphologische Untersuchung beginnt im Gelände, wo in einem ersten Schritt der geomorphologische Prozess identifiziert wird. In der Folge werden die Ablagerungen und Einflussgebiete des Prozesses detailliert kartiert. Auf der Grundlage dieser Karte werden Bäume beprobt, die offensichtliche Merkmale einer Beeinflussung durch den Prozess aufweisen. Bei der Beprobung werden in der Regel Zuwachsbohrer verwendet,

mit welchen ein Bohrkern mit einem Durchmesser von 6 mm gezogen wird. Dieser stellt einen punktuellen Querschnitt durch den Stamm dar. Alternativ können mit einer Hand- oder Ketensäge ganze Stammscheiben von Bäumen gesägt werden, sofern eine destruktive Beprobung erlaubt ist.

Die Proben werden alsdann im Labor getrocknet und geschliffen, bevor in einem nächsten Schritt die Jahrringe gezählt, die Jahrringbreiten am Computer eingemessen sowie Wachstumsreaktionen unter dem Mikroskop identifiziert werden. Bäume mit simultan auftretenden Reaktionen werden auf der geomorphologischen Karte notiert, so dass die räumliche Ausdehnung einzelner Ereignisse aufgezeigt werden kann. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf das räumliche Verhalten sowie die Reichweite von Ereignissen ziehen.

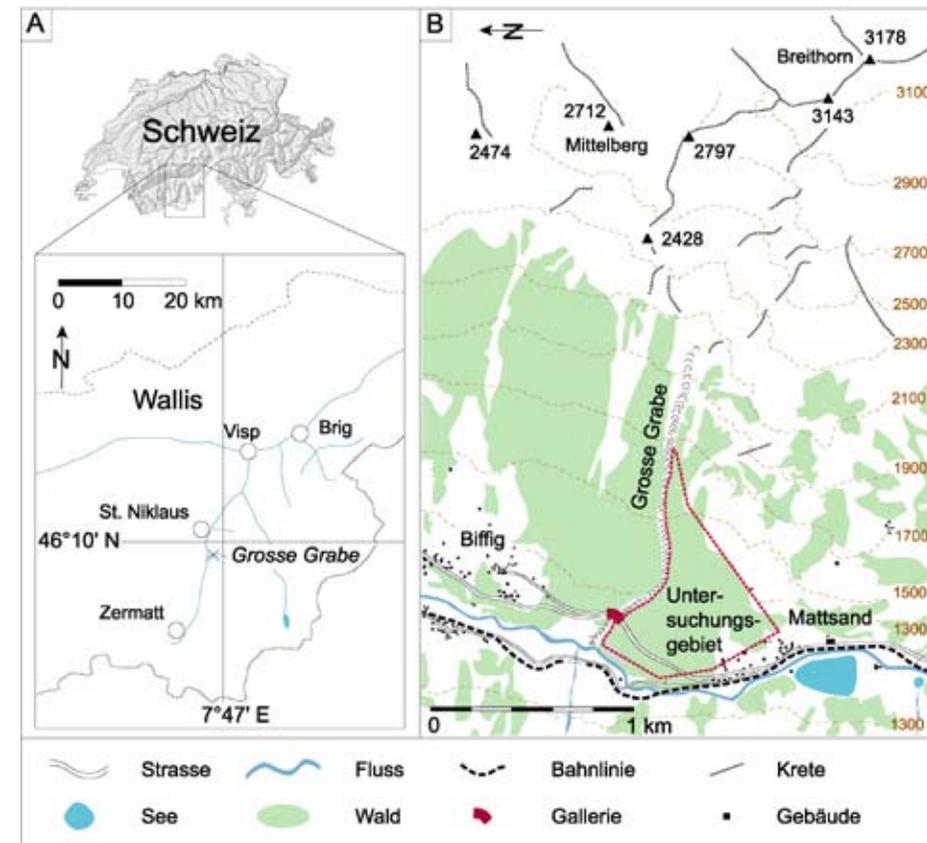


Abb. 3: A. Geographische Lage des Untersuchungsgebietes Grosse Grabe. B. Eine Hauptstrasse führt über den Kegel des Grosse Grabe und ist durch eine Galerie geschützt.

Fig. 3: A. Geographical location of the study site Grosse Grabe. B. A main road crosses the cone and is protected with a gallery

## Was können Bäume über vergangene Ereignisse aussagen?

Die Untersuchung von Jahrringserien erlaubt es, zahlreiche Informationen zu vergangenen Ereignissen zu gewinnen (Stoffel und Bollschweiler 2008b). Eine erste wichtige Anwendung ist sicherlich die Rekonstruktion von Ereignisfrequenzen (**wie häufig?**). Für die Maßnahmenplanung ist es grundlegend zu wissen, ob ein Ereignis sehr regelmäßig auftritt oder ob die Wiederkehrperiode sehr groß ist.

Die Position der Bäume im Gelände, die Wachstumsreaktionen auf ein bestimmtes Ereignis zeigen, erlaubt es, Aussagen zur Ausbreitung (**wo?**) sowie zur Reichweite (**wie weit?**) des Prozesses im Gelände anzustellen. Zudem lässt sich in den meisten Fällen auch die Trajektorie und/oder der Ursprungsort eines Ereignisses bestimmen, wie etwa die Ausbruchsstelle eines Murgangs aus dem Gerinne oder die Zuordnung eines Lawenereignisses zu einem Couloir (**woher?**).

Die Magnitude (**wie groß?**) vergangener Ereignisse lässt sich anhand von Jahrringdaten ebenfalls rekonstruieren. Für diesen Schritt müssen die Ablagerungen, beispielsweise Murloben, datiert und damit einem Ereignis zugeordnet werden. Die Menge des abgelagerten Materials sowie dessen Korngröße lassen Rückschlüsse auf die ungefähre Größe des Ereignisses zu.

Durch den Beizug von meteorologischen, hydrologischen oder seismischen Daten lassen sich im Anschluss an die Jahrringuntersuchungen die Gründe für die Auslösung eines Ereignisses bestimmen (**warum?**).

Schließlich können die Jahrringdaten auch verwendet werden, um prozessbasierte Modelle auf ihre Genauigkeit hin zu testen und gegebenenfalls zu kalibrieren (**wie genau?**).

## Fallbeispiel 1 – Murgang

Der *Grosse Grabe* ist ein aktiver Wildbach im Mattertal (Wallis, Schweiz, Abb. 3). Der murführende Bach hat im Laufe des Holozäns einen Murkegel von 43 ha mit einer durchschnittlichen Neigung von 14° geschüttet, der hauptsächlich mit Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) sowie Lärchen (*Larix decidua* Mill.) bestanden ist. Das Einzugsgebiet des Baches erstreckt sich über 1,5 km<sup>2</sup> und besteht hauptsächlich aus Augengneisen (Labhart 2004; Abb. 4).

Die wiederkehrende Muraktivität im Wildbach stellt eine Gefahr für mehrere Gebäude im unteren Bereich des Kegels sowie für die Hauptstraße dar, die den Kegel auf seiner ganzen Länge quert. In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten wurde die Straße mehrfach durch Ereignisse verschüttet.

Im Hinblick auf die Planung von Maßnahmen zur Gefahrenprävention ist es unumgänglich, die Häufigkeit von Ereignissen realistisch abzuschätzen, die räumliche Ausdehnung zu verstehen und mögliche Ausbruchstellen aus dem Gerinne festzustellen. Da Archivdaten im *Grosse Grabe* lediglich seit 1993 existieren (Seiler und Zimmermann 1999), sollen Jahrringuntersuchungen weitere Daten zur früheren Aktivität des Wildbaches liefern.

In einem ersten Schritt wurden alle Formen vergangener Muraktivität (14 Loben, 29 ehemals aktive Rinnen, 61 zusätzliche Levee-Abschnitte) auf dem Kegel im Maßstab 1:1000 kartiert. Auf der Basis dieser Karte wurden anschließend 143 Bäume beprobt: In der unmittelbaren Umgebung der aktiven Rinne konnten 71 Bäume beprobt werden, die offensichtlich von vergangenen Ereignissen getroffen wurden. In den Randbereichen des Kegels hingegen fehlten geschädigte Bäume weitgehend. Dies erklärt sich in erster Linie durch die Tatsache, dass dieser

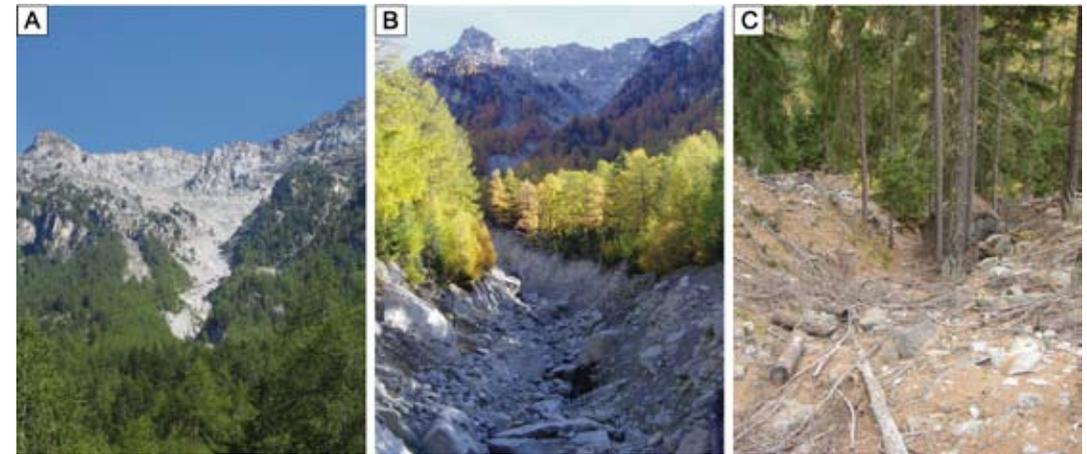


Abb. 4: A. Blick ins Einzugsgebiet des Grosse Grabe. B. Das aktive Gerinne des Wildbaches. C. Ehemals aktive Rinne auf dem Kegel.

Fig. 4: A. View of the catchment area. B. The active channel of the torrent. C. Previously active channels on the current cone.

Bereich des Waldes forstlich genutzt worden ist. Um trotzdem Aussagen zur vergangenen Aktivität treffen zu können, wurden in diesen Sektoren 72 ungestörte Bäume beprobt, die in ehemals aktiven Rinnen aufgewachsen sind. Das Alter des ältesten ungestörten Baumes jeder Rinne lässt Rückschlüsse zu, seit wann keine Muren mehr durch die entsprechende Rinne geflossen sind. Während dieser Mindestalteransatz keine direkten Informationen

zu vergangenen Ereignissen hergibt, so liefert er doch Hinweise auf den letztmöglichen Zeitpunkt von Muraktivität im beprobten Sektor.

Durch die Analyse der gestörten Bäume in Gerinnenähe konnten 49 Ereignisse zwischen 1782 und 2005 rekonstruiert werden, wobei die Datendichte aufgrund des Baumalters vor 1900 stark abnimmt (Abb. 5). Durch das Übertragen der gestörten Bäume auf die geomorphologische

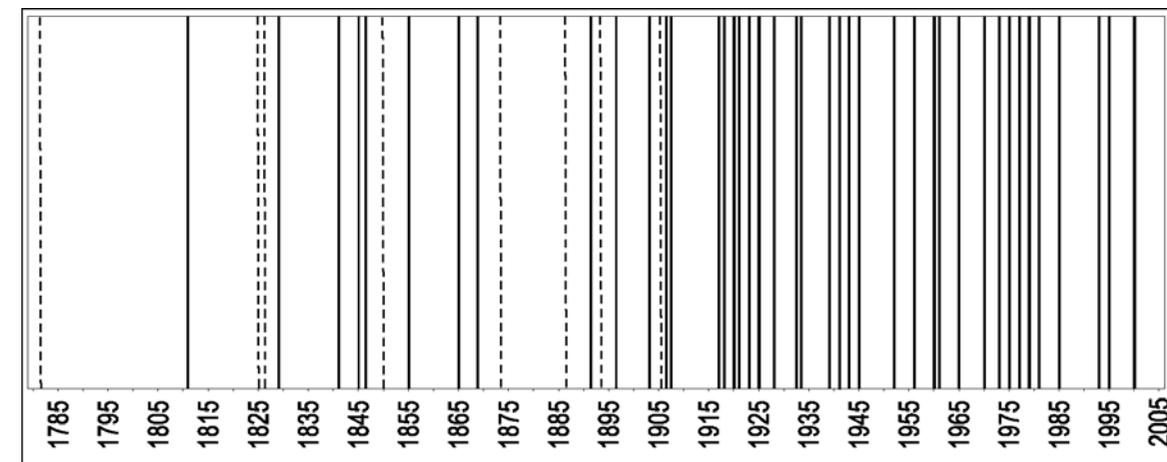


Abb. 5: Mindestfrequenz für den Grosse Grabe. Insgesamt konnten 49 Ereignisse zwischen 1782 und 2005 rekonstruiert werden. Gestrichelte Linien bezeichnen Ereignisse, die nur mit einer geringen Anzahl Reaktionen belegt sind.

Fig. 5: Minimum frequency for the Grosse Grabe. In total, 49 events between 1782 and 2005 were reconstructed. Dashed lines indicate those events that were dated via the presence of GD occurring in one tree only.

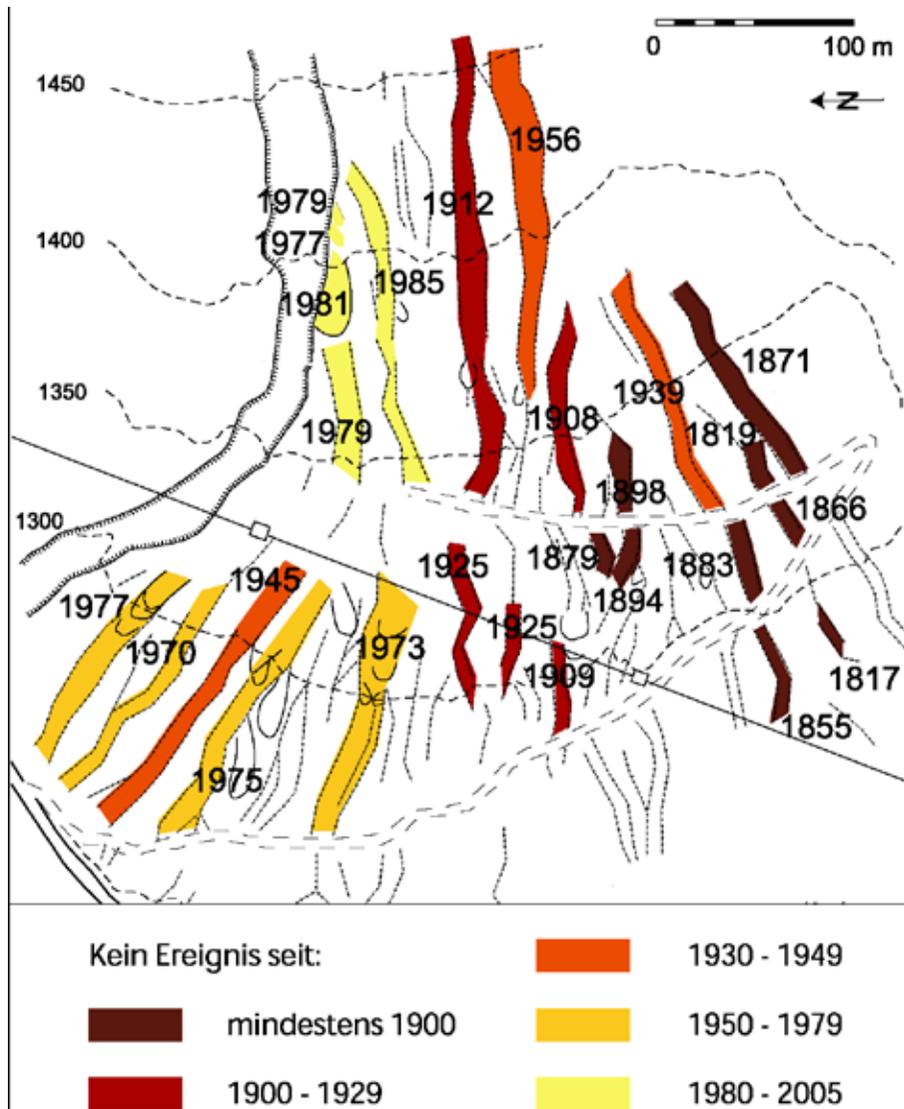


Abb. 6: Der letzte mögliche Zeitpunkt für ein Ereignis ist in Zahlen für die einzelnen Rinnen vermerkt und in Farbklassen zur besseren Übersichtlichkeit dargestellt. Je weiter weg vom aktuellen Gerinne, desto länger die Inaktivität.

Fig. 6: The last possible moment of activity of each previously active channel is indicated by numbers and represented in color clusters. The greater the distance from the currently active channel, the longer the inactivity.

Karte konnte in einem ersten Schritt die räumliche Ausdehnung einzelner Ereignisse aufgezeigt werden (Bollschweiler et al. 2008).

Die Kombination der rekonstruierten Frequenz mit dem Mindestalter der Bäume in den inaktiven Rinnen liefert zudem ein komplettes Bild zur Murgangdynamik auf dem gesamten Kegel. So kann für die Mehrheit der Rinnen aufgezeigt werden, ab welchem Zeitpunkt Ereignisse ausgeblieben sind. Wie Abb. 6 schön aufzeigt, sind die Abflussrinnen nahe dem heute aktiven Gerinne in

den letzten Jahrzehnten regelmäßig aktiviert worden, während in den anderen Sektoren Murgänge seit längerer Zeit ausgeblieben sind.

Die Kombination von Ereignisdatierung mit der geomorphologischen Kartierung weist überdies Bereiche aus, in welchen während früheren Ereignissen Ausbrüche aus dem Gerinne stattgefunden haben. Es scheint durchaus möglich, dass an diesen Schwachstellen bei künftigen Ereignissen erneut Ausbrüche auftreten und ehemals aktive Rinnen reaktiviert werden könnten.

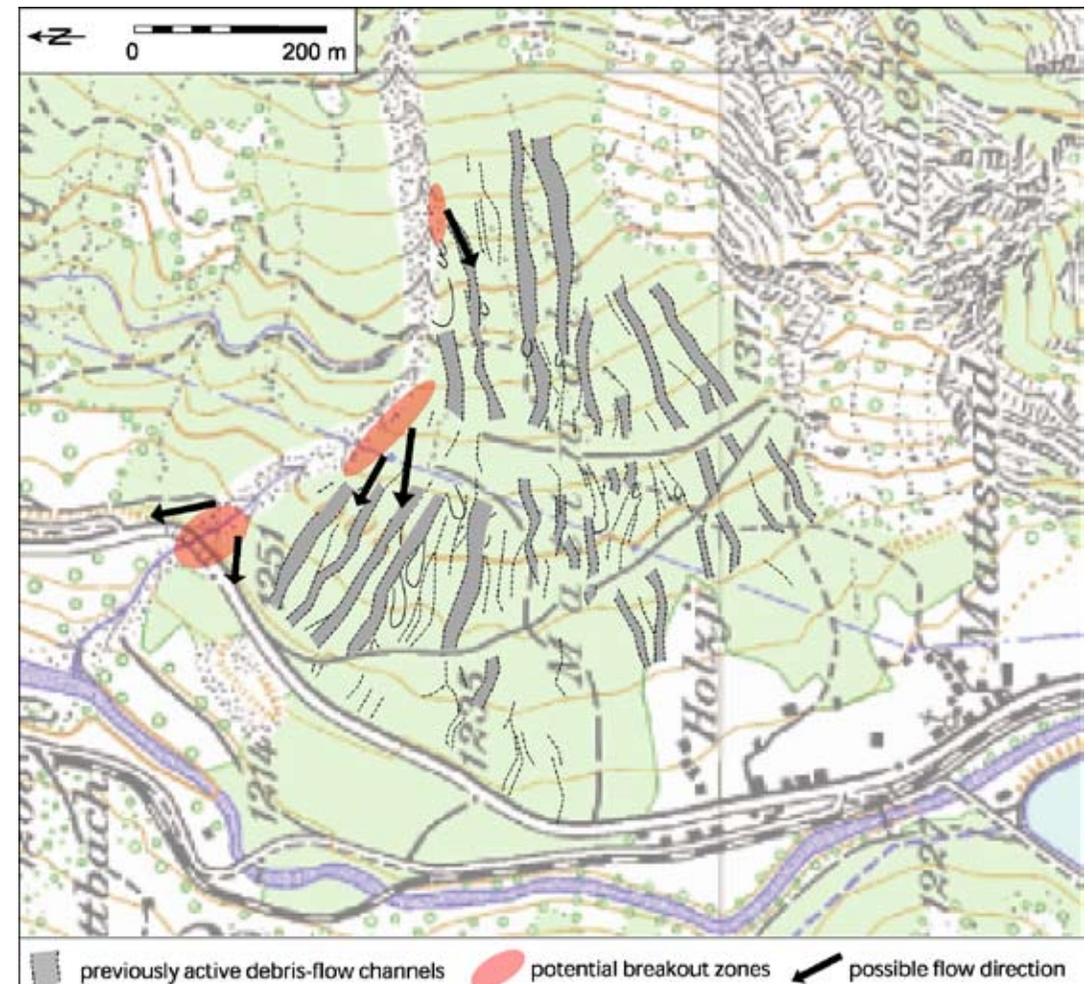


Abb. 7: Die Karte zeigt die Gerinneabschnitte an, wo möglicherweise Ausbrüche und somit eine Reaktivierung von ehemaligen Rinnen stattfinden könnten. (Karte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo BA081746)

Fig. 7: Map indicating channel segments where potential breakouts could occur and thus reactivate abandoned channels. (Map reproduced with the kind permission of swisstopo BA081746)

Dadurch würde Murmaterial direkt auf die Hauptstraße gelenkt (Abb. 7).

Am Beispiel des *Grosse Grabe* wurde aufgezeigt, dass durch Jahrringanalysen wichtige Erkenntnisse zur vergangenen Muraktivität gewonnen werden können, die ein besseres Verständnis des Prozesses am Standort ermöglichen und von wesentlichem Nutzen für eine realistische Gefahrenabschätzung und eine angepasste Prävention sind.

## Fallbeispiel 2 – Lawine

Der Kegel des *Birchbachs* befindet sich im Lötchenthal (Wallis, Schweiz) und verdankt seine Entstehung Wildbachprozessen wie auch Lawinen aus drei verschiedenen Anrissgebieten (*Birchchinn*, *Nästchinn*, *Blötza*; Abb. 8). Aufgrund der bestehenden Gefährdung des Dorfes Blatten sowie der Hauptstraße wurden in der Vergangenheit

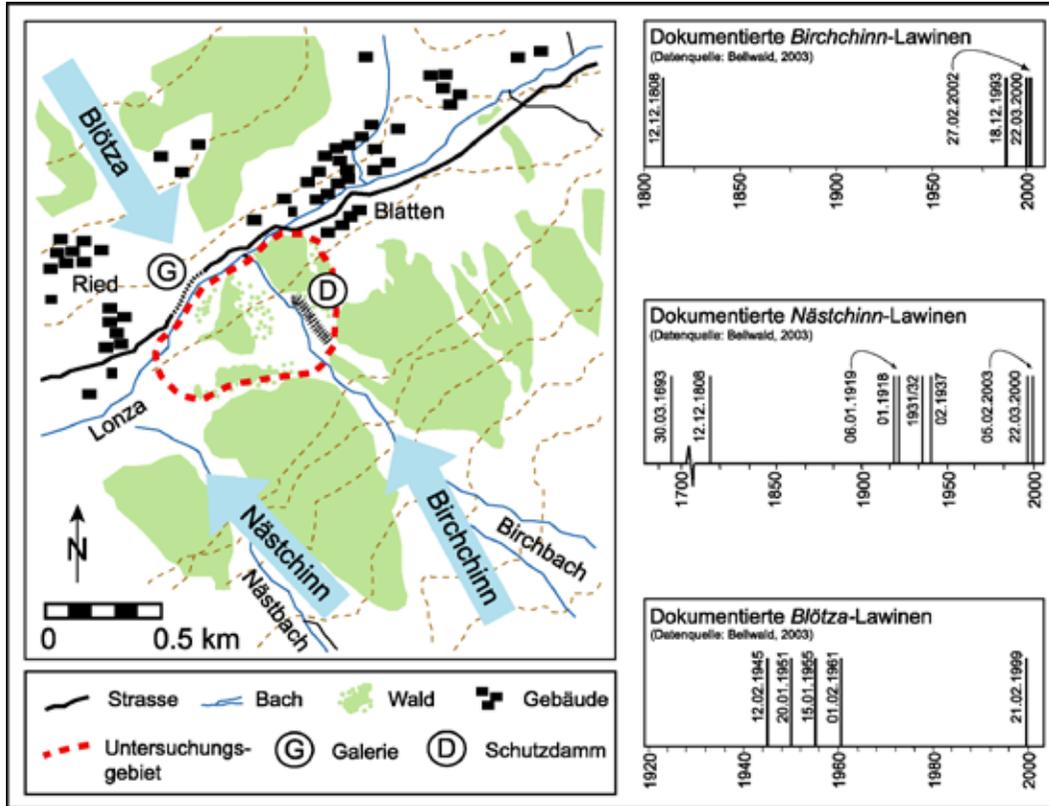


Abb. 8: (links) Lawinenzüge, welche den Kegel des Birchbachs beeinflussen können. D gibt den Standort des Schutzdammes wieder, G steht für die Straßengalerie. Beide Maßnahmen wurden in den 1990er Jahren realisiert, um das Dorf Blatten und die Hauptstraße vor Lawinen zu schützen. Rechts: Archivdaten zu vergangenen Lawineneignissen in den Lawinenzügen Birchchinn, Nächstinn und Blötza.

Fig. 8: (left) Avalanche tracks that might influence the Birchbach cone. Note the large earth-fill dam (D) and the road gallery (G) constructed in the 1990s to protect the village of Blatten and the main road from avalanches. (right) Archive data on past snow avalanches in the Birchchinn, Nächstinn and Blötza tracks.

ein Ablenkdamms sowie eine Straßengalerie konstruiert. Ereignischroniken sind für alle drei Lawinenzüge vorhanden (Bellwald 2003), an deren Vollständigkeit muss jedoch gezweifelt werden.

Daher sollte mit einer Jahringuntersuchung auf dem Kegel des *Birchbachs* aufgezeigt werden, wann in der Vergangenheit Lawineneignisse den Kegel betroffen haben und welcher Lawinenzug bei den einzelnen Ereignissen aktiv war. Zudem sollte die Reichweite und Ausdehnung der Lawinen auf dem Kegel rekonstruiert werden. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 251 Lärchen (*Larix decidua* Mill.) und Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) auf dem gesamten Kegel des

*Birchbachs* beprobt, welche von außen sichtbare Merkmale einer Beeinflussung durch Lawinen aufwiesen. Der Standort der beprobten Bäume wurde auf einer detaillierten geomorphologischen Karte (1:1000) vermerkt.

Die Auswertung der Wachstumsanomalien der Bäume erlaubte es, insgesamt neun Lawineneignisse zwischen 1843 und 2005 aufzuzeigen. Aufgrund der Schäden auf dem Kegel kann davon ausgegangen werden, dass sieben von neun Ereignissen an der Flanke des Bietschorns (3934 müM) ihren Ursprung nahmen und über das enge Couloir des Birchchinn den Kegel erreichten. Basierend auf der räumlichen Verteilung

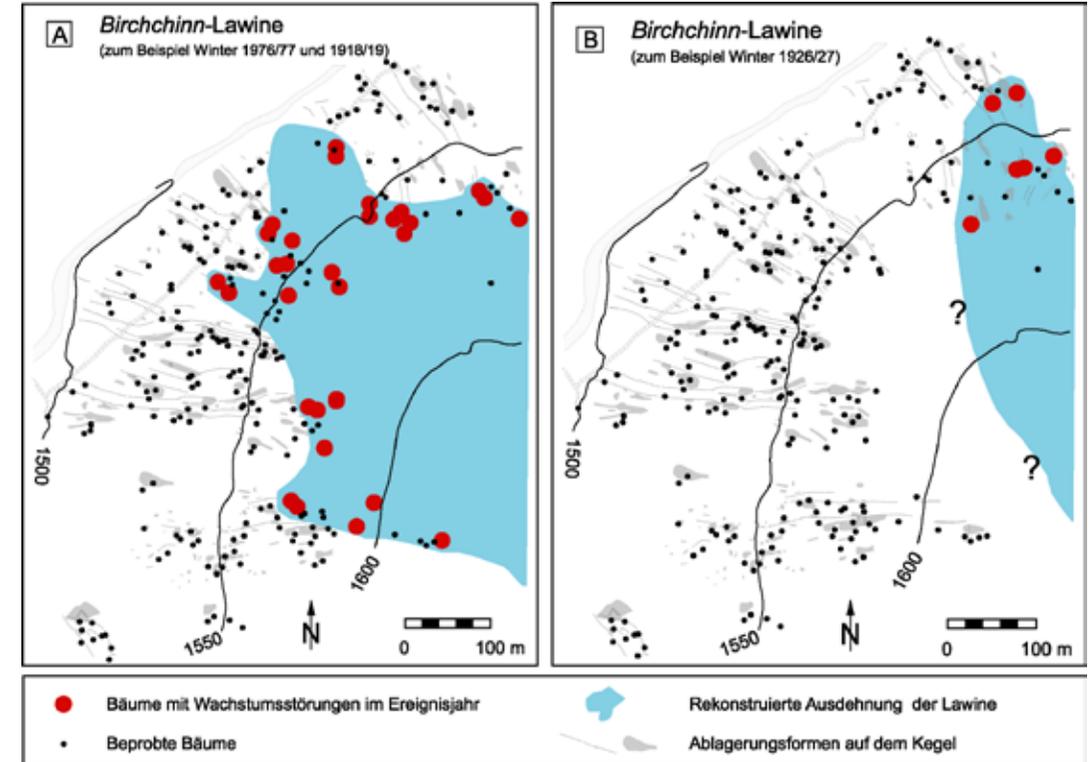


Abb. 9: Dendrogeomorphologische Karten mit den Standorten getroffener Bäume und der minimalen Ausdehnung des Einflussbereichs der Birchchinn-Lawine: (A) Während Lawinen im Winter 1976/77 bzw. 1918/19 weite Teile des Kegels beeinflussten, beschränkten sich die Schäden im Winter 1926/27 (B) auf den östlichen Bereich des Kegels.

Fig. 9: Maps showing the locations of affected trees and the minimum extent of damage caused by past Birchchinn avalanches: (A) Whilst the avalanches of winter 1976/77 and 1918/19 affected large parts of the cone, the damage caused in (B) winter 1926/27 was mainly limited to the eastern part of the cone.

der gestörten Bäume kann davon ausgegangen werden, dass der Kegel jeweils unterschiedlich stark und in verschiedenen Bereichen beeinflusst wurde (Abb. 9). Während beim Ereignis vom Winter 1918/19 oder 1976/77 weite Teile des Kegels von der Lawine betroffen waren und eine beachtliche Anzahl von Bäumen Wachstumsreaktionen aufwies, verursachte die Lawine im Winter 1926/1927 lediglich sehr kleinräumliche Schäden (Stoffel et al. 2006).

Im Gegensatz zu den nordwestexponierten Couloirs des Birchchinn und Nächstinn wird die Blötza-Lawine im südostexponierten Gegenhang ausgelöst. Schäden auf dem Birchbach-Kegel können daher nur festgestellt werden, wenn

sehr große Schneemengen den Talgrund queren und am Gegenhang aufbränden. Ein solch außerordentliches Ereignis ist am 21. Februar 1999 aufgetreten. Durch die Untersuchung der Wachstumsstörungen der Bäume auf dem Kegel des Birchbachs konnte nicht nur die Reichweite des Fließanteils rekonstruiert, sondern auch der durch den Luftdruck der Staublawine beeinflusste Sektor abgegrenzt werden (Abb. 10).

Dieses zweite Fallbeispiel zeigt klar auf, dass Jahringuntersuchungen auch für die Beurteilung von Lawinen eingesetzt werden können, um einerseits Frequenzen, andererseits aber auch Fließwege und Reichweiten vergangener Ereignisse zu bestimmen.

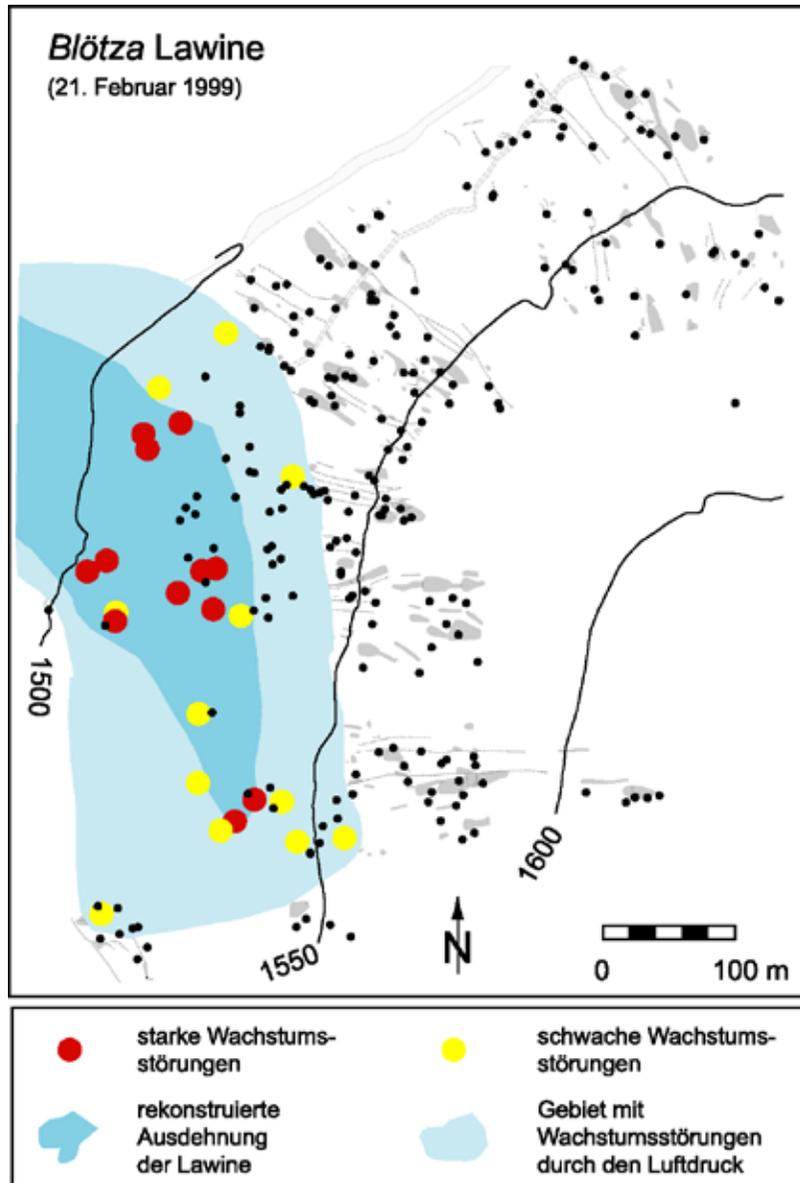


Abb. 10: Dendrogeomorphologische Karten mit den Standorten getroffener Bäume und der minimalen Ausdehnung des Einflussbereichs der außerordentlich großen Staublawine im Lawinenzug Blötza im Lawinenzug Blötza (21.02.1999).

Fig. 10: Maps showing the locations of affected trees and the minimum extent of damage caused by exceptionally large powder avalanches that occurred in the Blötza track on February 21, 1999.

### Grenzen der Methode

Neben den in den vorherigen Kapiteln aufgezeigten Möglichkeiten von Jahrringuntersuchungen für die Gefahrenanalyse und -abschätzung von Murgängen, Lawinen, Steinschlag, Rutschungen und weiteren geomorphologischen Prozessen hat die Dendrogeomorphologie auch gewisse Grenzen.

Eine erste Bedingung für die Anwendung der Dendrogeomorphologie ist das Vorhandensein von Bäumen. In Gebieten oberhalb der Waldgrenze oder auf Standorten, die durch vergangene Ereignisse oder menschliche Aktivität allzu stark genutzt oder gerodet wurden, lassen sich Jahrringrekonstruktionen nicht durchführen. Reichweiten von Lawinen, Murgängen und Steinschlägen können nur rekonstruiert werden, wenn mindestens

ein Teil des Auslaufgebiets bewaldet ist.

Ebenso beeinflusst das Alter der vorhandenen und durch geomorphologische Prozesse betroffenen Bäume die Qualität und die Länge der Rekonstruktion maßgeblich. An vom Menschen unberührten Standorten können wiederholt mehrhundertjährige Bäume gefunden werden, die eine sehr lange Rekonstruktion ermöglichen. In Gebieten, die intensiv forstlich genutzt werden, ist das Potenzial für lange Zeitreihen dagegen stark eingeschränkt.

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Untersuchung sind die Baumarten. Während sich Nadelbäume aufgrund ihrer Holz Anatomie und ihres potenziell hohen Alters ausgezeichnet für dendrogeomorphologische Rekonstruktionen eignen, ist die Aussagekraft von Laubbäumen eher beschränkt. Dies liegt einerseits an der Holzstruktur und der weniger deutlich ausgeprägten Reaktion dieser Arten auf Störungen, andererseits auch an ihrem Alter, welches in den seltensten Fällen einige Jahrzehnte übersteigt.

Zudem muss bei einer Gefahrenbeurteilung, welche auf Daten von Jahrringuntersuchungen basiert, berücksichtigt werden, dass es sich bei den rekonstruierten Ereignisreihen um Minimalfrequenzen handelt. Kleinere Ereignisse – wie etwa ein Murgang, der im Gerinne verbleibt oder eine Lawine, die am Kegelhals stoppt – werden auf dem Kegel keine Bäume betreffen und lassen sich somit auch nicht mit dendrogeomorphologischen Methoden bestimmen.

Bei Jahrringuntersuchungen ist ferner zu beachten, dass am Untersuchungsstandort wenn immer möglich nur ein Prozess auftritt, da sich anhand der Wachstumsreaktion im Jahrringbild zu meist nicht bestimmen lässt, welcher Prozess die Reaktion verursacht hat. Eine Ausnahme bilden Kegel, welche von Lawinen und Murgängen beeinflusst werden. Da die Prozesse zu verschiedenen Jahreszeiten aktiv sind, treten auch die Schäden

in unterschiedlichen Bereichen des Jahrringes auf, womit eine Unterscheidung möglich wird.

Zudem können Bäume an Standorten, die stark anthropogen beeinflusst sind, Wachstumsreaktionen infolge von Forstarbeiten oder Baumaßnahmen aufweisen. Eine Rekonstruktion des geomorphologischen Prozesses kann hier durch menschliche Aktivität verfälscht werden und es ist ebenfalls besondere Vorsicht bei der Auswahl der Bäume geboten.

### Schlussbemerkungen

Bei einer sorgfältigen Prozessanalyse im Gelände sowie einer konservativen Auswahl der Bäume lassen sich mit Jahrringuntersuchungen äußerst wertvolle Informationen zur vergangenen Aktivität unterschiedlicher geomorphologischer Prozesse gewinnen und so die Anzahl bekannter Ereignisse auf zahlreichen Standorten wesentlich verbessern.

Eine solide Datengrundlage mit Informationen zu früheren Ereignissen ist für eine realistische Gefahrenbeurteilung und die Auswahl adäquater Schutzmaßnahmen unerlässlich. Durch die Daten der Jahrringuntersuchungen lässt sich nicht nur der am jeweiligen Standort auftretende Prozess besser verstehen, sondern aufgrund der Erkenntnisse aus der Vergangenheit und Gegenwart lassen sich auch realistische Folgerungen für mögliche künftige Entwicklungen abschätzen.

**Adresse der Verfasser /***Author's address:*

Dipl. Geogr. Dr. Michelle Bollschweiler  
 Labor für Dendrogeomorphologie  
 (www.dendrolab.ch) (bis 31.12.2008)  
 Departement Geowissenschaften  
 Universität Freiburg  
 Chemin du Musée 4  
 CH-1700 Freiburg  
 E-Mail: michelle.bollschweiler@dendrolab.ch

Dipl. Geogr. Dr. Markus Stoffel  
 Labor für Dendrogeomorphologie (www.dendrolab.ch) (ab 01.01.2009)  
 Geologisches Institut  
 Universität Bern  
 Baltzerstrasse 1-3  
 CH - 3012 Bern  
 E-Mail: markus.stoffel@dendrolab.ch

**Literatur:**

- ALESTALO J. (1971)  
 „Dendrochronological interpretation of geomorphic processes“ Fennia 105, 1–139.
- BELLWALD M. (2003)  
 „Lötschentaler Lawinenchronik. Schnee- und Lawinenbeobachtungen 1680–2003“ Eigenverlag, Wiler.
- BOLLSCHWEILER M., STOFFEL M., EHMISCH M., MONBARON M. (2007)  
 „Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity with dendrogeomorphological methods“ Geomorphology 87, 337–351.
- BOLLSCHWEILER M., STOFFEL M., SCHNEUWLY D.M. (2008)  
 „Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches“ Catena 72, 67–78.
- LABHART T.P. (2004)  
 „Geologie der Schweiz“ 6. Ausgabe Ott Verlag, Thun.
- SCHWEINGRUBER F.H. (1996)  
 „Tree rings and environment. Dendroecology“ Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- SEILER J., ZIMMERMANN M. (1999)  
 „Wildbachgefährdung durch den Grosse Grabe. Gutachten zur Gefahrenkarte“ Geoplan, Steg.
- STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M. (2008a)  
 „Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview“ Natural Hazards and Earth System Sciences 8, 187–202.
- STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M. (2008b)  
 „What trees can tell about earth-surface processes – Teaching the principles of dendrogeomorphology“ Geography Compass, im Druck.

STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M., HASSLER, G.R. (2006)  
 „Differentiating events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach“ Earth Surface Processes and Landforms 31(11): 1424–1437.

STOFFEL M., CONUS D., GRICHTING M.A., Lièvre I., Maitre G. (2008) „Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future“ Global and Planetary Change 60(3–4): 222–234.

**Gunz ZT GmbH**

Ziviltechniker für Forst- und Holzwirtschaft,  
 Wildbach-, Lawinen- und Erosionsschutz,  
 allg. beeid. und gerichtl. zert. Sachverständiger

4400 Steyr, Stadtplatz 29

Tel.: 07252/42484 Fax: 07252/42484 E-Mail: info@gunz.at Homepage: http://www.gunz.at



- Steinschlagschutz
- Lawinenschutz
- Fels- und Hangsicherung

**SICHERHEIT DURCH KOMPETENZ**

Weißbach 106 · A-5431 Kuchl · Tel.: +43 (0)6244-20325 · Fax: +43 (0)6244-20325-11  
 E-Mail: office@trumerschutzbauten.com · www.trumerschutzbauten.com

**RUDOLF SAILER, WOLFGANG FELLIN, REINHARD FROMM, PHILIPP JÖRG, LAMBERT RAMMER,  
PETER SAMPL, ANDREAS SCHAFFHAUSER**

## Massenbilanzberechnungen einer Lawine und Verifikation von Lawinensimulationsmodellen

### *Avalanche mass balance calculation and simulation model verification*

#### Zusammenfassung:

Der Originalartikel in englischer Sprache ist in den *Annals of Glaciology* (2008), Vol. 48, pp. 183-192, publiziert worden (Zitat: Sailer et al., 2008). Die Autoren danken der Internationalen Glaziologischen Gesellschaft (IGS) für die Genehmigung zur Veröffentlichung in der Zeitschrift *Wildbach- und Lawinenverbau*.

Zwei- oder dreidimensionale Lawinensimulationsmodelle sind im operativen Bereich der Gefahrenzonenplanung zu einem Standardwerkzeug geworden und zeigen ein weites Einsatzspektrum. Die Verifikation von Simulationsmodellen ist aus wissenschaftlicher Sicht ein herausfordernder Prozess. In diesem Artikel wird gezeigt, wie ein solcher Verifikationsprozess unter Zuhilfenahme von Fernerkundungsdaten zu einer Modelloptimierung führt. Die Parameteranpassung wurde unter Zuhilfenahme zweier numerischer Methoden durchgeführt. Dadurch konnte sowohl die Qualität der Anpassung erhöht als auch die Anzahl der erforderlichen Simulationen reduziert werden. Die Verifikation der Simulationsergebnisse erfolgte durch den Vergleich der berechneten mit den gemessenen Auslauflängen. Zusätzlich werden die simulierten Frontgeschwindigkeiten der Lawine mit gemessenen Lawinengeschwindigkeiten (Lawinenradar) verglichen. Weiters ist es mit den Fernerkundungsmessungen gelungen, die Massenbilanz einer künstlich ausgelösten Lawine zu berechnen.

#### Summary:

*Two- or three-dimensional avalanche-simulation models offer a wide range of applications; however, a challenging model-verification process is demanded, accompanied by a reliable determination of model-input parameters. We show that a verification process can be arranged with remote-monitoring data from an artificially triggered avalanche, leading to the calculation of avalanche mass balance. Two numerical methods are applied to increase the quality of the parameter fit and to reduce the number of simulations. The quality of the parameter fit is verified by comparing measured and simulated run-out lengths. In addition, a cross-check is performed using velocities derived from Doppler radar measurements.*

#### 1. Einleitung

Im modernen Risiko- und Krisenmanagement gewinnt der Einsatz von Lawinensimulationsmodellen vermehrt an Bedeutung. In der operativen Gefahrenzonenplanung sind Lawinensimulationsmodelle schon zu einem festen Bestandteil geworden. Besonders zwei- und dreidimensionale Lawinensimulationsmodelle haben sich dabei als hilfreiche Werkzeuge bewährt. Aufgrund der Komplexität dieser Modelle ist ein wissenschaftlicher Verifikationsprozess notwendig geworden, der in erster Linie auf vertrauenswürdigen Eingangsgrößen beruht. Die traditionellen Methoden zur Bestimmung der grundlegenden Parameter (Schneehöhe, Schneedichte) in Anbruchgebieten sind zeitaufwendig, oft gefährlich bzw. undurchführbar. Zudem liefern diese Messungen in der Regel nur Punktinformationen oder Informationen mit einer zeitlich sehr groben räumlichen und/oder

zeitlichen Auflösung. Seit geraumer Zeit werden vermehrt Versuche unternommen, die räumliche und zeitliche Auflösung bei der Untersuchung von Schneedeckenparametern zu verbessern und deren Messung aus sicherer Distanz zu ermöglichen. Im Gegensatz zur Messung von geomorphologischen Strukturen (Deline et al., 2004; Conforti et al., 2005; Mikos et al., 2005), Gletscheroberflächen (Baltasvias et al., 2001), Akkumulation und Ablation von Schnee und Eis im Jahresabstand (Lippert et al., 2006; Geist et al., 2003, 2005) gibt es nur spärliche Informationen zur Nutzung von Laser-Scannern im Bereich der Schnee- und Lawinenforschung. Bisher wurden nur wenige Projekte durchgeführt. Das Ziel des SAMPLE-Projektes war die Entwicklung eines Fuzzy-Logic-basierten Expertensystems für die Lawinenvorhersage, die auf TLS-Messungen (Terrestrial Laser Scanning) beruht (Moser et al., 2001). Prokop (2006) misst die räumliche Schneehöhenverteilung an einem Hang

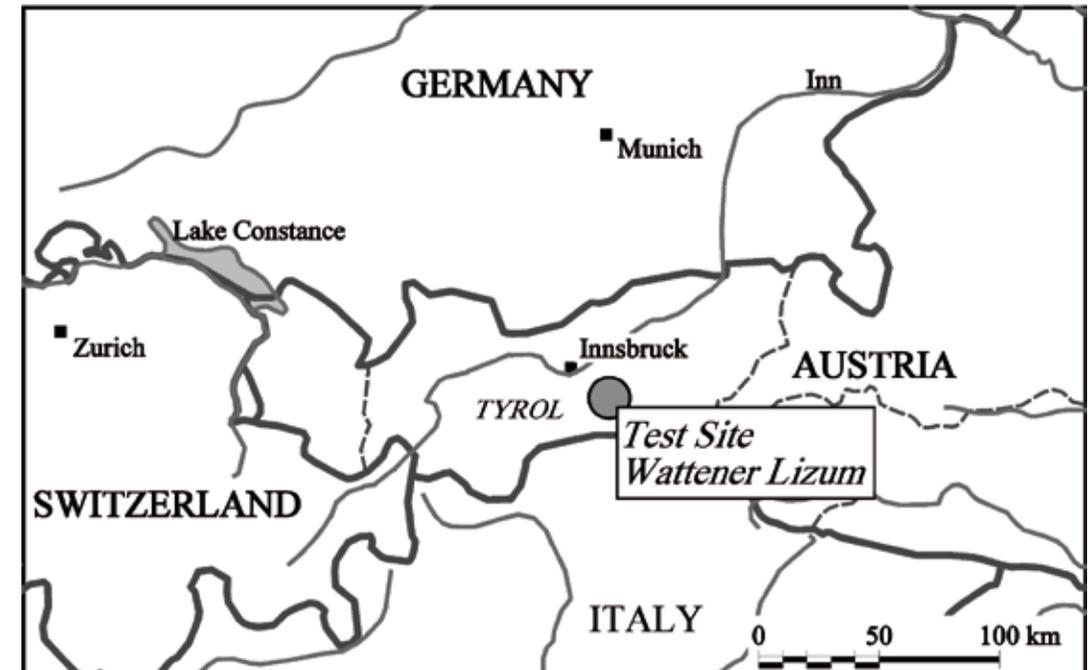


Abb. 1: Lage des Testgebietes Truppenübungsplatz Lizum/Walchen (Tirol)

Fig. 1: Location of Wattener Lizum test site (Tyrol, Austria)

in den Österreichischen Alpen. Schneehöhenmessungen in einer bewaldeten Region wurden mit flugzeuggestützten Lasermessungen durchgeführt (Deems und Painter, 2006). Das EU-Projekt GALAHAD (Advanced Remote Monitoring Techniques for Glaciers, Avalanches and Landslides Hazard Mitigation) hat die Weiterentwicklung und Anwendung von Fernerkundungstechniken zum Ziel (Schaffhauser et al., 2008). Schwerpunktmäßig kommt dabei der terrestrische Laserscanner (Jörg et al., 2006) und ein bodengestütztes Radarsystem (GB SAR, Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) zum Einsatz (Luzi et al., 2007).

Für die Durchführung der Arbeiten im Schnee- und Lawinenmodul des GALAHAD-Projektes wurde im Truppenübungsplatz Lizum/Walchen (Tirol) des Österreichischen Bundesheeres ein Testgebiet eingerichtet. Das Testgebiet war mit vier automatischen Wetterstationen (AWS) in vier unterschiedlichen Höhengniveaus ausgestattet. Zwei dieser Stationen waren zusätzlich mit lang- und kurzwelligen Strahlungsmessgeräten ausgestattet. Zusätzlich zu den meteorologischen Standardwerten wurden an den AWS die Schneehöhen mit Ultraschallsensoren gemessen, die auch zur Verifikation der TLS-Messungen herangezogen werden. Die direkte Distanz von der Fernerkundungs-Basisstation in 2040 m Seehöhe zur Außengrenze des Untersuchungsgebietes beträgt 1900 m. Das Anbruchgebiet wie auch das Ablagerungsgebiet liegen somit im Messbereich des Laser-Scanners.

Der verwendete Laser-Scanner Riegl LPM2k misst die Laufzeit der im nahen Infrarot ausgesandten und von der Schneeoberfläche reflektierten Strahlen. Dabei beträgt die Eindringtiefe nur wenige Millimeter (Dozier und Painter, 2004) und führt daher zu sehr genauen Ergebnissen. In diesem Artikel werden die Schneehöhenmessungen vor und nach einem Lawinenabgang dazu herangezogen, die Massenbilanz einer künstlich

ausgelösten Lawine zu ermitteln.

**Laser Scanning** ermöglicht die Messung der Anrisstiefe und potenziellen Entrainmenttiefe, die bei Simulationen von Lawinen eine zentrale Rolle einnehmen (Jörg et al., 2006; Deems und Painter, 2006; Prokop, 2006). Unter der Voraussetzung, dass die Schneedichte bekannt ist, ist es auch möglich die Anbruchmasse und potenzielle Entrainmentmasse zu berechnen. Damit sind alle Anforderungen erfüllt, die Massenbilanz einer Lawine zu ermitteln (Schaffhauser et al. 2008). Bis jetzt konnten für die Eichung von Lawinensimulationsmodellen und deren Parametern sowohl die Anbruchmasse als auch die Entrainmentmasse nur grob abgeschätzt werden. Auf die große Bedeutung des Entrainments und die Wichtigkeit der Berücksichtigung dieses Prozesses ist in verschiedenen Arbeiten schon hingewiesen worden (Sovilla et al., 2001; Sailer et al. 2002; Sovilla und Bartelt, 2002; Sovilla et al., 2007).

*SamosAT*, die aktuelle Version des Vorgängermodells SAMOS (Snow Avalanche Modelling and Simulation; Sampl und Zwinger, 2004; Sailer et al., 2002; Zwinger et al. 2003) ist ein physikalisch basiertes Simulationsmodell, das von der Firma AVL List, Graz (Steiermark), im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und in Zusammenarbeit mit dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbaug (WLV) und dem Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) entwickelt wurde. Bei *SamosAT* wird davon ausgegangen, dass sich eine trockene Schneelawine aus zwei Hauptkomponenten – einem dichten Fließanteil und einem Eispartikel-Luftgemisch geringer Dichte – zusammensetzt. Beide Komponenten werden im Modell getrennt berechnet und stehen über eine Koppelungsschicht (Resuspensionsschicht) miteinander in Verbindung (Sampl und Zwinger, 2004). Der dichte Fließanteil wird

als „seichte“ Strömung zweidimensional entsprechend den Flachwassergleichungen auf dem natürlichen Terrain betrachtet. Der Staubanteil wird als turbulente Mischung aus Eis- und Luftpartikeln mit variierender Dichte dreidimensional berechnet. Mit *SamosAT* ist es möglich den entlang der Lawinenbahn ruhenden Schnee während des Lawinenabgangs in die Lawinenmasse aufzunehmen (Entrainment; Sailer et al., 2002). Die Berücksichtigung des Entrainmentprozesses führt im Allgemeinen zu einer Verbesserung der Simulationsberechnungen (Barbolini et al., 2005; Gauer und Issler, 2004; Gauer et al., 2007; Naaïm et al., 2004; Naaïm-Bouvet et al., 2005).

Mit dem BFW-eigenen **gepulsten Zweifrequenz-Dopplerradar** kann die Geschwindigkeit von Lawinen (getrennt nach Staub- und Fließanteil) gemessen werden. Auf Basis dieser Messungen ist es möglich, Simulationsmodelle und deren Komponenten (beispielsweise das Entrainmentmodul) zu validieren (Sailer et al., 2002). Das Zweifrequenz-Dopplerradar wurde für den Einsatz in der Lawindynamik am Institut für Breitbandkommunikation der Technischen Universität Graz (Steiermark) entwickelt (Randeu et al., 1990). Das technische Prinzip des gepulsten Dopplerradars ist in Rammer, (2000) und Rammer et al. (2007) beschrieben.

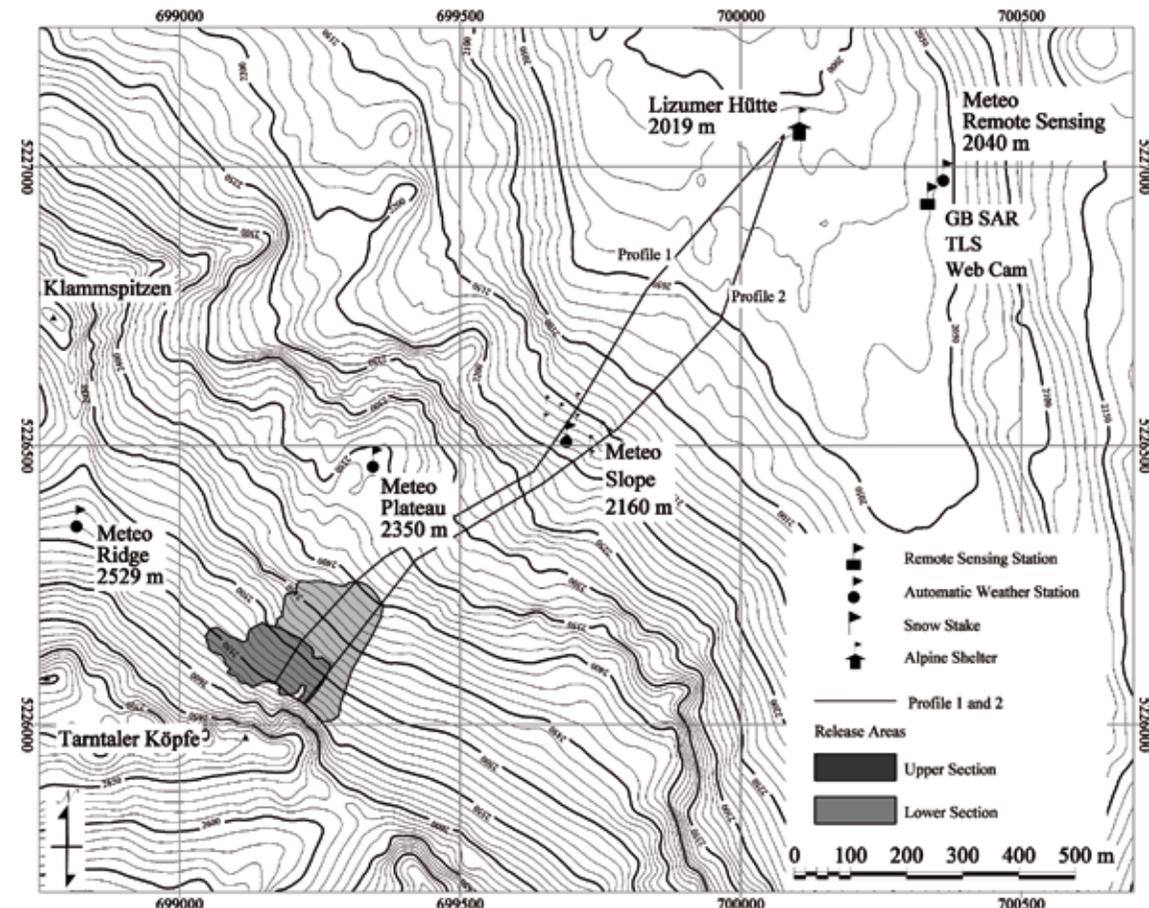


Abb. 2: Testgebiet – Lawinengang, Instrumentierung und Lawinenanbruchgebiet

Fig. 2: Wattener Lizum test site -- target area, instrumentation and avalanche release areas

Am 25. April 2007 konnte im GALAHAD-Testgebiet Truppenübungsplatz Lizum/Walchen (Abb. 2) eine Lawine künstlich ausgelöst werden. Die Länge der Lawine von der Anbruchkante bis zur Außengrenze der Ablagerung beträgt 1100 m, die Fallhöhe von der Anbruchkante (2570 m) bis zum Talboden (2050 m) 520 m. Aufgrund der günstigen Wetterverhältnisse vor und nach dem Lawinenabgang war es möglich, alle notwendigen Lawinenaufnahmen und Fernerkundungsmessungen detailliert durchzuführen, darunter auch In-Situ-Dichte- und Anrisstiefenmessungen.

Mit diesem Bericht wollen die Autoren zeigen, inwieweit Fernerkundungsmessungen für die Simulation von Lawinen herangezogen werden können und in welchem Ausmaß Optimierungen darauf aufbauen. Die Bestimmung der Eingangsparameter (Anrisstiefe, Anrisstdichte) für die Lawinensimulation beruhen dabei hauptsächlich auf TLS-Messungen und Messungen im Anbruch- und Ablagerungsgebiet. Der Abschnitt ‚Methoden‘ ist in drei Teile untergliedert. Der Teilabschnitt ‚Lawinenmassenbilanz‘ beinhaltet generelle Betrachtungen zur Massenbilanz von Lawinen. Die grundlegenden SamosAT-Modellgleichungen werden im Teilabschnitt ‚SamosAT – Modifikation für Kleinlawinen und Entrainmentbetrachtungen‘ behandelt. Der Teilabschnitt ‚Parameteridentifikation‘ bezieht sich auf Optimierungsmethoden zur Bestimmung von optimalen Parameterkombinationen. Die Resultate werden im darauffolgenden Abschnitt behandelt. Die Interpretation der Resultate und die darauf aufbauenden Schlussfolgerungen sowie ein Ausblick auf weiterführende Arbeiten sind im Abschnitt ‚Schlussfolgerungen‘ zu finden.

## 2. Methoden

### 2.1 Lawinenmassenbilanz

Alle Schneehöhenmessungen im Truppenübungsplatz Lizum/Walchen wurden mit dem terrestrischen Laserscanner LPM-i2k (Fa. Riegler) durchgeführt. Das Messprinzip, die Postprocessing-Routinen sowie Genauigkeitsbetrachtungen sind in Schaffhauser et al. (2008) beschrieben. Der Vergleich der TLS-Messungen mit einem im Lawinengang befindlichen Ultraschallpegel und mit geodätischen Vermessungen hat gezeigt, dass die durchschnittliche Abweichung nur  $\pm 0,05$  m beträgt. Die erreichte Genauigkeit lässt nun die verlässliche Berechnung der Lawinenmassenbilanz (Anbruchvolumen, potenzielles Entrainmentvolumen und Ablagerungsvolumen) der am 25. April 2007 künstlich ausgelösten Lawine zu. Dabei werden die unregelmäßig verteilten TLS-Schneehöhen vor dem Lawinenabgang (hier mit  $t_1$  bezeichnet) und nach dem Lawinenabgang ( $t_2$ ) in einem regelmäßigen Gitter mit einer Zellgröße  $\rho$  [ $m^2$ ] umgerechnet, das die absolute Seehöhe der Schneeoberflächen  $H_{t_1}$  und  $H_{t_2}$  [ $m$ ] repräsentiert (Details zur Interpolation in Schaffhauser et al., 2008). Die projizierte Schneehöhe auf Basis der TLS-Messungen an jedem Punkt ist

$$d = H_{t_2} - H_{t_1} \quad (1)$$

Es wird angenommen, dass die Außengrenze des Anbruchgebietes und die entsprechende Neigung  $\psi_i$  an jedem Geländepunkt bekannt sind. Das Anbruchgebiet wird in  $n$  rechteckige Gitterzellen unterteilt, so dass sich das Anbruchvolumen  $V_R$  [ $m^3$ ] (der Index R steht dabei für Anbruchgebiet) mit

$$V_R = p \sum_{i=1}^n \frac{d_i^R}{\cos \psi_i} \quad (2)$$

berechnen lässt. Bei der Berechnung der Anbruch-

masse  $M_R$  [ $kg$ ] mit

$$M_R = p \bar{\rho}^R \sum_{i=1}^n \frac{d_i^R}{\cos \psi_i} = V_R \bar{\rho}^R \quad (3)$$

wird die mittlere Schneedichte  $\bar{\rho}^R$  [ $kg m^{-3}$ ] berücksichtigt.

Bei der aktuellen Version von SamosAT kann das Anbruchgebiet in eine definierte Anzahl von Teilanbruchgebieten untergliedert werden, wobei jedes dieser Teilanbruchgebiete durch dessen Polygonumgrenzung, mittlere Anrisstiefe und mittlere Schneedichte definiert ist. Die mittlere Anrisstiefe  $\bar{d}_j^R$  [ $m$ ] für jedes Teilanbruchgebiet  $j$  ergibt sich aus

$$\bar{d}_j^R = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} d_i^R. \quad (4)$$

Sowohl die Abgrenzung des Polygons als auch die Unterteilung des Anbruchgebietes in Teilanbruchgebiete muss dabei manuell erfolgen.

In derselben Art und Weise wird die Berechnung für die Lawinenablagerung (Index D) durchgeführt. Auf Basis der Gleichungen 2 und 3 lassen sich sowohl das Ablagerungsvolumen  $V_D$  [ $m^3$ ] mit

$$V_D = p \sum_{i=1}^n \frac{d_i^D}{\cos \psi_i} \quad (5)$$

als auch die Ablagerungsmasse  $M_D$  [ $kg$ ] mit

$$M_D = p \bar{\rho}^D \sum_{i=1}^n \frac{d_i^D}{\cos \psi_i} = V_D \bar{\rho}^D \quad (6)$$

berechnen ( $d_i^D$  ist die Schneehöhenänderung zufolge Lawinenakkumulation gemessen mit TLS und  $\bar{\rho}^D$  die mittlere Dichte des abgelagerten Schnees). Die Massenbilanz  $B_M$  der Lawine ergibt sich aus

$$B_M = M_D + M_R + M_E = p \bar{\rho}^D \sum_{i=1}^n \frac{d_i^D}{\cos \psi_i} + p \bar{\rho}^R \sum_{i=1}^n \frac{d_i^R}{\cos \psi_i} + M_E = 0 \quad (7)$$

wobei sowohl die Anbruch- und die Ablagerungsmasse auch die Entrainmentmasse  $M_E$  [ $kg$ ] Berücksichtigung finden.  $M_R$  und  $M_E$  erhalten in der Massenbilanzberechnung negative Werte. Ist  $M_D$  und  $M_R$  aus TLS-Messungen ermittelt worden, kann mit

$$M_E = -(M_D + M_R) = -\left(p \bar{\rho}^D \sum_{i=1}^n \frac{d_i^D}{\cos \psi_i} + p \bar{\rho}^R \sum_{i=1}^n \frac{d_i^R}{\cos \psi_i}\right) \quad (8)$$

die Entrainmentmasse berechnet werden.

### 2.2 SamosAT: Anpassung an Kleinlawinen und Modellierung der Schneeaufnahme

In SamosAT wird der Fließlawinenteil der Lawine auf Basis der zweidimensionalen, höhengemittelten Massen- und Impulsbilanzen berechnet (Shallow-Water-Ansatz), in ähnlicher Weise wie im Vorgängermodell SAMOS (Sampl und Zwinger, 2004; Zwinger et al., 2003). In SamosAT wird allerdings ein erweitertes Modell für die Bodenreibung verwendet. Die Bodenschubspannung  $\tau_b$ , gegen die Fließrichtung wirkend, wird berechnet nach

$$\tau_b = \tau_0 + \mu p_b + c_{dyn} \rho u^2, \quad (9)$$

worin  $\tau_0$  eine Mindest-Schubspannung,  $\mu$  den Koeffizienten der Coulomb'schen Reibung,  $p_b$  den Bodendruck (normal zur Gleitfläche),  $\rho$  die mittlere Dichte der fließenden Lawine (konstant zu  $200 kg m^{-3}$  angenommen),  $u$  die Geschwindigkeit und  $c_{dyn}$  einen turbulenten Reibungskoeffizienten bezeichnet.

In SamosAT ist  $c_{dyn}$  eine Funktion der Bettrauigkeit  $k$  und der Lawinen-Mächtigkeit  $d_F$ , modelliert nach der Theorie turbulenter Grenzschichtströmungen an rauen Wänden:

$$c_{dyn} = \left(\frac{1}{\kappa} \ln \frac{d_F}{k} + B\right)^{-2}. \quad (10)$$

In dieser Gleichung sind  $\kappa$  (0,43) und  $B$  (4,13)

dimensionslose, empirisch ermittelte Konstanten. Ein Wert von 0,1 m wird für  $k$  angenommen.

Für eine Anwendung in der Praxis ist es von Vorteil, denselben Satz von Parameterwerten für eine große Bandbreite von Lawinen verwenden zu können. Für die Coulomb'sche Reibung wird ein Wert  $\mu = 0,155$  gewählt. Das ist ein Wert für große Lawinen nach den bekannten Schweizer Richtlinien zur Berechnung von Fließlawinen (Salm et al., 1990). Als Folge (mit dem Modellparameter  $\tau_0$  gleich Null) errechnet SamosAT zu große Auslauflängen für kleine, seichte Lawinen, obwohl die turbulente Reibung die Geschwindigkeit mit sinkender Fließmächtigkeit überproportional vermindert. Das war die Motivation dafür, eine Mindestschubspannung  $\tau_0$  einzuführen. Diese ist in der Lage, insbesondere seichte Lawinen bereits bei einer Geländeneigung  $\psi$  zum Stillstand zu bringen, die größer als der Bodenreibungswinkel  $\arctan \mu$  ist. Das ist aus der Impulsbilanz ersichtlich, die sich für ein Fluidelement und in Strömungsrichtung wie folgt schreibt:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= g \sin \psi - \frac{\tau_b}{\rho d_F} \\ &= g \sin \psi - \frac{\tau_0}{\rho d_F} - \mu g \cos \psi - c_{dyn} \frac{u^2}{d_F}. \end{aligned} \quad (11)$$

Dabei wurde die Gleichung bereits auf die Masse des Elementes bezogen und der Bodendruck gleich  $p_b = \rho g d_F \cos \psi$  gesetzt (die Druckerhöhung durch Zentrifugalkräfte und die seitlichen Druckkräfte seien hier zur übersichtlicheren Darstellung vernachlässigt). Die Beschleunigung ist demnach unter einer Grenz-Geländeneigung  $\psi_0$  strikt negativ, die definiert ist durch die Beziehung

$$\tan \psi < \mu + \frac{\tau_0}{\rho g d_F \cos \psi}. \quad (12)$$

Durch die Einführung der Mindestschubspannung

erhöht sich diese Grenzneigung also überproportional stark mit abnehmender Fließmächtigkeit  $d_F$ .

In SamosAT wird angenommen, dass eine Schneeaufnahme nur an der Fließlawinenfront durch Einpflügen erfolgt. Wenn die Mächtigkeit des aufgenommenen Schnees mit  $d_E$  und seine Dichte mit  $\rho_E$  bezeichnet werden, ergibt sich eine Massenaufnahme in einem Fluidelement pro Sekunde zu

$$\frac{dm_E}{dt} = \rho_E d_E w_f u, \quad (13)$$

wobei  $w_f$  [m] die Frontbreite pro Element senkrecht zur Geschwindigkeit  $u$  bezeichnet. (Für Elemente, die sich nicht an der Front befinden, ist die Frontbreite gleich null.) Die aufgenommene Masse ergibt in der Impulsbilanz (11) einen zusätzlichen Term auf der rechten Gleichungsseite:

$$-\frac{u}{\rho A d_F} \frac{dm_E}{dt} = -\frac{\rho_E d_E}{\rho d_F} u^2 \frac{w_f}{A}. \quad (14)$$

Darin bezeichnet  $A$  die Bodenfläche des Fluidelementes. Dieser Term beschreibt die bremsende Wirkung aufgenommenen Schnees durch die Kraft, die nötig ist, den Schnee auf die Lawinengeschwindigkeit zu beschleunigen.

Darüber hinaus erlaubt SamosAT die Berücksichtigung einer zusätzlichen Widerstandskraft  $F_{ent}$ , die erforderlich ist, den aufgenommenen Schnee vom Boden zu lösen und ihn auf die Fließlawinendichte zu komprimieren (i.A. gilt ja  $\rho_E < \rho$ ):

$$F_{ent} = w_f (e^s + \rho_E d_E e^d). \quad (15)$$

In dieser Beziehung ist  $e^s$  [ $J m^{-2}$ ] die erforderliche Löse-(Bruch)-Energie bezogen auf die Bruchfläche und  $e^d$  [ $J kg^{-1}$ ] die Kompressions-Energie pro Masseneinheit ( $s$  und  $d$  sind hier Indizes, keine Exponenten). Diese Widerstandskraft liefert einen weiteren Term auf der rechten Seite

der Impulsbilanz, die sich wie folgt ergibt

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= g \sin \psi - \frac{\tau_0}{\rho d_F} - \mu g \cos \psi - c_{dyn} \frac{u^2}{d_F} \\ &\quad - \frac{w_f \rho_E d_E}{A \rho d_F} u^2 - \frac{w_f}{A} \left( \frac{e^s + \rho_E d_E e^d}{\rho d_F} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Die Modellkonstanten, mit Ausnahme von  $\tau_0$ ,  $e^s$  und  $e^d$ , wurden anhand von beobachteten Großlawinen bestimmt, für die die Schneeaufnahme als vernachlässigbar angenommen wurde. Zur Vereinfachung der Parameteranpassung wurde  $e^d$  auf null gesetzt, somit verbleibt die Bestimmung von optimalen Werten für  $\tau_0$  und  $e^s$ .

### 2.3 Parameteridentifikation

Der Parameter  $e^s$  soll unter Festhaltung der anderen Parameter des numerischen Modells so angepasst werden, dass die beobachtete und die modellierte Auslauflänge in einem Lawinenast übereinstimmen. Diese Aufgabe kann am effizientesten mit dem Newtonverfahren durchgeführt werden.

Dazu wird ein Residuum definiert

$$R := \hat{L}(e^s, \dots) - L, \quad (17)$$

als Differenz der beobachteten Auslauflänge  $L$  eines Lawinenastes und der zugehörigen berechneten Auslauflänge  $\hat{L}$ . Dieses Residuum hängt von  $e^s$  und allen anderen Parametern des numerischen Modells ab. Hier soll ein optimaler Wert für  $e^s$  bei festen anderen Parametern gefunden werden. Mit dem Newtonverfahren wird nun die Gleichung  $R = f(e^s) = 0$  gelöst. Eine Newtoniteration lautet

$$e^{s(j+1)} = e^{s(j)} - \left( \frac{\partial R^{(j)}}{\partial e^{s(j)}} \right)^{-1} R^{(j)}. \quad (18)$$

Die Berechnung wird mit einer ersten Schätzung  $e^{s(0)}$  gestartet. Die partielle Ableitung  $\left( \frac{\partial R}{\partial e^s} \right)^{(j)}$  wird durch finite Differenzen angenähert

$$\frac{\partial R^{(j)}}{\partial e^{s(j)}} \approx \frac{\hat{L}^{(j)}(e^{s(j)} + \mathcal{G}) - \hat{L}^{(j)}(e^{s(j)})}{\mathcal{G}}. \quad (19)$$

Die numerische Störung  $\mathcal{G}$  muss wegen der räumlichen Diskretisierung des Geländes (Gittergröße 5 m) in SamosAT eher groß gewählt werden, um sicherzustellen, dass  $\hat{L}(e^s + \mathcal{G}) - \hat{L}(e^s) \geq 2$  mal die Gittergröße ist (hier:  $\mathcal{G} = 25$ )

Die Iteration wird solange durchgeführt, bis  $|\hat{L} - L| \leq ATol$ .  $ATol$  ist eine benutzerdefinierte Toleranz, welche nicht kleiner als die Gittergröße gewählt werden kann (hier:  $ATol = 5$  m).

Weiter unten wird mithilfe einer vereinfachten Gradientenmethode der Modellparameter  $\tau_0 = 1125 N m^{-2}$  ermittelt. Für diesen Wert wird zum Vergleich das optimale  $e^s$  mit dem Newtonverfahren berechnet. Mit dem Startwert  $e^{s(0)} = 600 J m^{-2}$  konvergiert das Verfahren in 6 Iterationen (11 Simulationen)  $|\hat{L} - L| = 1 m \leq ATol$  (siehe Abb. 3 und Tab. 1). Quadratische Konvergenz wurde aufgrund der groben Näherung in (19) nicht erreicht.

$e^{s(j)}$	$e^{s(j)} + \mathcal{G}$	$\hat{L}^{(j)}(e^{s(j)}) - L$	$\hat{L}^{(j)}(e^{s(j)} + \mathcal{G}) - L$
[ $J m^{-2}$ ]	[ $J m^{-2}$ ]	[m]	[m]
600	625	123	118
1215	1240	54	50
1553	1578	25	18
1642	1667	16	9
1699	1724	6	5
1811	-	-1	-

Tab. 1: Ergebnis des Newtonverfahrens zur Berechnung von  $e^s$  (Details siehe Text)

Table 1: Results of application of the Newton method to calculate  $e^s$  (details in text)

Die Lawine vom 25. April 2007 weißt zwei Hauptäste auf. Mit der oben beschriebenen Methode kann nur die Auslauflänge eines Astes angepasst werden (Abb. 3). Um den zweiten Ast zu berücksichtigen, wird eine auf dem Newtonverfahren basierende vereinfachte Gradientenmethode ver-

wendet. Dazu wird ein über die  $n$  Profile entlang der Lawinenäste gewichteter Parameter  $e_w^s$  definiert

$$e_w^s := \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i (e_i^s)^2}. \quad (20)$$

Für die Wichtungsfaktoren  $0 < k_i < 1$  der einzelnen Profile gilt  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ .

Das Residuum jedes einzelnen Profiles in der Iteration ist definiert als

$$R_i^{(j)}(e_w^{s(j)}, \dots) := \hat{L}_i^{(j)}(e_w^{s(j)}, \dots) - L_i, \quad (21)$$

wobei in den SamosAT Berechnungen der gewichtete Parameter  $e_w^{s(j)}$  verwendet wird.

Die Iteration beginnt mit den Anfangswerten für die Profile  $e_i^{s(0)} = e_w^{s(0)}$  und  $e_i^{s(1)} = e_w^{s(0)} + \vartheta$  (hier:  $\vartheta = 100$ ). In den folgenden Iterationen ( $j \geq 1$ )

wird berechnet

$$e_i^{s(j+1)} = e_i^{s(j)} - \left( \frac{\hat{L}_i^{(j)} - \hat{L}_i^{(j-1)}}{e_i^{s(j)} - e_i^{s(j-1)}} \right) R_i^{(j)}. \quad (22)$$

Der nach (20) über die Profile gemittelte Wert

$$e_w^{s(j+1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i (e_i^{s(j+1)})^2} \quad (23)$$

wird in der jeweils folgenden Berechnung verwendet. Die Iteration wird weitergeführt, wenn  $E_W^{(j+1)} \leq E_W^{(j)}$ , mit

$$E_W = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i \left( \frac{R_i}{L_i} \right)^2}. \quad (24)$$

Eine Intervallhalbierungsmethode wird über diesen Algorithmus gelegt, um ein optimales  $\tau_0$  zu finden.

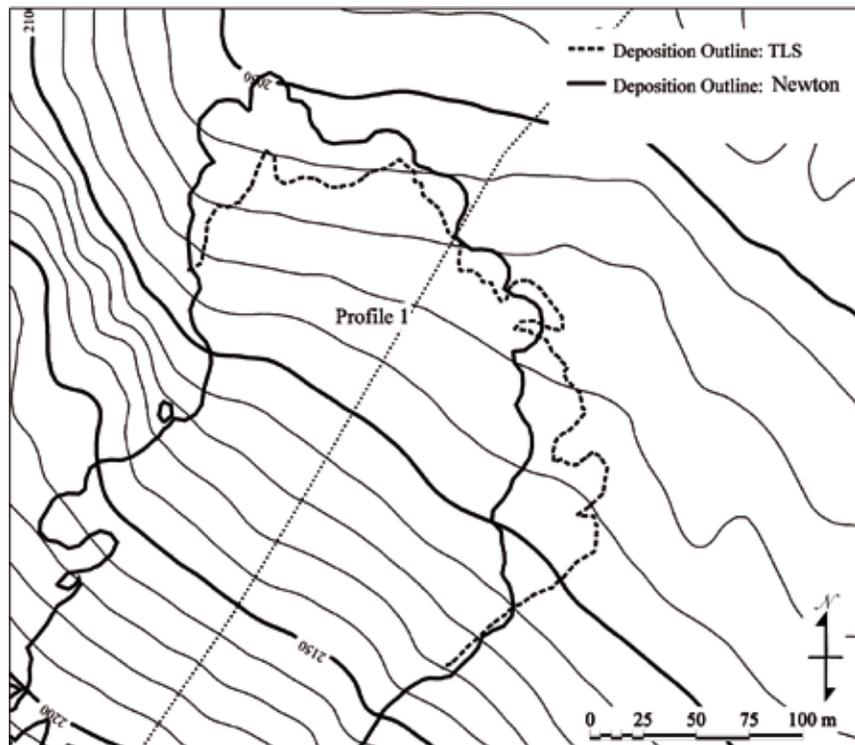


Abb. 3: Karte mit dem simulierten (N) und beobachteten Auslauf (TSL); der Parameter  $e^s$  wurde für das Profil 1 mit dem Newtonverfahren zu  $e^s = 1811 \text{ Jm}^2$  bestimmt (für ein  $\tau_0 = 1125 \text{ N m}^{-2}$ )

Fig. 3: Map showing simulated (N) and measured avalanche run-out (TSL); the parameter  $e^s = 1811 \text{ Jm}^2$  was determined with the Newton method for profile 1 (for  $\tau_0 = 1125 \text{ N m}^{-2}$ )

### 3. Ergebnisse

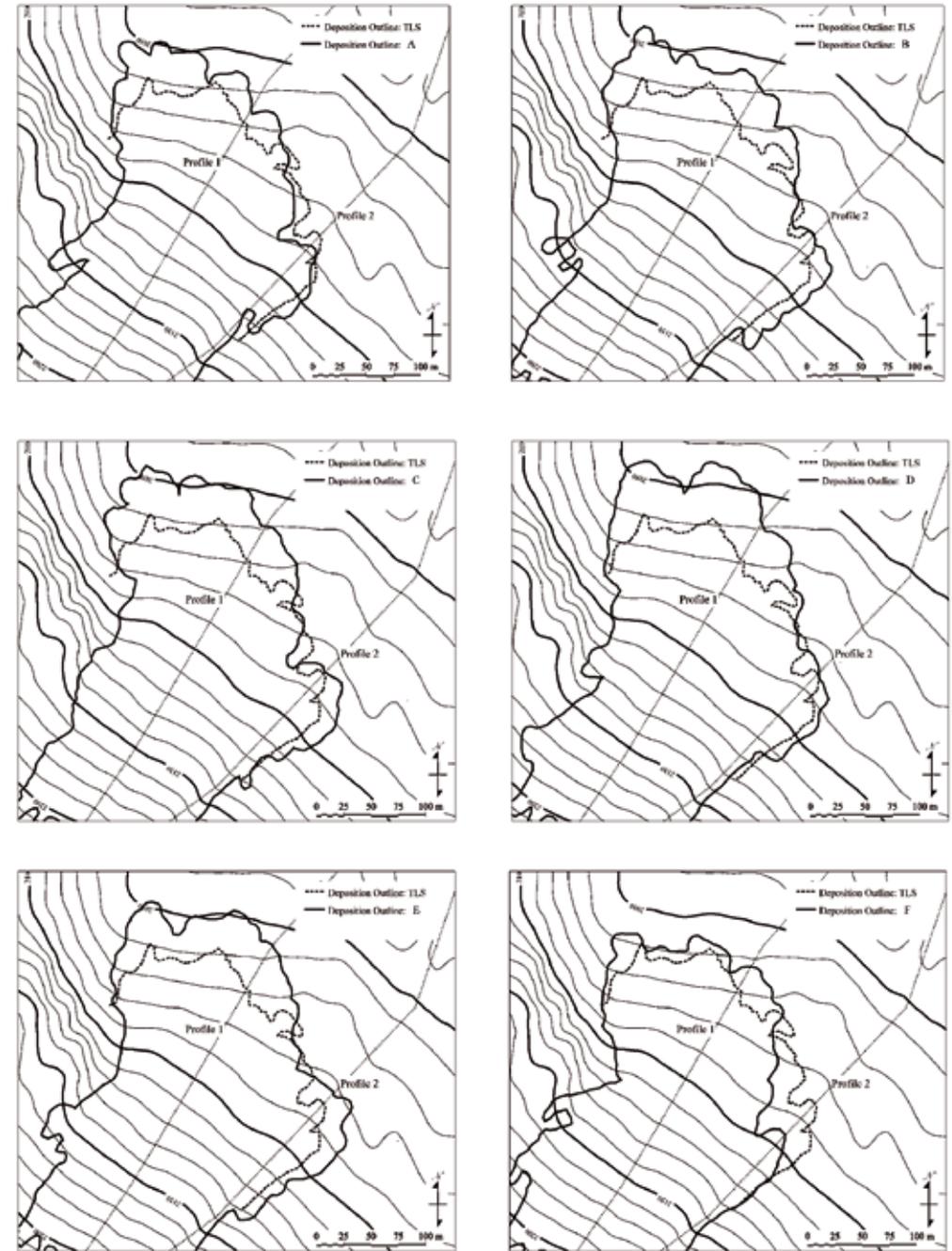


Abb. 4: TLS-Messungen (25. April zu 23. April 2007) im Anbruchgebiet (links) und im Lawinenablageungsgebiet (25. April 2007 zu Sommergelände) (rechts)

Fig. 4: TLS measurement (April to April 2007) from release zone (left) and avalanche deposition area (April 2007 to summer terrain) (right)

TLS wird dazu verwendet, um einen der Schlüsselparameter in der Lawinsimulation, die mittlere Anbruchhöhe  $\bar{d}^R$  (4), zu ermitteln. Das aufgrund der Photodokumentation gut abgrenzbare Anbruchgebiet, kann in zwei Teilgebiete untergliedert werden (oberes  $S_U$  und unteres  $S_L$  Teilanbruchgebiet) (Abb. 2). Die projizierte Fläche  $A$  [m] von  $S_U$  beträgt 17000  $m^2$ , jene von  $S_L$  25000  $m^2$ . Die schräge (tatsächliche) Fläche  $A_i$  beläuft sich auf 21000  $m^2$  im Falle von  $S_U$  30000  $m^2$  für  $S_L$  (Abb. 3). Die mit dem TLS gemessenen Anbruchvolumina betragen 19000  $m^3$  ( $S_U$ ) bzw. 24600  $m^3$  ( $S_L$ ).

Die korrespondierenden mittleren Anbruchhöhen von -0,97 für  $S_U$  bzw. -0,92 m für  $S_L$  divergieren nur gering. In-Situ-Messungen an der Anbruchkante ergeben im Maximum Anbruchhöhen von bis zu -1,85 m. Die mittlere händisch gemessene Höhe der Anbruchkante beträgt -1,1 m. Nahe des Anbruchgebietes wurden auch Schneedichtemessungen durchgeführt. Aufgrund der Spätwintersituation war die Schneedichte relativ hoch und darüber hinaus homogen über den ganzen Hang annähernd gleich verteilt. Acht Dichteabstiche wurden durchgeführt. Die Messungen ergeben ein minimale Schneedichte im Anbruchgebiet von 398 und eine maxima-

le Schneedichte von 470  $kg\ m^{-3}$  (Mittelwert  $\bar{\rho}^R = 450\ kg\ m^{-3}$ ).

Erwartungsgemäß lieferte die Messung der Lawinenablagerung mit 600  $kg\ m^{-3}$  ( $\bar{\rho}^D$ ) höhere Dichtewerte. Unter Berücksichtigung eines mit dem Laserscanner gemessenen Ablagerungsvolumens von 97200  $m^3$  ergibt sich damit eine Ablagerungsmasse  $M_D$  von  $58,3 \times 10^6\ kg$  (Abb. 3). Demgegenüber beläuft sich die gesamte Anbruchmasse  $M_R$  auf lediglich  $-19,6 \times 10^6\ kg$ . Unter Berücksichtigung der Gleichungen 7 und 8 ist der Differenzbetrag von  $-38,7 \times 10^6\ kg$  auf Entrainment zurückzuführen. Diese Masse (ruhender Schnee entlang der Lawinenbahn) wurde während des Lawinenabgangs von der Lawine aufgenommen (Tab. 2).

Aufgrund der Charakteristik der Lawine vom 25. April 2007 wurde nur der Fließanteil der Lawine berechnet (zweidimensionale Fließlawinenberechnung mit SamosAT). Die durchschnittliche Anbruchtiefen  $\bar{d}^R$ , die für die Simulation verwendet wurden, ergeben sich aus Gleichung 4 mit -0,97 m für  $S_U$  und -0,92 m für  $S_L$ . Das Anbruchvolumen in SamosAT ( $V_R$  mit  $-48300\ m^3$ ), das auf diesen Werten aufbaut, unterscheidet sich mit 4700  $m^3$  Differenz nur unwesentlich vom gemessenen Anbruchvolumen ( $-43500\ m^3$ ).

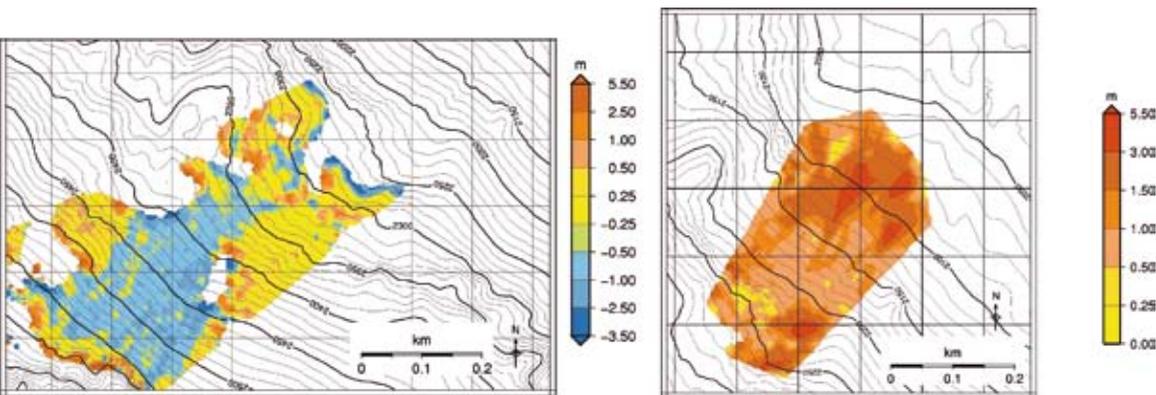


Abb. 5: Karte mit den berechneten Auslauflängen (A, B, C, D, E, F) und der gemessenen Auslauflänge (TLS); die Parameterkombination (Tab. 3) wurde mithilfe der vereinfachten Gradientenmethode ( $e^s$ ) und Intervallhalbierungsmethode ( $\tau_0$ ) aus den Profilen 1 und 2 bestimmt

Fig. 5: Maps showing simulated avalanche run-outs (A, B, C, D, E, F) and the measured avalanche run-out (TLS); the parameter combinations (see Table 3) were gained with the simplified gradient method ( $e^s$ ) and the overlaid bisection method ( $\tau_0$ ) for profiles 1 and 2

Parameter		$S_U$	$S_L$	Sum
$\bar{d}^R$	[m]	-0,97	-0,92	-
A	[ $m^2$ ]	17000	25000	42000
$\Psi$	[ $^\circ$ ]	35,8	33,5	-
$A_i$	[ $m^2$ ]	21000	30000	51000
$V_R$	[ $m^3$ ]	-19000	-24600	-43500
$M_R$	[ $\times 10^6\ kg$ ]	-8,6	-11,0	-19,6
$V_D$	[ $m^3$ ]	-	-	97200
$M_D$	[ $\times 10^6\ kg$ ]	-	-	58,3
$M_E$	[ $\times 10^6\ kg$ ]	-	-	-38,7

Tab. 2: Massenbilanz Parameter der Lawine vom 25. April 2007 (abgeleitet aus Gleichung 1 bis 7)

Table 2: Mass balance parameter of the avalanche from April 25th 2007 (for details see Equations 1 to 7)

Unter Berücksichtigung der Annahmen aus dem vorangegangenen Abschnitt wird  $\tau_0$  mithilfe des Intervallhalbierungsverfahrens ermittelt. Demgegenüber wird die Optimierung des Parameters  $e^s$  auf Basis der Gleichungen 22 und 23 durchgeführt. Unter der Annahme, dass 1125  $N\ m^{-2}$  die beste Wahl für  $\tau_0$  darstellt, kann mit fünf Iterationsschritten und relativ wenig Aufwand ein optimales  $e^s$  mit 1652  $J\ m^{-2}$  ermittelt werden. Tab. 3 zeigt die Reihung der sechs besten Parameterkombinationen, welche für die Nachrechnung der Lawine vom 25. April 2007 verwendet wurden. Die Berechnung von  $E^W$  ist mit Gleichung 24 an den Profilen 1 und 2 (Abb. 3) durchgeführt worden. Gleichung 23 wird zur Ermittlung von  $e^s$  herangezogen, wobei Profil 1 mit zwei Drittel und Profil 2 mit einem Drittel gewichtet ist. Diese Gewichtung spiegelt die Wichtigkeit der zwei maßgeblichen Lawinenkörper wider.

Die Parameterkombinationen zeigen leicht gegenläufige Trends bei der Berechnung der Auslauflänge. Ein zufriedenstellendes Ergebnis für die Berechnung des linken Lawinenkörpers (Profil 1) führt beispielsweise (Parameterkombination F) zu einer Verkürzung der Auslauflänge im rechten

Kombination	$\tau_0$ [ $N\ m^{-2}$ ]	$e^s$ [ $J\ m^{-2}$ ]	$E^W$
A	1125	1652	0,015
B	1125	1555	0,026
C	1094	1750	0,028
D	1063	1725	0,029
E	1000	1898	0,033
F	1250	1410	0,035

Tab. 3: Die sechs besten Parameterkombinationen für  $\tau_0$  und  $e^s$  mit den gewichteten Mitteln für den relativen Fehler  $E^W$  (Details siehe Text)

Table 3: The six best parameter combinations for the minimal shear resistance  $\tau_0$  and the breaking energy  $e^s$  with the weighted average of the relative errors  $E^W$  (for details see text)

Randbereich (Profil 2; Abb. 3). Demgegenüber liefert ein gutes Ergebnis an Profil 2 (Parameterkombinationen B, C und D) eine zu geringe Auslauflänge des Hauptastes der Lawine. Nur Parameterkombination A liefert demnach gute Ergebnisse (geringster gewichteter relativer Fehler) an beiden Profilen und somit das beste Simulationsergebnis. Die restlichen Parameterkombinationen stimmen nur an einem Profil gut mit den gemessenen Auslauflängen überein. Die berechnete laterale Ausdehnung stimmt in allen Fällen gut mit den gemessenen Werten überein. Gut ersichtlich ist dies besonders nahe der kleinen Rinne, zwischen 2140 m und 2190 m (Abb. 5). Dieser Bereich markiert die orographisch rechte Begrenzung der Lawine im unteren Bereich der Sturzbahn und wird in allen Simulationen gut nachgebildet.

In einer Höhe von 2210 m wird der untere relativ gleichmäßig geneigte Hangabschnitt von einer Felsbarriere (orographisch links) und einer seichten Mulde (orographisch rechts) unterbrochen. Der nach oben anschließende Mittelteil weist ein unruhiges Relief mit mäßiger Neigung auf. In den flachen Bereichen dieses Abschnittes wurden Lawinenablagerungen verzeichnet. Sowohl diese Deposition als auch die Deposition im orographisch links angrenzenden Bereich

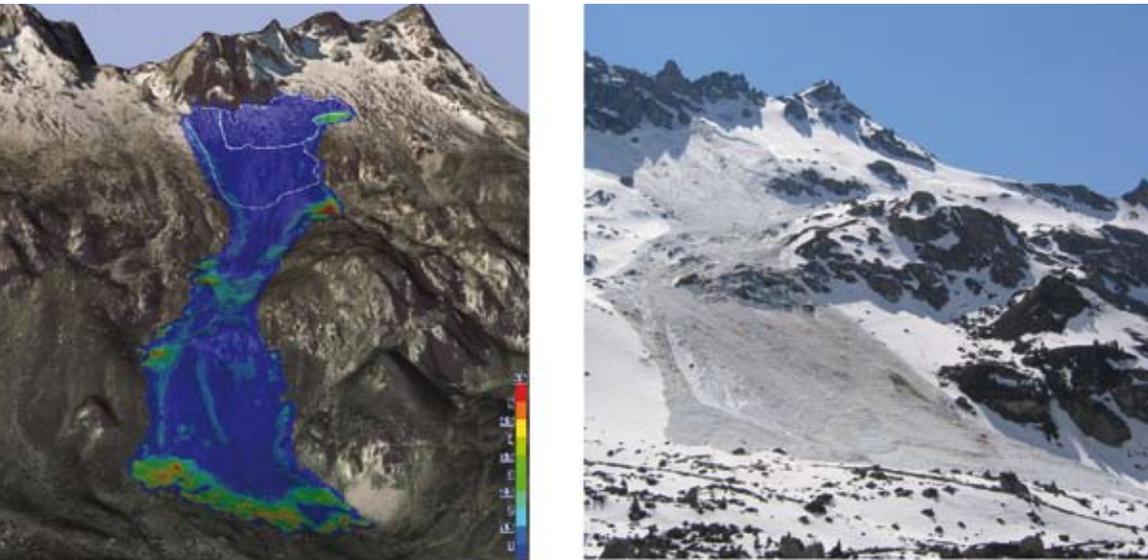


Abb. 6: Fließtiefen (farbige Flächen) der SamosAT-Simulationen mit der Parameterkombination A (links) und ein Photo, das kurz nach dem Lawinenabgang aufgenommen wurde (rechts)

Fig. 6: Simulation result (colored areas) with parameter combination A (left) and photo taken shortly after the event (right)

werden durch die Lawinensimulationen mit SamosAT nachgebildet (Abb. 4). Im eigentlichen Ablagerungsbereich sind sowohl in der Photodokumentation als auch in den Laserscannungen kegelförmige Depositionen erkennbar. Diese simulierten Ablagerungsmassen hingegen konzentrieren sich entgegen den Beobachtungen und Messungen entlang der Ablagerungsaußengrenze.

Die aus der Photodokumentation abgeleitete Gesamtlauflänge der Lawine beträgt vom Auslösezeitpunkt bis zum Stillstand des Hauptastes der Lawine 50 bis 52 Sekunden. Mit einer Lauflänge der Lawine vom Stauchwall bis zur Ablagerungsaußengrenze von ca. 800 m ergibt dies eine Durchschnittsgeschwindigkeit von  $16 \text{ m s}^{-1}$ .

Das Geschwindigkeitsprofil, welches auf der Simulation mit dem optimierten Parametersatz beruht, zeigt drei ausgeprägte Maxima (Abb. 7). Die absolut höchste Frontgeschwindigkeit mit  $25 \text{ m s}^{-1}$  wird im oberen Abschnitt der Lawinenbahn erreicht. Erwartungsgemäß setzt im flachen Mittelteil eine Verzögerung der Frontgeschwindig-

keit ein. Aufgrund einer daran anschließenden Versteilung im Bereich des oben erwähnten Felsgürtels gewinnt die Lawine wieder an Geschwindigkeit. Das dritte Maxima mit  $23 \text{ m s}^{-1}$  wird am Anfang des letzten Drittels der Sturzbahn erreicht. Die simulierte Lawine erreicht nach 54 Sekunden den Talboden. Damit ergibt sich eine mittlere simulierte Lawinenlaufzeit von  $15 \text{ m s}^{-1}$ . Die mit SamosAT berechneten Geschwindigkeiten stimmen somit gut mit den gemessenen Geschwindigkeiten (Durchschnitt und Spitzen) überein.

Die Dopplerradar-Messungen liefern als Ergebnis der Auswertung der Geschwindigkeits-Zeitdiagramme vier unterschiedlich ausgeprägte und unterschiedlich lange Geschwindigkeitsprofile. Jedes dieser Profile ist mit einem mehr oder weniger separierten Lawinenkörper in Verbindung zu bringen. Eine genaue Lokalisierung der Lage der Profile ist allerdings nicht möglich.

Abb. 7 zeigt die Variabilität der Frontgeschwindigkeit entlang der Radarprofile I bis IV. Es ist davon auszugehen, dass Profil I und II mit der

Hauptmasse der Lawine in Verbindung stehen, welche auch durch das Profil 1 (Abb. 2 und 3) repräsentiert ist. Die Radarprofile III und IV beziehen sich auf laterale Äste der Lawine vom 25. April 2007. Insgesamt sind die Radargeschwindigkeiten höher als die simulierten Frontgeschwindigkeiten. Beispielsweise übersteigt das absolute Maximum des Radarprofils II das dritte SamosAT-Geschwindigkeitsmaximum um lediglich  $5 \text{ m s}^{-1}$ . Demnach stimmen die simulierten Geschwindigkeiten gut mit den gemessenen Werten überein.

#### 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Fernerkundungstechniken, insbesondere die hier

vorgestellte Methode der terrestrischen Laserscannung, erweisen sich als hilfreiche Werkzeuge in der Massenbilanzberechnung von Lawinen. Mit der hier vorgestellten Methode lassen sich sowohl die Schneehöhenabnahme (Lawinenanbruch, Entrainment) als auch die Akkumulation der Schneemasse entlang der Lawinenbahn und im Ablagerungsgebiet mit ausreichender Genauigkeit messen. Die abgelagerte Lawinenmasse mit  $58,3 \times 10^6 \text{ kg}$  ist in etwa 2,5-mal so groß wie die Anbruchmasse ( $19,6 \times 10^6 \text{ kg}$ ). Diese Massenzunahme ist auf eine mehr oder weniger kontinuierliche Aufnahme (Entrainment) von Schnee entlang der Lawinenbahn zurückzuführen und liegt im Bereich schon dokumentierter Größen (Sailer et

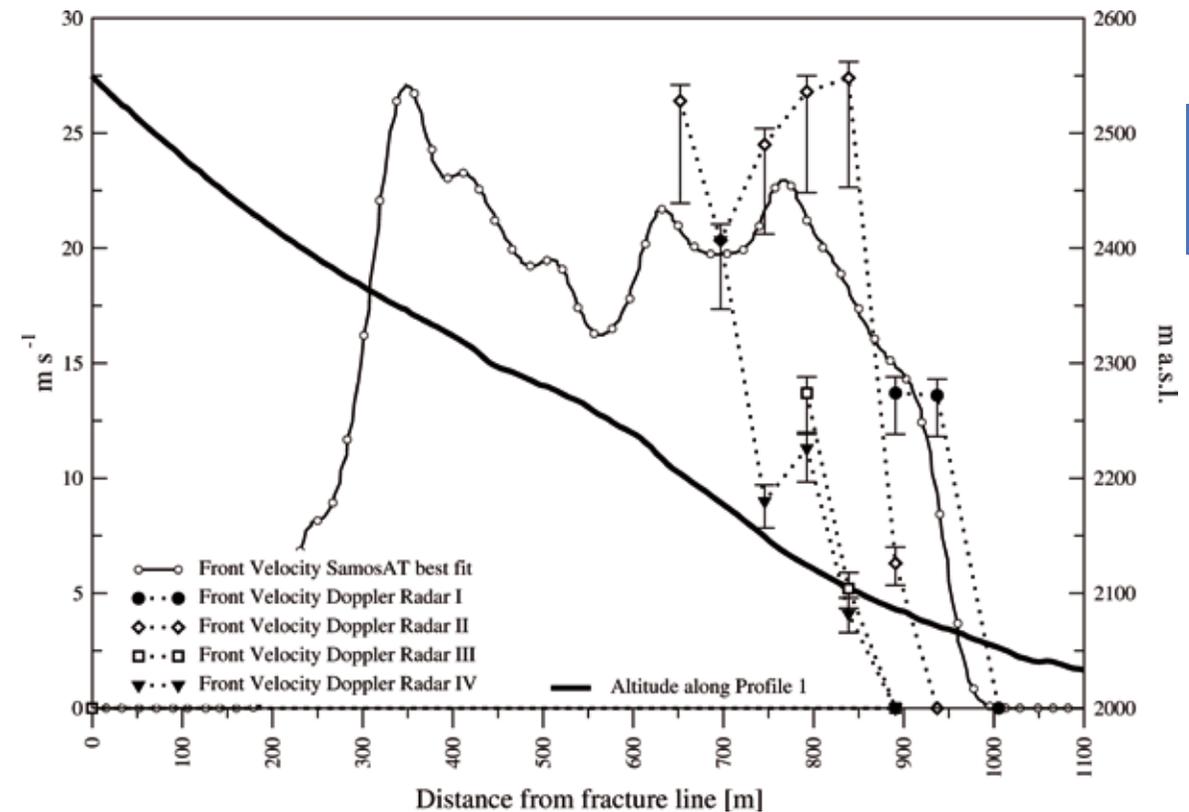


Abb. 7: SamosAT Frontgeschwindigkeiten von Berechnungen mit der Parameterkombination A und die mit Dopplerradar gemessenen Werte; die Fehlerbalken weisen auf Messunsicherheiten hin

Fig. 7: Velocities of SamosAT simulation with parameter combination A and from Doppler radar; error bars indicate measurement uncertainties

al., 2002; Sovilla et al., 2001, 2007; Sovilla und Bartelt, 2002). Ein Tag vor dem Lawinenabgang wurden Laserscanmessungen durchgeführt und einer Validierung unterzogen. Die Ergebnisse der Validierung (Schaffhauser et al., 2008) zeigen, dass die TLS-Messungen mit hoher Genauigkeit (mittlere Abweichung 0,04 m, Median 0,045 m, Standardabweichung 0,17 m, Korrelationskoeffizient 0,9) vorliegen und eine verlässliche Abschätzung der Lawinenmassenbilanz zulassen.

Somit können die Anbruchmasse, die Entrainmentmasse, die Ausdehnung der Lawine und die Ablagerungsmasse zur Parameteroptimierung des Lawinensimulationsmodells SamosAT herangezogen werden. Zum Zeitpunkt, an dem die Parameteroptimierung durchgeführt wurde, war es notwendig, eine durchschnittliche Anbruchhöhe pro Anbruchgebiet zu bestimmen. Im vorliegenden Fall ist dieser Ansatz aufgrund der wenig reliefierten Topographie im Anbruchgebiet ausreichend verlässlich. Im Gegensatz dazu erschien es den Autoren notwendig, für stark reliefierte Anbruch- oder Entrainmentgebiete einen Ansatz zu wählen, welcher der tatsächlichen inhomogenen Schneehöhenverteilung gerecht wird. Die neuesten Versionen von SamosAT beinhalten nun die Möglichkeit, unregelmäßig verteilte Schneehöhen komplexer Topographien, die im Rasterformat (z.B. aus TLS-Messungen) vorliegen, als Anbruch- oder Entrainmentgebiet zu berücksichtigen. Erste Tests mit dieser Version haben vielversprechende Ergebnisse geliefert.

Um die Parameteranpassung zu strukturieren und die Anzahl der Simulationen gering zu halten, wurden zwei Näherungsverfahren angewandt. Mit dem bekannten Newton-Verfahren waren 11 Einzelsimulationen notwendig, um eine optimale Parameterkombination zu erhalten. Mit dieser Methode ist es möglich – unter Einschränkung auf ein Profil und einen Parameter – eine exakte Übereinstimmung der simulierten mit

den gemessenen Werten zu erreichen (Abb. 3). Aufgrund der relativ groben Rasterauflösung im Simulationsmodell SamosAT kann der Gradient der Residuen allerdings nur grob angenähert werden. Eine Folge davon ist, dass das Verfahren nicht mehr eindeutig quadratisch konvergiert.

Die Charakteristik (mindestens zwei bedeutende Lawinenäste) der künstlich ausgelösten Lawine machte es erforderlich, eine vereinfachte Gradientenmethode einzuführen, mit welcher die Parameteranpassung an zwei Profilen möglich ist. Mit dieser Methode kann keine exakte Übereinstimmung von Rechen- und Simulationsergebnis hergestellt werden. Der Vorteil der Methode besteht aber darin, mehrere Profile in den Optimierungsprozess mit einzubeziehen (Abb. 3). Da diese Art der Approximation die Ergebnisse der vorangehenden Iteration berücksichtigt, kann die Zahl der Einzelsimulationen um die Hälfte reduziert werden. In unserem Fall führten fünf Simulationen mit einem relativen Fehler von  $E_W = 0,015$  zu einem zufriedenstellenden Resultat. Diese Methode ist auch geeignet, signifikante Störungen (etwa durch die Topographie bedingt) zu kompensieren.

Um den zweiten neuen SamosAT-Parameter  $\tau_0$  zu optimieren, wurde das Intervallhalbierungsverfahren angewandt, welches insgesamt den Aufwand der Parameteranpassung leicht erhöht.

Die beste Parameterkombination mit  $\tau_0 = 1125 \text{ Nm}^{-2}$  und  $e^5 = 1652 \text{ Jm}^{-2}$  führt zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Durch die Einführung der Parameter  $\tau_0$  und  $e^5$  ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung des Simulationsmodells SamosAT gesetzt worden.

Sowohl die mittlere Lawinengeschwindigkeit, die auf Basis der Photodokumentation gewonnen wurde, als auch die Dopplerradar-Geschwindigkeit stimmen gut mit der simulierten Geschwindigkeit überein. Eine fundierte lawinendynamische Validierung der Simulationsergeb-

nisse kann ohne Geschwindigkeitsinformationen nicht oder nur sehr schwer durchgeführt werden. Ergebnisse einer solchen Validierung sind dieser Studie zu entnehmen.

Zwei- und dreidimensionale Lawinensimulationsmodelle bedürfen eines komplexen Validierungs- und Verifikationsprozesses. Durch die Ausarbeitung der hier vorgestellten Methoden (Messung der maßgeblichen Größen wie Anbruchmasse, Entrainmentmasse, Ablagerungsmasse, Geschwindigkeit) wurde ein wichtiger Schritt in diese Richtung getan. Dennoch wird derzeit an der Ausarbeitung nichtlinearer Optimierungsmethoden (z.B. Gauß-Newton-Verfahren) gearbeitet. Die ersten Ergebnisse der Parameteroptimierung sind vielversprechend und erlauben im Gegensatz zu den hier vorgestellten Verfahren die Anpassung einer beliebigen Zahl von Parametern an mehreren gemessenen Stützgrößen (beispielsweise Auslauflänge, Druck, Geschwindigkeit).

An dieser Stelle muss nochmals betont werden, dass eine vertrauenswürdige Modell-Verifikation vertrauenswürdige Eingangsgrößen benötigt. Besonders die Entwicklung von wetterunabhängigen Methoden zur flächenhaften Schneehöhen- und Schneewasseräquivalentmessung sind dabei von großer Bedeutung.

#### Danksagung:

Das GALAHAD-Projekt wird von der Europäischen Union (Specific Targeted Research Project FP6-2004-Global-3, N. 018409) gefördert. Die Autoren danken dem Kommandanten des Truppenübungsplatzes Lizum/Walchen Oberst Knoll und seinem Team für die Unterstützung. Die Veröffentlichung der deutschen Übersetzung ist von der Internationalen Glaziologischen Gesellschaft genehmigt worden.

#### Adresse der Verfasser /

*Author's address:*

Rudolf Sailer  
Institut für Geographie, Universität Innsbruck  
Tel: +43-(0)512-507-5413  
E-Mail: rudolf.sailer@uibk.ac.at

Wolfgang Fellin  
Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

Reinhard Fromm  
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Philipp Jörg  
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung

Lambert Rammer  
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Peter Sampl  
AVL-List, Graz

Andreas Schaffhauser  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Regionalstelle für Tirol u. Vorarlberg

## Literatur

- BALTSAVIJS E.P., FAVEY E., BAUDER A., BÖSCH H. und M. PATERAKI. 2001. Digital surface modelling by airborne laser scanning and digital photogrammetry for glacier monitoring. Photogrammetric Record, 17 (98). 243-273.
- BARBOLINI M., GRUBER U., KEYLOCK C.J., NAAIM M. und F. SAVI. 2000. Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites. Cold Regions Science and Technology, 31, 133-149.
- BARBOLINI M., BIANCARDI A., CAPPABIANCA F., NATALE L. und M. PAGLIARDI. 2005. Laboratory study of erosion processes in snow avalanches, Cold Regions Science and Technology, 43, 1-9.
- CONFORTI C., DELINE P., MORTARA G. und A. TAMBURINI. 2005. Terrestrial Scanning Lidar Technology applied to study the evolution of the ice-contact image lake (Mont Blanc, Italy). Proceedings of the 9th Alpine Glaciological Meeting, Milan, Italy.
- DELINE P., DIOLAIUTI G., KIRKBRIDE M.P., MORTARA F., PAVAN, M. SMIRAGLIA, C. und A. TAMBURINI. 2004. Drainage of ice-contact Miage Lake (Mont Blanc Massif, Italy) in September 2004, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 27(2). 113-119.
- DEEMS, J. und PAINTER, T.H., 2006. Lidar measurement of snow depth: accuracy and error sources. ISSW 2006, Telluride, Colorado, USA. 300-338.
- DOZIER, J. und T.H. PAINTER. 2004. Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing of Alpine Snow Properties. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 32, 465-494.
- GAUER P. und D. ISSLER. 2004. Possible erosion mechanisms in snow avalanches. Annals of Glaciology, 32, 384-392.
- GAUER P., ISSLER D., LIED K., KRISTENSEN K., IWE H., LIED E., RAMMER L. und H. SCHREIBER. 2007. On full-scale avalanche measurements at the Ryggfönn test site, Norway. Cold Regions Science and Technology, 49, 39-53.
- GEIST T., LUTZ E. und J. STÖTTER. 2003. Airborne Laser Scanning Technology and its Potential for Applications in Glaciology. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, XXXIV (3W13). 101-106.
- GEIST T., ELVEHØY H., JACKSON M. und J. STÖTTER. 2005. Investigation on intra-annual elevation changes using multitemporal airborne laser scanning data - case study Engabreen, Norway. Annals of Glaciology, 42, 195-201.
- JÖRG P., FROMM R., SAILER R., und A. SCHAFFHAUSER. 2006. Measuring snow depth with a Terrestrial Laser Ranging System. ISSW 2006, Telluride, Colorado, USA. 452-460.
- LIPPERT J., WASTL M., STÖTTER J., MORAN J., GEIST T. und C. GEITNER. 2006. Measuring and modelling ablation and accumulation on glaciers in Northern Iceland. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 89, 87-98.
- LUZI, G., PIERACCINI, M., NOFERINI, L., MECATTI, D., MACALUSO, G., ATZENI, C., JÖRG, P. und R. SAILER. 2007. Microwave Interferometric Measurements Over a Snow Covered Slope: An Experimental data Collection in Tyrol (Austria), Proceedings of IGARSS 2007 Barcelona, Spain.
- MIKOŠ M., VIDMAR A. und M. BRILLY. 2005. Using a laser measurement system for monitoring morphological changes on the Strug rock fall, Slovenia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 143-153.

MOSER A., GEIGL B., STEFFAN H., BAURA, PAAR G., FROMM R., SCHAFFHAUSER H., KÖCK K., SCHÖNHUBER M. und W. RANDEU. 2001. SAMPLE - Snow avalanche monitoring and prognosis by Laser equipment - Final Report (in German).

NAAIM M., NAAIM-BOUVET F., FAUG T. und A. BOUCHET. 2004. Dense snow avalanche modeling: flow, erosion, deposition and obstacle effects. Cold Regions Science and Technology, 39, 193-204.

NAAIM-BOUVET F., SAMPL P., BACHER M., GRANIG M., HEILIGENSTEIN L., NAAIM M., OUSSET F., PAIN S. und M. PRIMUS. 2003. Interaction of powder snow avalanches with defense structures. Final Report of project CADZIE (Catastrophic Avalanches, Defense structures and zoning in Europe), Final Report, Cemagref, Grenoble.

PROKOP A. 2006. Hangbezogene Ermittlung der flächigen Schneehöhenverteilung mittels Laserscanners. Wildbach- und Lawinenverbau, 154, 80-86.

RANDEU, W., RIEDLER, W. und R. OKORN. 1990. A pulsed Doppler radar for the acquisition of avalanche dynamics. Symposium on "Avalanches and planning of mountain territory (CIV'90), October 9 -- 10, Arabba (BL), Italy.

RAMMER, L. 2000. Velocity measurements of avalanches by a Pulsed Doppler Radar, IUFRO International Workshop: Hazard Mapping in Avalanching Areas, Proceedings: 102-120.

RAMMER, L., KERN, M.A., GRUBER, U. und F. TIEFENBACHER. 2007. Comparison of avalanche-velocity measurements by means of pulsed Doppler radar, continuous wave radar and optical methods. Cold Regions Science and Technology, 50, 35-54.

SAILER, R., FELLIN, W., FROMM, R., JÖRG, P., RAMMER, L., SAMPL, P. und A. SCHAFFHAUSER. 2008. Snow avalanche mass-balance calculation and simulation-model verification. Annals of Glaciology, 48, 183-192.

SAILER, R., RAMMER, L., und P. SAMPL. 2002. Recalculation of an artificially released avalanche with SAMOS and validation with measurements from a pulsed Doppler radar. Nat. Hazards and Earth Syst. Sci., 2, 211-216.

SALM, B., BURKARD, A. und H.U. GUBLER. 1990. Berechnungen von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 47, 33 pp.

SAMPL, P. und T. ZWINGER. 2004. Avalanche Simulation with SAMOS, in Annals of Glaciology, 38, 393-398.

SCHAFFHAUSER, A., ADAMS M., FROMM, R., JÖRG, P., LUZI, G., NOFERINI, L. und R. SAILER. 2008. Remote sensing based retrieval of snow cover properties. Cold Regions Science and Technology. Doi: 10.1016/j.coldregions.2008.07.007

SOVILLA, B. und P. BARTELT. 2002. Observations and modelling of snow avalanche entrainment. Nat. Hazards and Earth. Syst. Sci., 2, 169-179.

SOVILLA, B., MARGRETH, S. und P. BARTELT. 2007. On snow entrainment in avalanche dynamics calculations. Cold Regions Science and Technology, 47, 69-79.

SOVILLA, B., SOMMAVILLA, F. und A. TOMASELLI. 2001. Measurements of mass balance in dense snow avalanche events. Annals of Glaciology, 32, 230-236.

ZWINGER, T., KLUWICK, A. und P. SAMPL. 2003. Simulation of Dry-Snow Avalanche Flow over Natural Terrain. In Hutter, K. and N. Kirchner, ed. Dynamic Response of Granular and Porous Materials under Large and Catastrophic Deformations. 161-194. Springer, Heidelberg.

# moser / jaritz

Ingenieurbüro für Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik



**Münzfeld 50**  
A-4810 Gmunden  
T 0 76 12 / 75 101-0  
F 0 76 12 / 75 101-33

**Bachwinkl 126**  
A-5760 Saalfelden  
T 0 65 82 / 74 494-0  
F 0 65 82 / 74 494-33

W [www.moser-jaritz.at](http://www.moser-jaritz.at)  
E [office@moser-jaritz.at](mailto:office@moser-jaritz.at)

**Härteste Produktionsbedingungen eliminieren Schwächlinge sofort:**

# Lieco: Nur die Härtesten qualifizieren sich!

Der bekannte Ballenpflanzen Anbieter Lieco hat sich in einer der härtesten Klimaregionen Österreichs angesiedelt. Denn nur die widerstandsfähigsten Pflanzen überstehen den Härtesten im Forstgarten Kalwang und können daher getrost als Lieco qualitätskontrollierte Pflanzen auf den Markt gebracht werden.

Für einen Forstbetrieb sind Ausfälle bei Aufforstungsprojekten heute kostenmäßig kaum mehr tragbar. Daher hat man sich bei Lieco schon vor mehr als 20 Jahren Gedanken gemacht wie man die Ausfälle von Forstpflanzen auf ein Minimum reduzieren kann. Qualitativ hochwertiges Saatgut mit höchster Keimkraft ist die Basis, um herkunftsgarantierte Forstballenpflanzen produzieren zu können. Umwelteinflüsse während der ersten Wachstumsjahre sind ein wesentliches Kriterium. Denn unter den klimatisch

extrem harten Bedingungen im Forstgarten Kalwang können nur extrem widerstandsfähige Pflanzen die ersten Jahre überstehen. Was dann den Forstgarten in Kalwang verlässt, kann man durchaus als

„Die Härtesten unter der Sonne“ bezeichnen. Nähere Informationen zu Spätsommerrücklieferung und Winterlager erhalten Interessierte direkt beim Hersteller in Kalwang unter (0043) 03846 8693-0 oder [www.lieco.at](http://www.lieco.at).

**Härteste Produktionsbedingungen eliminieren Schwächlinge sofort:**

*Ing. Heimo Wechselberger:  
„Nur Ballenpflanzen, die auch die harte Qualifikationsrunde im Forstgarten Kalwang überstehen, dürfen sich auch Lieco nennen und werden zur Spätsommer- oder Frühjahresaufforstung ausgeliefert. Denn nur die Härtesten qualifizieren sich, und werden uns Erfolge bringen!“*



REINHARD RIBITSCH, SIEGFRIED HERMANN

## Georisikokartierungen im Rahmen der Gefahrenzonenplanung – Beispiele aus der Gemeinde Gasen, Oststeiermark.

### *Risk map planning by use of basic geological mapping on landslide hazards - examples from the area around the commune of Gasen, Eastern Styria.*

#### Zusammenfassung:

Gefährdungen durch Wildbäche und Lawinen werden seit dem Forstgesetz 1975 im Gefahrenzonenplan als rote bzw. gelbe Gefahrenzone dargestellt. Naturgefahren, die von Steinschlägen oder Rutschungen stammen, wurden bisher einheitlich als brauner Hinweisbereich ausgeschieden, ohne dass eine Differenzierung nach dem Grad der Intensität erfolgte. Im nachfolgenden Beitrag wird das Konzept einer 2-stufigen Unterscheidung der braunen Zonen aufgrund unterschiedlicher Gefährdungsintensität geschildert.

#### Summary

According to the Austrian Forest Act 1975, the impact of torrents and avalanches are illustrated as red areas (high risk) or yellow areas (low risk). So far, the impact of rockfalls and landslides has been indicated by brown areas without any differentiation as far as intensity is concerned. In this paper we present a concept that distinguishes between two levels of landslide risk impact.

#### Einleitung

Die Gemeinde Gasen liegt im Bezirk Weiz. Die Höhenausdehnung erstreckt sich von 700 m bis etwa 1530 m. Geomorphologisch ist das Gebiet des oststeirischen Hügellandes als Plateaulandschaft mit Mittelgebirgscharakter ausgebildet, wobei in den Hochlagen flache Kuppen dominieren, die durch sehr steile Hanglagen enger Tälern unterbrochen sind. Den Felsuntergrund im Gemeindegebiet von Gasen bilden Gesteine des Anger-Kristallin-Komplexes und es treten tektonisch stark beanspruchte Gesteinsserien wie phyllonitische Glimmerschiefer und Mylonite auf, in denen Hürtlinge (Quarzite, Hornblendeschiefer)

eingeschaltet sind. Der Talboden ist aufgrund der Enge für Siedlungszwecke stark eingeschränkt. Die steilen Hänge sind vorwiegend landwirtschaftlich genutzt.

#### Unwetter- und Verbaugeschichte

1997 wurde nach wiederholten schweren Unwetterschäden für die Gemeinde Gasen, Bezirk Weiz, ein Gefahrenzonenplan erstellt. Als Folge auf die dokumentierte starke Gefährdung wurde in den folgenden Jahren ein Großteil der Bäche mit einem Gesamtkostenaufwand von rund 2,9 Mio. Euro verbaut.

Bei der Unwetterkatastrophe im August



Abb. 1: In diesem Wohnhaus in Gasen kamen durch einen Hangrutsch am 21. August 2005 zwei Menschen ums Leben.

Fig. 1: A landslide destroyed this house in Gasen killing two people on 21<sup>st</sup> August 2005.

2005 aktivierte ein 48 Stunden dauernder Starkniederschlag, der etwa einem 100-jährlichen Ereignis entsprach, auf einer Fläche von ca. 60 km<sup>2</sup> mehr als 800 Rutschungen. Traurige Bilanz: 2 Menschen kamen ums Leben, mehrere Häuser sowie unzählige Straßen und Brücken wurden schwer beschädigt. Anders als im Westen Österreichs wurden bei den Ereignissen hier die Schäden durch Erdbeben und Hangmuren verursacht und nur in untergeordnetem Umfang durch Hochwasser.

Aufgrund des großen Umfangs der Katastrophenereignisse 2005 beauftragte das Lebensministerium das Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) mit der Dokumentation der Schäden sowie der Auswertung der auslösenden Faktoren. Zusätzlich führte die Geologische Bundesanstalt (GBA) eigene Erhebungen, Lit. [2], durch. Außerdem befragte das Joanneum Research einen Teil des Gebiets mit einer Laserscan-Kamera.

#### Gefahrenzonenplanrevision mit Georisikokartierung

Im Gefahrenzonenplan 1997 wurde die Gefährdung von Siedlungen infolge von Rutschung nur textlich beschrieben, in der eigentlichen Gefahrenzonenkarte war die Gefahr von Hangrutschungen nicht dargestellt.

Da der Bedarf an neuem Bauland in Gasen in den Jahren nach 2005 stark zugenommen hat, ergab sich für die Gemeinde die Notwendigkeit, den Flächenwidmungsplan zu revidieren. Als Voraussetzung für die Widmung von neuem Bauland war jedoch vorher zu überprüfen, ob diese Flächen Naturgefahren (Hochwasser, Lawine, Erosion) ausgesetzt sind. Somit war die WL aufgefördert, eine Revision des Gefahrenzonenplans durchzuführen. Es sollten nicht nur die aktualisierten Gefahrenzonen durch Wildbäche

und Lawinen dargestellt werden, damit diese von künftiger Besiedlung freigehalten werden. Die Gefährdungen durch Rutschungen und Hangmuren sollten aufgezeigt und mittels einer zweistufigen Klassifikation zwischen intensiv gefährdeten Rutschungsbereichen und Gebieten mit allgemein vorhandener Rutschungsgefahr dargestellt werden.

#### Methodik

Die Dokumentation der Ereignisse 2005 (BFW, GBA, Joanneum Research) bildete eine sehr gute Datengrundlage für die Arbeiten. Die Daten wurden von der GBA kompiliert, Lit. [2]. Mit der Georisikokartierung der raumrelevanten Bereiche wurde die Fa. Geolith Consult beauftragt, die im Raum Gasen schon bei der Bewältigung der Katastrophenereignisse 2005 viele Erfahrungen gesammelt hatte.

Als raumrelevante Bereiche wurden alle besiedelten Gebiete (Siedlungen wie Einzelgehöfte), aber auch mögliches Bauerwartungsland festgelegt. Die Kartierung erfolgte aufgrund der bei Geländebegehungen erhobenen geologisch-geomorphologischen Merkmale. Insgesamt wurden im Gemeindegebiet von Gasen mehr als 1500 Geländemerkmale gemäß dem CAD-Pflichtenheft der WL erfasst. Insbesondere erfolgte eine Einstufung von Rutschkörpern gemäß der Klassifikation von Hutchinson 1988, Lit. [1]. Die Abbildungen 1, 2, 3 und 4 zeigen typische Beispiele von Lockergesteinsrutschungen nach den Niederschlägen im August 2005.

Die Ergebnisse der geologischen Detailkartierungen wurde in Hinweiskarten (Georisikokarten) im Maßstab 1:2.000 dargestellt. In der Georisikokarte, als Zusatz zur Gefahrenzonenkarte, wurden nicht nur die aktiven Rutschkörper abgebildet, sondern auch reliktsche Rutschungen, die unter ähnlichen Umständen wie 2005 akti-

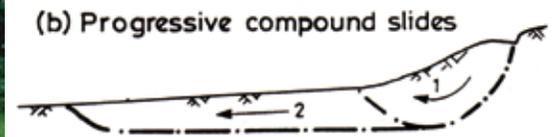


Abb. 2: Zusammengesetzte Rutschung mit Rotationsanbruch, Ortsgebiet Gasen.

Fig. 2: Compound with rotational slide, Gasen.

#### D4 Translational slides

##### (a) Sheet slides

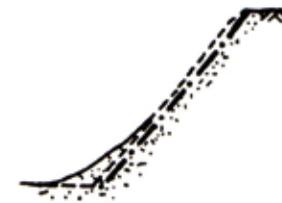


Abb. 3: Translationsrutschung, ausgehend von Böschungskante in Hangschuttsedimenten.

Fig. 3: Translational sheet slide started by colluvial debris.



viert werden können. Besonderer Wert wurde auf die Gebirgseigenschaften und die Lagerungsverhältnisse des Felsuntergrundes gelegt.

Als intensiv gefährdete Rutschbereiche RU<sub>r</sub> (braun-rote Bereiche) wurden jene Hangbereiche ausgeschieden, die morphologisch Merkmale von Felsbewegungen mit größerem Tiefgang

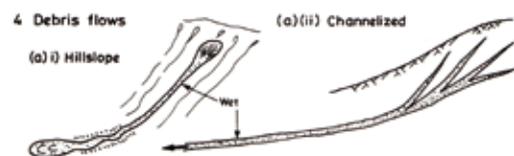
und ungünstige Lagerungsverhältnisse, etwa hangauswärts gerichtetes Einfallen der Schichten, aufweisen.

Es konnte festgestellt werden, dass eine Vielzahl der Rutschungen und Muren von 2005 mit dem Vorhandensein von Kriechverformungen des Felsuntergrundes, wie sie etwa bei Talzuschüben



Abb. 4: Beispiele von Hangmuren. Links: Rotationsrutschung aus Unterhang mit Murgangablagerungen und Hangmure aus einem Kleingraben

Fig. 4. Types of soil slip and debris flows at lower slope portion (left) and channelized debris flow from gully-like slope portion.



beobachtet werden können, zusammenfällt. Besonders anfällig ist eine Gesteinsformation, die an der geologischen Grenzzone von Mittelostalpinen Gneisen zu Oberostalpinen Schiefen auftritt. Diese Grenzzone beinhaltet engständig geschieferte Phyllonite und störungsgebundene Gesteine, die teilweise intensiv verfault sind oder durch bruchhafte Störungszonen (Kataklasite, Mylonite) in Erscheinung treten. Das geologische Inventar des Felsuntergrundes provoziert tiefreichendes Felskriechen und solchermaßen entfestigter Felsuntergrund zeigt eine erhöhte Anfälligkeit gegen Abtrag an. Es liegt hier eindeutig eine geologisch-geomorphologisch zuordenbare Grunddisposition vor.

Allgemein vorhandene Rutschgefahr  $RU_C$  (braun-gelbe Bereiche) wurde ausgeschieden, wenn Merkmale von Kriechbewegungen oder reliktsche Rutschungsmerkmale in der Lockergesteinsauflage erkennbar waren. Zusätzlich wurden zur Einstufung die Situation des Oberhanges (etwa Mikroinzugsgebiete, Hanglänge) sowie die geotechnischen Eigenschaften des Felsuntergrundes (Lagerung, Gebirgsfazies, Orientierung

von Störungen und Schwäche zonen, etc.) mit einbezogen.

Im Hinweisbereich  $RU_R$  (intensiv gefährdeter Rutschbereich) herrscht erhebliche Gefährdung für Objekte und Infrastruktureinrichtungen durch die starken Gelände veränderungen vor. Weiters umfassen solche Gebiete auch den Ablagerungsbereich von Hangbewegungen. In diesen Hinweisbereichen wird daher aufgrund dieser vorliegenden Georisikokartierung von der Errichtung von Objekten und Infrastruktureinrichtungen vorerst abgeraten. Da die Beurteilung aufgrund von oberflächlich erkennbaren oder aus der Kartierung der Rutschungen nach 2005 und vergleichbaren Geländestrukturen erfolgt ist, können Detailgutachten weitere Erkenntnisse bringen, die eine abweichende Beurteilung zulassen.

Im Hinweisbereich  $RU_C$  (allgemeine Rutschgefahr, Ablagerungsbereich) können durch konstruktive oder andere Maßnahmen Schäden an zu errichtenden Gebäuden und Infrastrukturbereichen verhindert oder minimiert werden. Auch solche zu treffenden Maßnahmen sind durch ein geotechnisches Detailgutachten abzuklären.

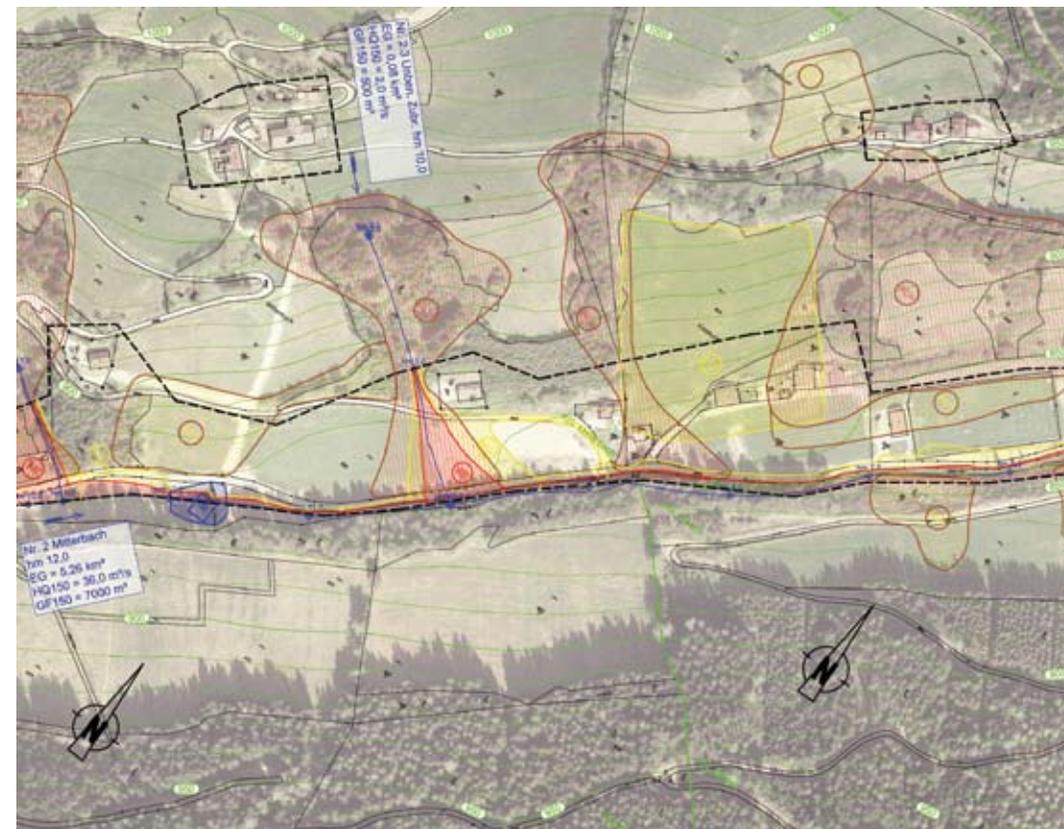


Abb. 5: Kartenausschnitt aus dem Gefahrenzonenplan Gasen; Gefahrenzonen durch Wildbäche und Lawinen sind rot bzw. gelb dargestellt. Gefährdungen durch Hangmuren je nach Intensität braun-rot bzw. braun-gelb.

Fig. 5: Detail of risk map for Gasen; risk areas for torrents and avalanches are shown in red and yellow. Risks from debris flows are marked in brown-red or brown-yellow according to intensity

Der Gefahrenzonenplan mit der Georisikokartierung wurde nach der Erstellung des Entwurfs vier Wochen in der Gemeinde zur Einsichtnahme aufgelegt. In dieser Zeit fand auch eine sehr gut besuchte Bürgerinformationsveranstaltung statt und die Bürger konnten Einwendungen gegen die vorläufige Gefahrenausweisung einbringen. Im Mai 2008 wurde der GZP Gasen kommissionell überprüft und sämtliche Einsprüche behandelt. Nach der Genehmigung durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wurde der GZP vervielfältigt und ist seitdem ein allgemein anerkanntes Planungsinstrument in der Gemeinde.

## Beispiele

Beispiel 1: Gehöft Schreinhofer, Augrabene, großflächiges Hangkriechen

Das Gehöft Schreinhofer befindet sich in einer Mittelhanglage. Unmittelbar im Bereich des Gehöftes zeigt eine Hangkante, die einen flacheren Oberhang von einem steileren Unterhang begrenzt, stabile Verhältnisse des Felsuntergrundes an. Wenige Zehnermeter taleinwärts jedoch fehlt die Hangkante und die morphologischen Formen des Hanges zeigen einen großflächigen Kriechkörper an, der auch den Felsuntergrund erfasst. Dieser Bereich wurde als  $RU_R$  ausgetrennt.



Abb. 6a: Schrägansicht Gehöft Schreinhofer (Bild rechts), Gasen, Augrabene. Die linke Hälfte zeigt unruhige Geländeformen einer großflächigen Felskriechmasse. Im Bereich des Gehöftes zeigt eine Hangkante hingegen stabilen Untergrund an.

Fig. 6a: Oblique view to the slope at Schreinhofer farm (right of picture). The left half of the photograph shows a hummocky landscape indicating a large landslide area. However, a distinct step in the slope indicates a stable substratum around the farm.

Nach den Niederschlägen 2005 ereigneten sich im Bereich des Gehöftes mehrere kleinflächige Lockergesteinsrutsche, die vornehmlich von anthropogen angelegten Böschungen ausgegangen sind, jedoch aufgrund geringer Anbruch- und Ablagerungsmächtigkeiten nicht als  $RU_C$  ausgetrennt wurden.

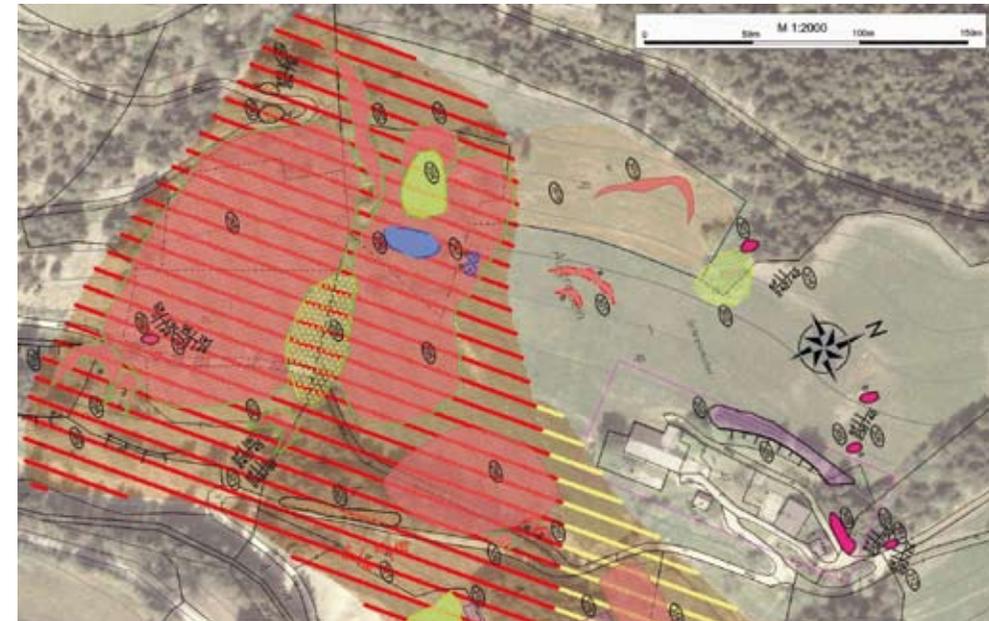


Abb. 6b: Ausschnitt der Hinweiskarte mit geologischen und morphologischen Merkmalen und Abgrenzung von Hinweisbereichen. Die rote Schraffur zeigt den raumrelevanten Bereich Gehöft Schreinhofer.

Fig. 6b: Detail of the hazard map showing geological and morphological parameters and hazard zones according to slope processes. A red border indicates the area relevant to Schreinhofer farm.

Aufschlusspunkt	Typ	Aktivität	Aufschlusspunkt	Typ	Aktivität
283	Geländekante allg., Felsterrasse		302	Blockschutt	reliktisch
284a,b	Anbruch Rutschung	reliktisch	303	Glimmerschiefer	
285a,b	Geländekante allg., Erosionskante Hangschutt		304	Schieferungsfläche	242/42
286	Glimmerschiefer, engständig geschiefert		305a,b	Glimmerschiefer	
287a	Schieferungsfläche	167/45	306	Schieferungsfläche	230/40
287b	Schieferungsfläche	141/36	307	Verebnung allg.	
288	Kriechkörper	reliktisch	308	Geländekante allg., Böschungskante	
289	Hangschuttkegel, Grabenfüllung sandig-schluffig	reliktisch	309	Glimmerschiefer	
290a,b	Phyllit, dünnblättrig		310	Schieferungsfläche	238/50
291	Schieferungsfläche	214/30	311	Glimmerschiefer	
292	Anbruch Rutschung, Anbruch Felsgleitung	reliktisch	312	Schieferungsfläche	222/26
293	Anbruch Rutschung	reliktisch	313	Kriechkörper	reliktisch
294	Rutschmasse	reliktisch	314	Kriechkörper	vermutet
295	Kriechkörper	reliktisch	315	Rutschmasse	reliktisch
296	Vernässungszone, allg.		316	Rinne, allg.	
297a,b	Quellaustritt	gefasst	317a,b	Murmaterial	reliktisch
298	Kriechkörper, Lockermaterial	vermutet	318	Rinne, allg.	
299a,b	Anbruch Rutschung, Böschungsanriss	aktuell	319	Murmaterial, Schwemmfächer	reliktisch
300	Anbruch Rutschung, Böschungsanriss	reliktisch	320	Phyllit, feinblättrig	
301a	Anbruch Rutschung	vermutet	321a	Schieferungsfläche	242/50
301b	Beweidung, Viehtritt allg.		321b	Schieferungsfläche	245/45
301c,d	Anbruch Rutschung	aktuell	321c	Großkluft	107/60
			321d	Kluft, Talanlage	317/80
			322	Rinnenanbruch	reliktisch

Beispiel 2: Gehöft Branthofer, Amassegg, hydrogeologische Mikroezugsgebiete

Das Gehöft Branthofer liegt in einem Steilhangabschnitt eines Unterhangabschnittes. Oberhalb des Gehöftes sind zwei Geländemulden entwickelt. Diese Geländemulden stellen ehemalige Erosionsgräben dar und wurden durch langjährige Bewirtschaftung aufgefüllt und weitgehend eingeebnet. Diese Grabenanlagen bilden jedoch weiterhin hydrogeologische Mikrosysteme und zeigen ein erhöhtes Potenzial für Lockergesteinsrutsche. Die Bereiche der Geländemulden wurden als  $RU_G$ -Hinweisbereiche ausgeschieden.



Abb. 7a: Schrägansicht Gehöft Branthofer, Amassegg. Oberhalb des Gehöftes sind Geländemulden ausgebildet, die frühere Erosionsgräben nachzeichnen und hydrogeologische Mikroezugsgebiete anzeigen.

Fig 7a: Oblique view to the Branthofer farm in the area of Amassegg. There are depressions above the farm, which trace the gullies caused by previous erosion, indicating hydrogeological reservoirs.



Abb. 7b: Ausschnitt der Hinweiskarte beim Gehöft Branthofer, Amassegg. Die Einzugsbereiche der ehemaligen Gräben wurden als  $RU_G$ -Hinweisbereiche ausgeschieden.

Fig. 7b: Detail of hazard map at Branthofer farm. Areas of hidden gullies were separated out as hazard zonation  $RU_G$ .

Aufschlusspunkt	Typ	Aktivität	Aufschlusspunkt	Typ	Aktivität
1123	Beweidung, Viehtritt allg.		1128a,b	Anbruch Rutschung, 2005	
1124	Rutschmasse	vermutet	1129	Geländemulde	reliktisch
1125a,b	Rutschmasse	reliktisch	1130	Kriechkörper	
1126	Kriechkörper	vermutet	1131	Geländemulde	reliktisch
1127	Geländekante allg.	reliktisch	1132	Kriechkörper	

### Diskussion, Ausblick

Der Siedlungsraum von Gasen weist eine hohe Gefährdung gegenüber geogenen Naturgefahren auf. Um dem Bedürfnis der Gemeinde nach Entwicklungsmöglichkeiten nachzukommen, wurden in diesem Pilotprojekt im Zuge der GZP-Revision sämtliche raumrelevanten Bereiche untersucht und unterschieden, ob eine Gefährdung durch Rutschungen oder Hangmuren vorliegt und ob diese für Siedlungszwecke akzeptabel oder nicht akzeptabel ist.

In gegenständlicher Studie erfolgte die Ausscheidung von  $RU_G$ - und  $RU_R$ -Hinweisbereichen auch unter dem Hintergrundwissen der Katastrophenereignisse von 2005, wodurch eine hohe Sensibilisierung bezüglich der Gewichtung von geologischen und geomorphologischen Geländemerkmale gegeben war.

Für ähnliche Projekte in anderen Regionen wird es erforderlich sein, einen umfassenden Katalog an klar definierten und objektiverbaren Abgrenzungskriterien zu erarbeiten, ähnlich den Kriterien für die rote und gelbe Gefahrenzone bei Wildbächen und Lawinen.

**Adresse der Verfasser /***Author's address:*

DI Reinhard RIBITSCH, Forsttechnischer Dienst  
für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebiets-  
bauleitung Ost- und Weststeiermark  
E-Mail: reinhard.ribitsch@die-wildbach.at

Dr. Siegfried HERMANN, Geolith Consult, Graz-  
Limberg bei Wies

**Literatur**

- [1] Hutchinson, 1988:  
Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In Landslides, Proceedings of the fifth international symposium on landslides, Vol. 1, pp 3-35, Balkema, Rotterdam.
- [2] TILCH, N. und KOČIU, A., 2007:  
Bericht zum Projekt „Abschätzung der Risikodisposition für Rutschungen und Hangbewegungen am Beispiel Gasen/Haslau (Stmk)“. Geologische Bundesanstalt, Fachabteilung Ingenieurgeologie, Wien.
- [3] HERMANN, S. und RIBITSCH, REINHARD, 2008:  
Revision des Gefahrenzonenplanes Gasen-Haslau (Oststeiermark) unter Einbeziehung einer Georisikokartierung. Tagungsband mit Kurzfassungen, 10. Geoforum Umhausen, S22-23.
- [4] BUNDESGESETZ vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975) in der gültigen Fassung.

	 <p style="text-align: center;">Streckmetallrohr für Bohrlochstabilisierung</p>
	<p><b>LAWINENSCHUTZBAUTEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stahlschneebrücken Dk 2,0 - 5,0 mt.</li> <li>• Triebsschneewände aus Stahl</li> <li>• Lawinenablenkwände</li> <li>• Stahlgrundplatten und Schwellenschuhe für Holzschneerechen</li> <li>• Streckmetallrohre für die Bohrlochstabilisierung</li> <li>• Schweißkonstruktionen nach ÖNORM M 7812 bzw. EN ISO 3834-2</li> </ul> <p><b>MAIR WILFRIED GmbH</b></p> <p>I-39030 St. Lorenzen - Südtirol Tel: +39 - 0474 - 474 071 Fax: 559 E-mail: mair.wilfried@dnet.it Internet: www.mairwilfried.it</p>

 <p><b>Geolith</b> Consult</p> <p>Geologie &amp; Geotechnik</p>	<p><u>Büro Graz:</u> W.-Goldschmidt-G. 35/5 A-8042 Graz Tel.: 0316 890 327</p> <p><u>Deutschlandsberg:</u> Limberg1 Schloss Limberg A-8541 Schwanberg Tel.: 03467 8291 20</p> <p><a href="http://www.geolith.at">www.geolith.at</a></p>
	<p>Planung Beratung Erkundung Baubegleitung</p>
<p>BAUGELOGIE GEOTECHNIK HYDROGEOLOGIE ROHSTOFFGEOLOGIE INGENIEURGEOLOGIE</p>	

**CHRISTOPH SKOLAUT**

## Zusammenfassung der Winterstudienreise nach Tirol, 01.-04.04.2008

### *Summary of the study trip to Tyrol, April 1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup>, 2008*

#### Zusammenfassung:

Die Winterstudienreise 2008 nach Tirol war dem Hauptthema Lawinen gewidmet. Neben dem Einsatz von Stahlschneebrücken und Schneenetzen zur Verhinderung von Lawinenanbrüchen waren die Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen in der Gefahrenzonenplanung, die Lawinensimulation sowie die Anwendung des gültigen Lawinenerlasses in der Gutachtertätigkeit die Schwerpunkte.

#### Summary:

*Main objective of the study trip in late winter 2008 to Tyrol were avalanches. Four categories were intensely discussed: application of steel snow bridges or snow nets to prevent avalanches from breaking down, consideration of counter measures in hazard zone mapping, simulation of avalanches and the austrian avalanche order for skiing areas and cableways.*

Der erste (Halb-)Tag der Studienreise war dem Thema „Einsatz von Schneenetzen“ gewidmet. Das von der Sektion Tirol eingerichtete Testfeld am Hafelekar hoch über Innsbruck bot dafür den richtigen Rahmen.

Nach einer detaillierten Vorstellung der Testanlage und der aus den vergangenen beiden Jahren gewonnen Messergebnisse entstand sehr rasch eine Diskussion über den Einsatz von Schneenetzen im Vergleich zu Stahlschneebrücken.

Konsens konnte dahingehend gefunden werden, dass Schneenetze die seit Jahrzehnten bewährten Stahlschneebrücken langfristig nicht ersetzen sollen. Vielmehr geht es darum, Erfahrungen in der praktischen Umsetzung von Schneenetzen und deren Materialeigenschaften zu sammeln. Hier wird die Einbeziehung aller Dienststellen notwendig und sinnvoll sein, um österreichweit einheitliche Standards definieren und Entscheidungskriterien für den Einsatz erarbeiten zu können. Dies auch gerade in Hinblick auf die Ausarbeitung der ON-Regeln zu Schutzbauwerken der Lawinenverbauung.

Abgerundet wurde der erste Tag durch eine Präsentation zur Erneuerung der Nordkettenbahn in Hinblick auf die Lawinensicherheit als Einstieg in das weitere Schwerpunktthema Lawinenerlass.

Der nächste Tag war am ersten Halbtage dem Thema Lawinengefahrenzonenplanung unter Berücksichtigung der Wirkung von Verbauungen sowie von Simulationen und im zweiten Halbtage dem Thema Lawinenerlass gewidmet.

Anhand der beiden Exkursionspunkte Arzleralm-Lawine in der Stadtgde. Innsbruck und der Aherbachlawine, Gde. Gries im Sellrain, zeigte sich sehr schnell wie schwierig die Berücksichtigung von Bauwerken in der Sturzbahn oder im Anbruchgebiet bei der Revision von Gefahrenzonen in Einzugsgebieten ist. Erfüllen die Bauwerke den ihnen zugedachten Schutz beim Bemessungsereignis? Wirken sie gar nur bei den

häufigen Ereignissen? Wie sieht die Berücksichtigung in den Gefahrenzonenplänen aus? Ergebnisse von Simulationen standen wegen Chronikaufzeichnungen gegenüber. Wie gehen wir mit starkem Siedlungsdruck im Randbereich von Städten oder größeren Ortschaften um – entscheiden wir alleine aufgrund fachlicher Kriterien? Verständlicherweise konnte nicht auf alle Fragen eine Antwort gegeben werden – zu spezifisch sind die jeweiligen Problemstellungen.

Die intensiven Diskussionen mit erfahrenen und jungen Kollegen haben jedoch für alle einen erweiterten Wissensstand gebracht.

Am späteren Nachmittag startete ein intensiver Block zum Thema Lawinenerlass, der als Basis für den darauffolgenden Tag im Schigebiet von Ischgl dienen sollte.

Nach der Geschichte des Lawinenerlasses und den rechtlichen Grundlagen präsentierte je ein Vertreter der Sektionen Salzburg, Vorarlberg und Tirol die Erfahrungen mit dem Lawinenerlass in den letzten Jahren, teilweise anhand von konkreten Beispielen. Klar zum Ausdruck kam der hohe Sicherheitsstandard, der in den letzten Jahrzehnten in Österreich erreicht wurde. Kritisch angemerkt wurde aber auch, dass die Sachverständigen der WLW in den eisenbahnrechtlichen Verfahren vielfach zu fachlich gewagten Interpretationen gedrängt werden, um der geltenden Erlasslage gerecht zu werden. Eine Weiterentwicklung des Lawinenerlasses aufgrund der gemachten Erfahrungen in den letzten Jahren wurde aus verschiedensten Gründen eingefordert. Und dies ausdrücklich nicht, um den Intentionen der Seilbahnbetreiber gerecht zu werden, sondern um fachlichen Ansprüchen zu genügen.

Tag 3 führte die Teilnehmer ins Schigebiet von Ischgl, um die praktische Umsetzung des Lawinenerlasses anhand von konkreten Beispielen (3 Ausnahmeverfahren in den letzten Jahren) zu besichtigen und zu erörtern. Im Rahmen der

kompetenten Führung durch Vertreter der Silvretta Seilbahn AG wurde uns auch die umfangreiche Arbeit der professionell agierenden Lawinenkommission im Schigebiet vorgestellt. Diese kann sicher als Musterbeispiel herangezogen werden, ist jedoch nicht ohneweiters auf andere Schigebiete übertragbar – aus naturräumlichen wie finanziellen Gründen.

Am letzten (Halb-)Tag der Studienreise stand eine Diskussion zum Thema „Stellenwert der Lawinensimulation in der Gefahrenzonenplanung und Gutachtertätigkeit – Chancen und Risiken“ auf dem Programm. Nach zwei Impulsreferaten entwickelte sich eine intensive Diskussion. Darin wurde eindeutig festgestellt, dass die Lawinensimulation Stand der Technik ist, dieser sich jedoch fortwährend weiterentwickelt – wie auch unsere Simulationsmodelle. Klar zum Ausdruck kam auch, dass die Simulation immer nur ein Werkzeug zur Entscheidungsfindung bleibt – wenn auch ein, gerade in der jetzigen Zeit, sehr wichtiges, dem sehr viel (teilweise zu viel) Glauben geschenkt wird – intern wie extern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Studienreise ein großer Erfolg war. Die Reaktionen der Teilnehmer waren äußerst positiv.



Ingenieurbüro • DI Thomas Perz  
Kulturtechnik und Wasserwirtschaft  
Forst- und Holzwirtschaft  
Wildbach- und Lawinenschutz

## DIPL. ING. THOMAS PERZ

2630 Ternitz • Franz Dinobl-Straße 41 • Tel: 02630 - 35 105 •  
Fax: 02630 - 35 105 DW 44 • office@perzplan.at • www.perzplan.at

Hydrologie



Meteorologie



Geologie



Für *temporäre Maßnahmen* oder  
*dauerhafte Überwachung*  
bieten wir Ihnen die **Komplettlösung** aus einer Hand!

NEU - NEU - NEU - NEU



» RQ-24 «  
Berührungslose  
Abflussmessung  
mit Radar-  
technologie

sommer  
MESS-SYSTEMTECHNIK

Sommer Mess-Systemtechnik  
Straßenhäuser 27, A-6842 Koblach  
Tel: +43-5523-55989  
Email: office@sommer.at  
Internet: www.sommer.at

Spezielsensorik · Beratung · Planung  
Anlagenbau · Systemintegration

**MICHAEL BOTTHOF, STEFAN FIEGER, THOMAS FRANDL, JOHANN KESSLER, WILFRIED KLAUS**

## Vergleich Stahlschneebrücken – Schneenetze

### *Comparison steel snow bridges – snow nets*

#### Zusammenfassung:

Im Zuge der Winterstudienreise in Tirol im April 2008 wurde das Testfeld Hafelekar in Innsbruck besichtigt. Im Testfeld Hafelekar sind Schneenetze (Geobrugg und Trumer) aufgestellt und Sensoren für die Messung der Ankerkräfte installiert worden. Im Zuge dessen wurden die Vor- und Nachteile von Stahlschneebrücken und Schneenetzen diskutiert. Der vorliegende Artikel soll einen Einblick in diese Thematik geben.

#### Summary:

The winter study trip to Tyrol in April 2008 included a visit to the Hafelekar test field in Innsbruck. In the Hafelekar test field snow nets (Geobrugg and Trumer) have been put up and sensors have been installed to measure anchor forces. During the course of the trip the advantages and disadvantages between steel snow bridges and snow nets were discussed. The present article aims to give an insight into this topic.

#### 1. Einleitung

Die Errichtung von Anbruchsverbauungen ist die am häufigsten verwendete Art von Schutzverbauung beim Schutz vor Lawinen. Die Wildbach- und Lawinenverbauung errichtet hierfür seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich Systeme aus Stahlschneebrücken, welche sich schon oftmals in den letzten Katastrophenwintern bewährt haben. In den letzten Jahren setzte aus verschiedenen Gründen eine vermehrte Entwicklung von Schneenetzen als Lawinenanbruchsverbauung ein. Einer der wesentlichen Gründe für den Einsatz von Schneenetzen ist die seitens des Naturschutzes oftmals geforderte bessere Anpassung an das Landschaftsbild. Diesem Vorteil stehen in der Regel die Nachteile höherer Kosten bei der Errichtung und eine

Reihe offener technischer Fragen gegenüber. Um die offenen technischen Fragen, wie Lastverteilung in den Systemen, auftretende Zugkräfte bei der Verankerung, besser zu verstehen, werden im Zuge des Projektes „Schneenetze“ am Hafelekar Schneenetze unterschiedlicher Hersteller in einem Versuchsfeld wissenschaftlich untersucht. Das Versuchsfeld befindet sich östlich der Bergstation der Nordkettenbahn und wird in Zusammenarbeit durch das Bundes- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft – BFW (Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen), die Universität Innsbruck (Institut für Baustoffe und Bauphysik), die Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Konstruktives Ingenieurwesen) und die Wildbach- und Lawinenverbauung Tirol betrieben. Im Rahmen dieses Projektes wird jetzt ein



Abb. 1: Testfeld Hafelekar

Fig. 1: Hafelekar test field

Anforderungsprofil erarbeitet und anschließend werden Typenempfehlungen abgegeben. Dies soll ein erster Schritt zur Erstellung von Planungs-, Überprüfungs- und Dimensionierungsrichtlinien für Schneenetze sein.

## 2. Allgemeine Beschreibung Stahlschneebrücken

Seit Mitte der fünfziger Jahre werden in der WLV Schneebrücken in Stahl- und Holzkonstruktion als Schutzbauten im Anbruchgebiet von Lawinen errichtet. Die Systementwicklung erfolgte gemeinsam mit der VOEST Alpine und hat sich seither in allen möglichen Variationen im gesamten Alpengebiet als eine Lösung für die Anbruchverbauung durchgesetzt. Inzwischen wurden allein in Österreich mehrere hundert Kilometer an Stützverbauungen errichtet und im Großen und Ganzen hat

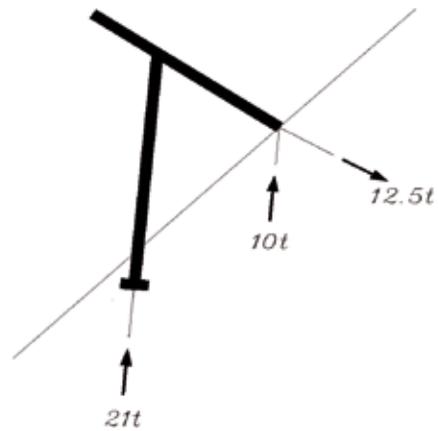


Abb. 2: Stahlschneebrücken

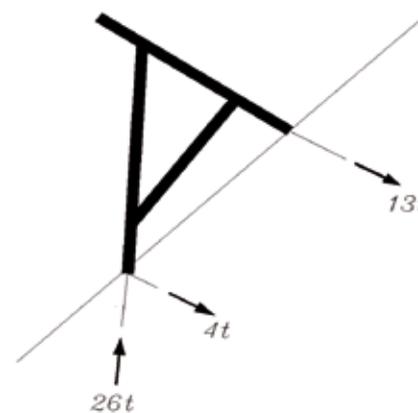
Fig. 2: Steel snow bridges

sich das System sowohl hinsichtlich seiner grundsätzlichen Eignung als auch in seinen praktischen Ausführungen bewährt. Es sind zwei statische Systeme auf dem Markt:

- Dreigelenksbogen



- Scheibe



In Österreich werden im Anbruchverbau fast ausschließlich Stahlschneebrücken des statischen Systems Dreigelenksbogen verwendet. Das Trägerfundament muss in diesem Fall die den jeweiligen Werkstypen entsprechenden Zug- und Druckkräfte in den Boden übertragen. Die Belastung des Stützenfundamentes ist bei diesem Typ geringer als beim statischen System Scheibe.

Bei Werkstypen des statischen Systems Scheibe reichen drei Auflagerreaktionen aus, um die auftretenden Kräfte statisch einwandfrei in den Baugrund einzuleiten. Da die Belastung des Stützenfundamentes bei diesem System entsprechend höher ist (ca. 20%), ist es zweckmäßig den Mikropfahl, wenn er als Stützenfundierung eingesetzt wird, mit einer Zugkomponente zu kombinieren um ein Ausknicken zu vermeiden.

Unterlag die Ausbildung der Oberkonstruktion zwar einer erkennbaren aber doch geringen Entwicklung, kann man hinsichtlich der Fundierung der Lawinenwerke doch einen deutlich abgrenzbaren Fortschritt erkennen. Die im Lockermaterial anfangs verwendeten Schwergewichtsfundamente aus Beton oder die mit Lockermaterial hinterfüllten Stahlgitter (Fertigteilfundamente) wurden Ende der siebziger Jahre vom Doppelstabsprenganker abgelöst. Anfang der

neunziger Jahre kam es auf diesem Sektor wieder zu einer Neueinführung in Form des in eine Zug- und eine Druckkomponente aufgeteilten Ankers, der die Kräfte rein über die Mantelreibung in den Untergrund überträgt.

Schneenetze haben in Österreich in der Verbauungsgeschichte eine eher untergeordnete Rolle gespielt. Die Idee des Schneenetzes, vor allem im Sinne einer Armierung der Schneedecke, stammt aus der Schweiz und wurde seit den fünfziger Jahren konsequent weiterentwickelt.

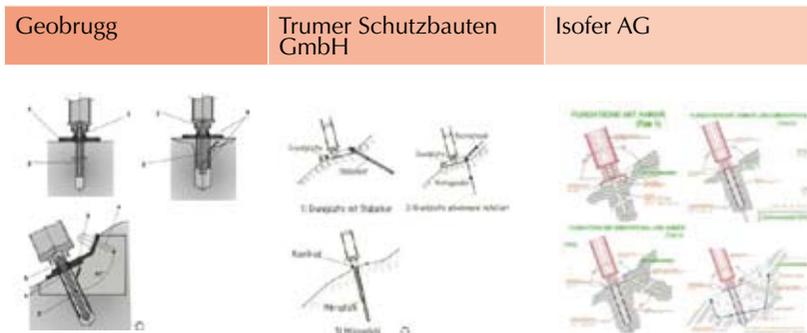
Seit 1968 sind die Schneenetze nach eingehenden Tests durch das Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung in Davos als Verbauungssystem im Anbruchgebiet von Lawinen in den Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet verankert.

Praktische Bauausführung und erforderliche Ausrüstung

Die Seilbahn als Transportmittel wird zunehmend vom Hubschrauber verdrängt, da mit einer ausgefeilten Logistik in Verbindung mit den sinkenden Preisen für Flugminuten kostengünstiger und leichter gearbeitet werden kann.

Für die Bauausführung sind normalerweise 6 bis 10 Mann erforderlich. Neben diesem Kleingerät sind zwei Kompressoren mit einer Leistung von je 10 m<sup>3</sup> Luft/min, eine tragbare, hydraulische oder pneumatische Bohrlafette mit Imlochhammer (üblich) oder Außenhammer zum Errichten der Bohrlöcher mit einem Durchmesser  $\geq 90$  mm sowie eine Mörtelpumpe zum Injizieren der Anker notwendig. Weiters ist ein Ankerprüfgerät (Hohlkolbenpresse) sinnvoll, um Anker systematisch oder wenigstens sporadisch prüfen zu können. Daneben sind Abbauhämmer und Handbohrhämmer für den händischen Aushub der Stützenfundamente erforderlich. Verwendet man eine Bohrausrüstung mit hydraulischem Drehmotor





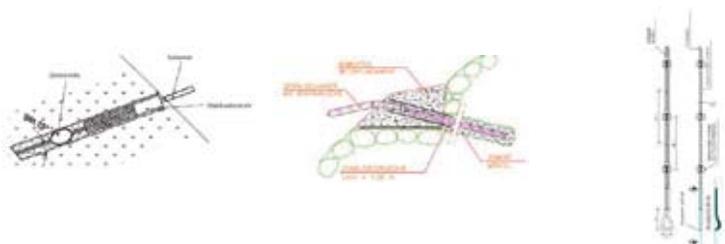
Stützenverankerungen im kompakten Fels, im schlechten Fels und im Lockergestein

Stützenfundament für Lockermaterial, für sehr schlechte Bodenverhältnisse und für sehr gute Gründungsverhältnisse

Stützenfundament für harten Fels, Fels, mittlerer Boden und schlechten Boden

Abb. 6: Stützenfundamente

Fig. 6: Prop foundations



## Seilanker

Abb. 7: Seilanker

Fig. 7: Rope anchor

## 4. Beschreibung Testfeld Hafelekar

- Allgemeines

Seit 1957 werden auf dem Hafelekar oberhalb von Innsbruck Schneenetze zur Lawinenverbauung verwendet.

Aufgrund der Nordstaulage des Verbauungsgebiets sind regelmäßig sehr große Schneemengen möglich. Daher wurde dieses Gebiet als Testfeld für die Erprobung von verschiedenen Schneenetzen ausgewählt. Das Ziel war, die Berechnungsmethode nach HAEFELI (1954) zu überprüfen bzw. Belastungstests durchzuführen.

- Systeme und Versuchsordnung
  - Dreiecksnetz Bautyp Geobrigg
  - Rechtecknetz Bautyp Trumer Schutzbauten

Die Netze wurden in sämtlichen relevanten Bauteilen mit Sensoren bestückt (Abspannseile, Stützen), welche über einen Datenlogger alle 30 Minuten gespeichert wurden. Die Datenübertragung erfolgte alle 4 Stunden auf eine Internetplattform. Die Schneehöhe wurde mit einem terrestrischen Laserscanner periodisch gemessen und mit der Bodenhöhe verglichen.

- Ergebnisse

Während der Messperiode 2006/07 wurden auf-

grund der geringen Schneehöhen nur sehr geringe Kräfte gemessen (34 kN im Abspannseil). Bei den noch nicht vollständig **ausgewerteten Messungen von 2007/08 konnten bereits** erheblich höhere Kräfte (125 kN im Abspannseil) ermittelt werden.

Bei Nachrechnung der auftretenden Kräfte mit den Schweizer Richtlinien und der Methode nach Haefeli ergab sich für das Abspannseil eine zu dimensionierende Belastung von 76 kN. Es konnten somit großteils nur die halben Kräfte der erstellten Berechnungen gemessen werden. Die beste Übereinstimmung ergab sich bei den Ankerkräften des oberen Abspannankers. Das untere Abspannseil wurde nur zu 20% der Dimensionierung ausgelastet.

- Schlussfolgerungen aus den Messungen 2006/07
  - Die Hauptlast aufgrund der Schneelast wird auf die Stützenfundament abgeleitet.
  - Sämtliche Abspannseile und Anker sind überdimensioniert.
  - Der verwendete Laserscanner zur Schneehöhenmessung liefert sehr gute Ergebnisse, der Nachteil besteht jedoch darin, dass keine Messungen während des Schneefalls durchgeführt werden können.
- Diskussion

Bei der Diskussion der Exkursionsteilnehmer am Hafelekar konnte festgestellt werden, dass die Schneenetze bei geeigneter Morphologie (regelmäßige Oberfläche) und Geologie (gute Fundierungsmöglichkeiten) eine Alternative zur Verbauung mit Stahlwerken darstellen. Dies ist insbesondere wichtig, da in Zeiten steigender Stahlpreise die geringere Materialmenge ein Kostenvorteil ist.

Die im Jahr 1957 erstellten Schneenetze wurden bereits abgebaut. Dies war notwendig, da keine Wartung dieser Anlagen durchgeführt und die Fundierungen nicht ausreichend standfest erstellt wurden.

Schlussfolgerung: Bei der Erstellung von Schneenetzen ist sehr wichtig, dass

- die Fundierungen sehr sorgfältig ausgeführt werden,
- eine periodische Wartung stattfindet.

## 5. Vor- und Nachteile von Stahlschneebrücken und Schneenetzen

Es gibt kein Patentrezept für den Einsatz von Stahlschneebrücken und/oder Schneenetzen, jedoch sollen die untenstehenden Vor- und Nachteile eine Entscheidungshilfe anbieten.

- Stahlschneebrücken
  - **Vorteile:**
    - Montage weniger aufwendig
    - Bei stark gegliedertem Gelände anpassungsfähiger
    - Längere Lebensdauer
    - Geringere Kosten pro Laufmeter
    - Geringer Instandhaltungsaufwand
  - **Nachteile:**
    - Im Vergleich zu Schneenetzen schwerer
    - Schlechtere Anpassung an das Landschaftsbild
    - Anfälliger gegenüber Steinschlag
- Schneenetze
  - **Vorteile:**
    - Im Vergleich zu Stahlschneebrücken leichter
    - Bessere Anpassung an das Landschaftsbild
    - Beständiger bei Steinschlaggefahr
  - **Nachteile:**
    - Montage ist aufwendiger
    - Kürzere Lebensdauer
    - Höhere Kosten pro Laufmeter
    - Hoher Instandhaltungsaufwand

**Adresse der Verfasser /***Author's address:*

Dipl. Ing. Michael Botthof  
 Forsttechnischer Dienst für  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 Gbl. Liesertal und Ossiacher Becken  
 Meister-Friedrich-Straße 2, 9500 Villach  
 E-Mail: michael.botthof@die-wildbach.at

Dipl. Ing. Stefan Fieger  
 Forsttechnischer Dienst für  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 Gbl. Oberes Murtal  
 Murauer Straße 8, 8811 Scheifling  
 E-Mail: stefan.fieger@die-wildbach.at

Dipl. Ing. Thomas Frandl  
 Forsttechnischer Dienst für  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 Gbl. Bregenz  
 Rheinstraße 32/4, 6900 Bregenz  
 E-Mail: thomas.frandl@die-wildbach.at

Dipl. Ing. Johann Kessler  
 Forsttechnischer Dienst für  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 Gbl. Bludenz  
 Oberfeldweg 6, 6700 Bludenz  
 E-Mail: johann.kessler@die-wildbach.at

Dipl. Ing. Wilfried Klaus  
 Forsttechnischer Dienst für  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 Gbl. Oberes Drautal und Mölltal  
 Meister-Friedrich-Straße 2, 9500 Villach  
 E-Mail: wilfried.klaus@die-wildbach.at

**ZIVILTECHNIKERBÜRO DI WERNER TIWALD**

**staatl. beeid. u. bef. Ingenieurkonsulent f. Forst- und Holzwirtschaft,  
 Wildbach- und Lawinenverbauung  
 allg. beeid. u. gerichtlich zertifizierter Sachverständiger**



**Langseitenrotte 19  
 A-3223 Wienerbruck**

**Zweigstelle: Saurweinweg 5  
 A-6020 Innsbruck**

**Tel.: +43 (0) 2728 20404  
 Handy: +43 (0) 664 204 72 40  
 Fax: +43 (0) 2728 20408  
 E-mail: [buero@tiwald.at](mailto:buero@tiwald.at)  
 Home: [www.tiwald.at](http://www.tiwald.at)**



**GEORG DICHLBERGER, MATTHIAS GRANIG, EDUARD KOTZMAIER, STEFAN JANU, STEFAN OBERNDORFER,  
FRANZ SCHMID, INGO SCHNETZER**

## Lawinensimulation

### *Simulation of avalanches*

#### Zusammenfassung:

Die Winterstudienreise 2008 führte nach Tirol, um Fragestellungen aus dem Themenbereich der Lawinen zu diskutieren. Es wurden 4 Kernbereiche definiert, die in der Folge genauer betrachtet wurden. Einer dieser Bereiche umfasste die Lawinensimulation, die anhand von praktischen Beispielen erörtert wurde.

#### Summary:

*Tyrol was the destination of 2008 winter study trip. The main objective was on avalanches. This report deals with simulation of avalanches - one of the four topics.*

#### Diskussionspunkt Arzler-Alm-Lawine bei Innsbruck

Zurücknahme der vorhandenen Gefahrenzonen durch Berücksichtigung des Lawinendamms?

Beim Diskussionspunkt Arzler-Alm-Lawine wurde die Thematik der Wirkung vorhandener Schutzbauwerke auf die Gefahrenzonenplanung sowie die Berücksichtigung von Lawinensimulationen diskutiert. Im konkreten Fall wurden Überlegungen zur Rücknahme der roten Gefahrenzone bei einem am Waldrand von Mühlau gelegenen, als Grünland gewidmeten und nach dem derzeitigen Gefahrenzonenplan in der roten Gefahrenzone gelegenen Bereich angestellt (vgl. Abb. 1). Der gegenständliche Bereich befindet sich in der Sturzbahn der Arzler-Alm-Lawine, die durch sechs potenzielle Abbruchgebiete den Siedlungsraum von Innsbruck gefährdet. Die sechs Anbruchgebiete sind allesamt unverbaut und weisen Schneekubaturen zwischen 38.000 und 143.000 m<sup>3</sup> auf (insg. 486.000 m<sup>3</sup>).

Auf Seehöhe 943 m wurde seitens der Gebietsbauleitung Mittleres Inntal der Wildbach- und Lawinenverbauung ein Lawinendamm errichtet, der bis dato noch nicht zur Gänze von



Abb. 1: Übersichtskarte Arzler-Alm-Lawine (ÖK 50)

Fig. 1: Overview of the Arzleralm-avalanche (ÖK 50)

einem Lawinenereignis beaufschlagt wurde. Bei der Arzler-Alm-Lawine handelt es sich um eine gut dokumentierte Lawine. Das bisher schwerste Chronikereignis ereignete sich im Jahr 1935 und reichte bis zu dem derzeit besiedelten Gebiet. Der gegenständliche Bereich wurde somit von der Lawine überstrichen, jedoch existierte damals der Lawinendamm noch nicht.

Für die Revision des bestehenden Gefahrenzonenplanes Innsbruck wurde von der Stabstelle Schnee und Lawinen eine Reihe von Lawinensimulationen mit den auf dem Markt befindlichen Simulationsprogrammen durchgeführt (Alpha/Beta-Modell, Aval1D, Elba+, Samos99 und SamosAT). Die Ergebnisse zeigen kein eindeutiges Bild, da die Wirkung des Dammes in einigen Programmen nicht bzw. nur ungenügend berücksichtigt wird (Alpha/Beta und Aval 1D) und aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bei den Simulationsprogrammen (Wirkung des Waldes, Auswirkung des Entrainments, Berücksichtigung von Dämmen im DHM oder als „Wall Line“, Dammrestitutionskoeffizient etc.) nur eine Abstraktion der tatsächlichen Gegebenheiten erreicht werden kann. Im konkreten Fall sind die Ergebnisse als unterstützendes Element für die Gefahrenzonenplanung hilfreich und können in die Beurteilung einfließen. Die Ergebnisse der Fließlawinensimulationen reichen, unter Berücksichtigung des Dammes, bis zu diesem, jedoch besteht eine westseitige Ausbruchsmöglichkeit. Darüber hinaus wurde eine mögliche Vorverfüllung nicht beachtet. Die Staublawinenergebnisse zeigen, trotz Berücksichtigung des Dammes, eine Gefährdung des Siedlungsraumes. Bei der anschließenden Diskussion vor Ort hinsichtlich einer eventuellen Rücknahme der roten Gefahrenzone aufgrund der ausgeführten Baumaßnahme wurden folgende Punkte von den Teilnehmern erörtert:

- Grundsätzlich erfolgt eine Verbauung auf ein Bemessungsereignis (zumeist 150-jährliches Ereignis). Der Verbauungsgrundgedanke ist dabei die Gefahrenreduktion entsprechend den vorhandenen Mitteln und den technischen Möglichkeiten. Nach der Ausbaustufe ist eine Revision der Gefahrenzonen notwendig, in der sich die Wirkung der Schutzmaßnahme widerspiegeln soll. Ansonsten wird die Sinnhaftigkeit der getätigten Baumaßnahme in Frage gestellt.
- Verbauungen der WLV dienen nicht der Baulandgewinnung, sondern schützen bestehende Objekte. Eine Schließung der Baulandlücken in den geschützten, bestehenden Bereichen kann erfolgen.
- Durch den Ausbau und infolge der möglichen Rücknahme der Zonen kann grundsätzlich eine Baulandwidmung erfolgen, eine Einladung an die WLV zu Verhandlungen aufgrund fehlender Zonenbelastung ist nicht mehr gewährleistet.
- Aufgrund fehlender Baulandreserven in Innsbruck ist der Druck seitens der Stadt zur Gewinnung neuen Baulandes sehr groß.
- Im Fall der Arzler-Alm-Lawine hat primär der Bau des Lawinendammes das Bemessungsereignis an sich nicht abgedeckt, sondern nur die Häufigkeit der Ereignisse reduziert.
- Die angewandten Modelle bzw. Simulationen Aval1D, Lied et. al., Elba+, Samos 99 und SamosAT geben nur eine grobe Abstraktion der realen Prozesse (mit oder ohne Damm) wieder und sind mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet. Die Modelle (Stand der Technik!)

ersetzen in keiner Weise die Arbeit des Experten vor Ort, stellen aber sehr wohl eine wichtige Hilfestellung und Unterstützung für den Projektanten dar.

- Die Vorverfüllung des Dammes muss berücksichtigt werden. Aufgrund der gegliederten Struktur der Anbruchflächen ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Szenarios gegeben. Darüber hinaus kann der Lawinendamm auf der Westseite umfahren werden, wie auch die 2D Lawinenmodelle verdeutlichen.
- Der Staubanteil kann den vorhandenen Damm anhand der Simulationen überfahren und den Siedlungsbereich erreichen (ähnlich dem Chronikereignis von 1935).
- Additive Verbauungskonzepte zur Abdeckung eines Bemessungsereignisses wie Anbruchverbauungen, zusätzliche Lawinenbrecher oder eine Erhöhung des Lawinendammes.

Grundtenor der Diskussion war die Belassung der derzeitigen Zonenausscheidung trotz der gesetzten Maßnahmen in Form des Lawinendammes, da dadurch nur die Ereignishäufigkeit herabgesetzt wird, das Bemessungsereignis (zumeist 150-jährliches Ereignis) aber nicht oder nur bedingt beeinflusst wird. Bei einer möglichen Revision der Gefahrenzonen wäre eine Kennzeichnung der ehemaligen Gefahrenzonen im zukünftigen Flächenwidmungsplan sehr sinnvoll. Die daraus resultierende ableitende Verpflichtung zur Einladung zu den einschlägigen Verhandlungen würde den betroffenen Grundeigentümern auch zukünftig die fachliche Unterstützung der WLV sichern und ihnen somit weiterhin den Schutz vor Naturgefahren gewährleisten.

### Diskussionspunkt Aherbach-Lawine in Gries i. Sellrain mit deren Restanbruchgebieten

*„An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass trotz der recht aufwendigen Simulationen nur eine grobe Abstraktion der realen Prozesse erreicht werden kann. Sowohl die Modelle, als auch die Eingangsparameter, wie DGM, Anbruchgebiet, Schneemächtigkeiten, etc., sind mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet. Daher können die Lawinensimulationen nur eine Unterstützung für den/die Experten/in vor Ort darstellen und eine Hilfestellung im Sinne eines Variantenstudiums bzw. einer mathematischen Berechnung am Stand der Technik, leisten.“*

Mit diesem Statement schließt der Bericht der Stabstelle Schnee und Lawinen betreffend die Simulation der Aherbach-Lawine.

Mit einem ähnlichen Ergebnis kann man auch die Diskussionen vor Ort zusammenfassen, wo versucht wurde, einerseits die Wirksamkeit der Verbauungen und andererseits die Bedeutung der Simulation im Allgemeinen und der konkreten Ergebnisse im Speziellen zu beurteilen und unter Berücksichtigung der Restanbruchgebiete für die Rücknahme von Gefahrenzonen zu werten. Die einzelnen Diskussionsbeiträge spiegelten dabei die unterschiedlichen Herangehensweisen bei der Gefahrenzonenplanung, der Projektierung und der Beurteilung der fertiggestellten Maßnahmen wider.

Sowohl für die Gefahrenzonenplanung als auch die Projektierung braucht es genügend Erfahrung, um einerseits die maßgeblichen Prozesse und Szenarien erkennen zu können und andererseits die richtigen Maßnahmen für die Entschärfung der Prozesse oder zumindest Teilprozesse ableiten zu können. Wenn für diese Beurteilungen dann Hinweise aus Chroniken oder anderen Unterlagen fehlen, kommt der Simulation eine ganz wichtige Rolle zu, nämlich das Auf-

zeigen der möglichen Größenordnungen für die Ereignisse und Szenarien.

Simulationen beschreiben nur ein mehr oder weniger genaues Abbild der Wirklichkeit und dürfen niemals Ersatz für fehlende Erfahrung und lückenhafte Chroniken sein. Keinesfalls darf auch ein Ergebnis aufgrund zu großer Computergläubigkeit ohne kritische Hinterfragung der Plausibilität und ohne Berücksichtigung der realen Verhältnisse vor Ort für weitere Planungen absolut übernommen werden. Analogieschlüsse mit ähnlichen und vergleichbaren Einzugsgebieten sind ebenso erforderlich wie die Diskussion der Rahmenbedingungen, Prozesse und Ergebnisse mit Kollegen, um ein Maximum an Gebietskenntnissen und Erfahrungen für die gutachtliche Aussage kombinieren zu können.

Die schwierigste Aufgabe in der Ansprache der Prozesse und Wirksamkeit der Maßnahmen entsteht dadurch, dass der Planverfasser nicht mit dem Projektanten identisch ist, die Planungen nur selten zeitnahe aufeinanderfolgen, die Unterlagen eine unterschiedliche Intensität der Dokumentation der Szenarien aufweisen und letztlich die Interessenten für die eingesetzten Mittel auch merkbare Ergebnisse in der Rücknahme der Gefahrenzonen erwarten.

Augenscheinlich wurde auch das Problem der möglichen Einflüsse des Klimawandels, die eine deutliche Rücknahme von Gefahrenzonen im Hinblick auf zu erwartenden Auswirkungen in der Raumordnung zusätzlich schwieriger beurteilen lassen.

Fazit:

Durch die Anwendung von Simulationen ist die Entscheidung für den Gefahrenzonenplanverfasser nicht leichter geworden. Sie enthebt ihn nicht von einer gutachtlichen Wertung aller Eingangswerte, Rahmenbedingungen und Ergebnisse nicht nur der Simulation, sondern auch eventu-

eller Chronikangaben und Stummer Zeugen. Trotz der erhöhten Transparenz bei der Entstehung der Werte eines Bemessungsereignisses braucht es für die gegenseitige Wertung und Gewichtung ausreichend Gebietskenntnisse und Erfahrung, um in der Folge eine Abgrenzung der Gefahrenzonen durchzuführen oder nach der Umsetzung von Schutzmaßnahmen das Ausmaß einer Rücknahme von Gefahrenzonen zu bewerten.

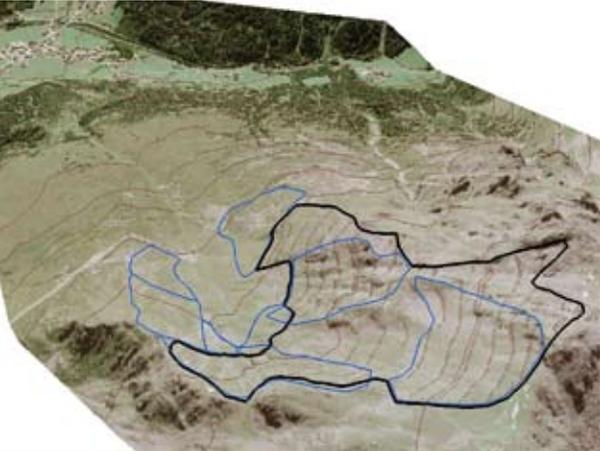


Abb. 2: Übersicht der Aherbach Lawine mit den unterschiedlichen Anbruchsszenarien (blau) und der aktuellen Verbauung (schwarz)

Fig. 2: Overview of Aherbach avalanche with different simulation scenarios in the starting zone (blue) and stabilization with steel snow bridges (black)

### Diskussion zum Thema Stellenwert der Lawinensimulation in der Gefahrenzonenplanung und Gutachter Tätigkeit – Chancen und Risiken

Seit einiger Zeit kommen Lawinensimulationsprogramme in der Gefahrenzonenplanung und in der Gutachtertätigkeit zum Einsatz. Seitens der WLW werden hauptsächlich die Modelle SamosAT, ELBA+, Aval 1D und Alpha-Beta-Modell06 eingesetzt.

Bei SamosAT handelt es sich um ein 2D/3D-Simulationsprogramm für Fließ- und Staublawinen, das im Allgemeinen zur Berechnung von

trockenen Schneelawinen verwendet wird. Das ELBA+ ist ein 2D-Modell für Fließlawinen und beinhaltet einen erweiterten Voellmy-Ansatz. AVAL-1D ist ein eindimensionales numerisches Lawinendynamik-Programm. Es kann Auslaufstrecken, Geschwindigkeits- und Druckverläufe von Fließ- und Staublawinen entlang eines vordefinierten Pfades berechnen. Beim Alpha-Beta-Modell06 handelt es sich um ein statistisch-stochastisches Modell zur schnellen Abschätzung des potenziellen Auslaufs.

*In der Diskussion wurden vor allem folgende Fragen behandelt: Inwieweit soll man den Simulationsprogrammen Vertrauen schenken? Ist es sinnvoll den Gemeinden bzw. der Bevölkerung die Simulationen zu veranschaulichen bzw. sollen Animationen präsentiert werden?*

Es ist außer Frage gestellt, dass die Verwendung von Simulationsprogrammen ein wichtiges Hilfsmittel ist und dem Stand der Technik entspricht.

Jedoch muss vor Beginn einer Simulation abgeklärt werden, welches Modell für die vorliegende Fragestellung geeignet ist. Je mehr Eingangsparameter bei einer Simulation zum Einsatz kommen, desto mehr Randbedingungen sind zu lösen. In manchen Fällen ist es schwierig, die Anfangsbedingungen, wie Größe und Mächtigkeit des Anbruches oder Menge des erodierbaren Schnees klar einzuschätzen. Die Eingabemasken der meisten Modelle erfordern jedoch eindeutige Werte.

Genauere Modelle liefern zwar bessere Erklärungen und sind grundsätzlich anzustreben; sie liefern jedoch nicht automatisch sichere Ergebnisse. In jedem Fall müssen verschiedene Szenarien (Bandbreiten) berechnet werden, die darauf folgend von den Experten entsprechend interpretiert werden. Eine ständige Weiterentwicklung bzw. kontinuierliche Kalibrierung der einzelnen Modelle findet statt und ist auch weiter

notwendig. Durch die laufenden Verbesserungen der Modelle sind Änderungen in den Simulationsergebnissen möglich. Aber auch die Simulationen sind eine Einschätzung zu einem bestimmten Zeitpunkt, die, falls sich wesentliche Neuerungen ergeben, zu wiederholen und neu zu analysieren sind. Der Diskussionspunkt über die Modellentwicklung hat gezeigt, dass noch immer ein Mangel an Referenzlawinendaten besteht.

Es darf nicht vergessen werden, dass jede Simulation nur eine Abstraktion der Wirklichkeit darstellt. Die Ergebnisse von Lawinensimulationen sind kritisch zu hinterfragen und sollten nur als Unterstützung bzw. als Ergänzung zu den sonst gebräuchlichen Methoden (Historische Methode, Literatur-Recherche, Auswertung bisheriger Planungen und Gutachten) herangezogen werden. Das heißt es ist unumgänglich die Simulationsergebnisse im Detail zu analysieren, zu interpretieren und mit allen weiteren verfügbaren Daten zusammenzuführen. Die Verwendung von Simulationsmodellen sollte nur von Experten durchgeführt werden, die eine ausreichende Variantenstudie betreiben können, um zu einem repräsentativen Ergebnis zu kommen.

Bei der Frage ob die Ergebnisse der Bevölkerung veranschaulicht gezeigt werden können, war die tendenzielle Meinung, dass nur solche Ergebnisse gezeigt werden sollten, die plausibel und repräsentativ sind. Das heißt, zum Beispiel solche Simulationen darlegen, die durch Chronikereignisse eindeutig belegt werden können.

Zusammenfassend hat die Winterstudienreise 2008 verdeutlicht, dass die Lawinensimulationen eine wertvolle Unterstützung in der Beurteilung von Lawinen leisten können, jedoch müssen die Ergebnisse kritisch beleuchtet und interpretiert werden. Es reicht nicht aus die Simulationen zu vergeben und darauf die Ergebnisse unkritisch zu übernehmen. Die Simulationen weisen Ungenauigkeiten sowohl in den Eingangsparametern als

auch in der Berechnung des Prozessverlaufes auf. Daher sind die Ergebnisse auch mit einem gewissen Fehler behaftet. Dieser kann durch realistische Bestimmung der Anbruchgebiete und der Entrainmentbereiche, durch qualitativ hochwertige Geländemodelldaten als Grundlage, durch Überprüfungen der Simulationen anhand von kleineren überlieferten Ereignissen sowie durch Rückkopplung mit den Gegebenheiten vor Ort (Stumme Zeugen; Befragungen) gering gehalten werden. Fließlawinen können unter den angeführten Voraussetzungen gut simuliert werden. Staublawinen weisen aufgrund der enormen Komplexität noch eine größere Fehlerbandbreite auf. Fortschritte in der Lawinenforschung bringen laufend neue Erkenntnisse, die wiederum in den Modellen verarbeitet werden können und so in Folge eine Genauigkeitssteigerung ermöglichen. Die Lawinenmodelle müssen weiterhin Bandbreiten ausgeben, da sich die Schneeeigenschaften je nach Wettergeschehen verändern und eine Bandbreite an Lawinenereignissen erzeugen. In der Gefahrenzonenplanung sind diese verschiedenen Ereignisse letztendlich als Summenlinie darzustellen.

Die Diskussionen haben auch gezeigt, dass anhand der Simulationen mit den eindeutigen Linien allzu leicht voreilige Schlüsse gezogen werden können, die jedoch einer vertiefenden Interpretation, einer Auseinandersetzung mit der Thematik und einer Validierung der Ergebnisse mit den Sachverständigen im Gelände bedürfen.

### Adresse der Verfasser /

*Author's address:*

Dipl. Ing. Matthias Granig  
Stabstelle Schnee und Lawinen  
Swarovskistraße 22a, 6130 Schwaz  
E-Mail: mathias.granig@die-wildbach.at

FRANZ ANKER, ROLAND BAUER, THOMAS HUBER, MARKUS MAYERL, CHRISTOPH SKOLAUT, LEOPOLD STEPANEK

## Lawinenerlass

### *Austrian avalanche order*

#### Zusammenfassung:

Einer der 4 Themenbereiche dieser Studienreise war dem geltenden Lawinenerlass gewidmet. Anhand von konkreten Beispielen und Erfahrungen aus der Praxis wurde die geltende Erlasslage intensiv diskutiert.

#### Summary:

*One of the 4 main topics of the 2008 winter study trip was on the Austrian avalanche order for skiing areas and cableways. Based on latest examples and expert knowledge intense discussions went on the ongoing order.*

#### 1. Historische Entwicklung

Die primäre Zuständigkeit in Sachen Lawinenerlass liegt bei der Seilbahnbehörde im BMVIT. Lediglich fix gekoppelte Bahnen wurden zwischenzeitlich an die Ämter der Landesregierungen delegiert.

Aufgrund der Lawineneignisse in Vorarlberg 1975 wurden der erste Erlass, Zahl EB6403/8-II/3-75 vom 22. Jänner 1975, und der zweite Erlass 1976 mit Zahl 6403/31-II/3-75 veröffentlicht.

Nach 15-jähriger Anwendung kamen von Seiten der Seilbahnwirtschaft vehemente Forderungen nach einer Lockerung der Erlässe, weil überalterte, nicht permanent sicherbare Anlagen sonst mittlerweile keine Möglichkeit auf Erneuerung gehabt hätten, weiters die Erfahrungen mit den herkömmlichen Schutzmaßnahmen zugenommen hatten und außerdem neue Techniken für die temporäre Sicherung verfügbar waren.

Aufgrund der Ergebnisse einer Arbeitsgruppe aus WLV-internen und externen Mitarbeitern wurde der dritte Erlass am 1. Juli 1996 erlassen und das sogenannte Ausnahmeverfahren etabliert. Diese Ausnahmeverfahren gelten nur für Ersatzanlagen, ein Maßnahmenmix in der Sicherung ist vertretbar, wobei die Forderung nach einer maximal erreichbaren Sicherheit aufrecht erhalten wird.

Mit dem vierten Lawinenerlass vom 01.03.2004 werden die Erlässe vom 22.01.1975 und 01.07.1996 außer Kraft gesetzt. Nunmehr ist auch für Neuanlagen, wenn sie als Ergänzung bestehender Anlagen im erschlossenen Skiraum dienen, eine Beurteilung im Rahmen eines Ausnahmeverfahrens möglich.

Ergänzend zu den Erlässen des BMVIT regelt ein Erlass des BMLFUW die Geschäftsordnung für die Amtssachverständigenkommission, welche laut Erlass vom 1. Juli 1996 für die Be-

gutachtung im Rahmen eines Ausnahmeverfahrens vorgesehen ist.

Die Erfahrungen aus den Sektionen Salzburg, Tirol und Vorarlberg zeigen, dass in den letzten Jahren zwischen 3 und 6 Ausnahmeverfahren pro Bundesland durchgeführt wurden.

#### 2. Der geltende Lawinenerlass aus Sicht des ASV für Wildbach- und Lawinerverbauung

Mit dem derzeit gültigen Lawinenerlass haben die Sachverständigen für Wildbach- und Lawinerverbauung ein Werkzeug zur Hand, das einen hohen Sicherheitsstandard bei Aufstiegshilfen im hochalpinen Gelände garantiert.

Gerade aber die tägliche Praxis in der Anwendung des geltenden Erlasses zeigt auch die Schwächen auf, die es für den einzelnen Sachverständigen nicht immer leicht machen, die fachliche Beurteilung vorzunehmen.

Der wahrscheinlich gravierendste Punkt ist die Beurteilung der ständigen Lawinensicherheit. Jeder mit Naturgefahren befasste Sachverständige weiß um die Schwierigkeit der Beurteilung dieser Frage, die keine Häufigkeitsüberlegungen zulässt – wie dies im Gegensatz dazu beispielsweise bei Begutachtungen auf Basis gültiger Gefahrenzonenpläne der Fall ist. Die Frage der Restgefährdung ist in jedem Gutachten anzuführen und speziell dann aufzuwerfen, wenn technische Schutzmaßnahmen die ständige Lawinensicherheit herstellen sollen.

Permanente Stützverbauungen werden vielfach zum Schutz von Skipisten und Skiwegen unmittelbar oberhalb errichtet. Dies widerspricht jedoch der geltenden Schweizer Richtlinie für den Lawinerverbau im Anbruchgebiet, die als Ziel die Abstützung der Schneedecke zur Verhinderung von großflächigen Lawinanbrüchen und damit die Verringerung der Auslauflängen von nie-

dergehenden Lawinen hat. Das Abbrechen von Schneebrettern unterhalb von Verbauungen aus vermeintlich sicheren Bereichen auf Skipisten ist somit nicht auszuschließen und daher bei der Begutachtung entsprechend zu berücksichtigen.

Der Lawinenerlass sieht die Errichtung einer permanent lawinensicheren Skipiste pro Anlage vor, die jedoch nicht die Hauptabfahrt bzw. attraktivste Abfahrt der jeweiligen Anlage sein muss. Dies ist grundsätzlich ohne Zweifel eine sinnvolle Maßnahme, um in Extremsituationen die Skifahrer gesichert ins Tal bzw. zur nächsten Liftanlage bringen zu können. Die Intentionen des Lawinenerlasses zielen jedoch dann ins Leere, wenn sogenannte Alibiabfahrten von den Betreibern vorgeschlagen und von der Behörde genehmigt werden. Eine „naturbelassene“ Abfahrt am windausgesetzten Grat, die in der Praxis als Skiroute geführt wird, entspricht nicht diesem Kriterium. Erst recht dann nicht, wenn die Masse an Skifahrern durch einen langen Tobel gelenkt wird, der temporär gesichert ist und die einzige Möglichkeit darstellt, um ins Tal zu gelangen – unabhängig von der aktuellen Lawinensituation.

Ob es sich um eine Neu-, Ersatz- oder Ergänzungsanlage handelt – mit allen unterschiedlichen Beurteilungen im Rahmen des geltenden Erlasses – wird von der Behörde festgelegt. Diese ist die Basis für die Beurteilung des Sachverständigen. Divergierende Ansichten können und sollen zwar formuliert werden, haben in der Praxis jedoch nur geringen Einfluss auf die Beurteilung der Seilbahnbehörde.

Im Rahmen eines Ausnahmeverfahrens gilt es durch das geplante Vorhaben einen überproportionalen Sicherheitsgewinn für das gesamte Skigebiet – verglichen mit dem derzeitigen Zustand und unter Berücksichtigung einer allenfalls geplanten Kapazitätserhöhung – zu erzielen. Dies ist vom Sachverständigen entsprechend zu bewerten. Interessant wird die Frage, wie dies in wei-

terer Zukunft bei Skigebieten, die in den letzten Jahren bei Ausnahmeverfahren sehr viel in den überproportionalen Sicherheitsgewinn investiert haben, zu beurteilen ist. Einen entsprechenden Sicherheitszugewinn in kurzen Zeitabständen mehrfach argumentieren zu können, geht sicher an der Realität sowie an den Intentionen des Lawinenerlasses vorbei. Hier gilt es sicher die Investitionen in der Vergangenheit und vor allem das klaglose Funktionieren der bisher angewendeten Sicherheits- bzw. Sicherungsmaßnahmen im Sicherheitskonzept zu erwähnen und in die Beurteilung einfließen zu lassen.

Die im Rahmen des geltenden Seilbahngesetzes in der Einreichung zu erstellende Sicherheitsanalyse für den Wildbach- und Lawinenbereich darf, entgegen früheren Gepflogenheiten in einzelnen Gebieten, nicht von Mitarbeitern der WLW erstellt werden. Dies deshalb, da dies eine klare Unvereinbarkeit mit der Tätigkeit als Amtssachverständiger im Verfahren darstellt.

Zu guter Letzt darf der Zeitdruck der Betreiber nicht auf die Amtssachverständigen für Wildbach- und Lawinenverbauung abgewälzt und dadurch indirekt Druck auf die Beurteilung ausgeübt werden. Es steht außer Diskussion, dass die Vorschriften aus wildbach- und lawinenfachlicher Sicht starke Mehrbelastungen aus Sicht der Betreiber darstellen können. Zu oft steht der Sachverständige aufgrund von Vorschriften für zu berücksichtigende Schadereignisse geringer Häufigkeit im Kreuzfeuer der Kritik.

### 3. Gedanken für den laufenden Diskussionsprozess

In den letzten Jahrzehnten wurde in Österreich ein sehr hoher Standard in der Sicherheit von Seilbahnanlagen vor Wildbach- und Lawinengefahren erreicht. Der Wintertourismus und die Seilbahnwirtschaft sind sehr wichtig für Österreichs Wirtschaft. Sie sind Aushängeschilder des

österreichischen Tourismus.

Adaptierungen des Lawinenerlasses sind daher sehr behutsam anzugehen, denn ein einziger Schadensfall kann ungeahnte Ausmaße annehmen! Das derzeit hohe Sicherheitsniveau muss beibehalten werden, Adaptierungen an den Stand der Technik sind notwendig und sinnvoll – auch aus Sicht des Sachverständigen für Wildbach- und Lawinenverbauung.

Eine Weiterentwicklung des Lawinenerlasses kann jedoch nur von der Seilbahnbehörde ausgehen. Die Sachverständigen im Bereich Lawinen können im Entscheidungsfindungsprozess gegebenenfalls fachliche Inputs für diese Behörde liefern.

Wesentlich aus Sachverständigensicht ist die Sicherheit der Anlage und der zugehörigen Pisten. Eine zentrale Frage ist dabei, ob der Forderung nach einer ständigen Lawinensicherheit in alpinen Regionen noch weiterhin entsprochen werden kann oder ob die Beurteilung auf Basis der gültigen Gefahrenzonenpläne mit der Berücksichtigung von Jährlichkeitsüberlegungen erfolgen soll. Zu diskutieren wird etwa sein, ob ein Ereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren wie bei Begutachtungen in der Raumplanung oder im Baurecht adäquat scheint oder ob häufigere oder gar seltenere Ereignisse zu berücksichtigen sind?

Ist ein Abrücken von der Forderung nach einer ständig lawinensicheren Piste pro Anlage vertretbar? Hier scheint bereits derzeit im Rahmen von Ausnahmeverfahren der größte Spielraum zu bestehen. Wenn es der Seilbahnbehörde primär um eine lawinensichere Räumung des Skigebietes geht, ist ein Abgehen von dieser Forderung argumentierbar, Alternativen wurden in der Vergangenheit auch schon erfolgreich realisiert. Zudem sind speziell in den letzten Jahren europaweit eine Vielzahl von positiven Erfahrungen mit den neuesten temporären Sicherungsmaßnahmen gemacht

worden, die für eine temporäre Sicherung sämtlicher Pisten zu sprechen scheinen. Entscheidend wird dies jedoch von den naturräumlichen Gegebenheiten im jeweiligen Skigebiet abhängen.

Ein wesentlicher Punkt in Zusammenhang mit dem Sicherheitszugewinn ist unabhängig vom Vorliegen eines Ausnahmeverfahrens die Berücksichtigung des gesamten Skiraumes in einem Skigebiet.

Die Übertragung von Vorgehensweisen in anderen europäischen Staaten auf österreichische Verhältnisse, wie z.B. die Sicherung nur durch aktive und passive temporäre Maßnahmen, ist derzeit nur bedingt möglich. Zu unterschiedlich ist die historische Entwicklung in Verbindung mit allen gewachsenen gesetzlichen Regelungen. Aus Sicht des Amtssachverständigen wird es stets wichtig sein, offen für neue Entwicklungen zu sein, diese kritisch zu hinterfragen, sie technisch zu beurteilen und eine Anwendbarkeit in Österreich zu prüfen.

### Adresse der Verfasser /

*Author's address:*

Dipl. Ing. Christoph Skolaut  
Forsttechnischer Dienst für  
Wildbach- und Lawinenverbauung  
Sektion Salzburg,  
Bergheimerstraße 57a, 5021 Salzburg  
E-Mail: christoph.skolaut@die-wildbach.at

FRANZ ANKER

## Einleitung

Zusammenfassung:

Am 7. und 8. Oktober 2008 fand in Zell am See die Fachtagung „Forstliches Ingenieurwesen & Schutz vor Naturgefahren - GESTERN HEUTE MORGEN“ auf gemeinsamer Initiative von ForstAlumni und dem Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs statt.

Im Zentrum der Tagung stand die Diskussion über die aktuellen und künftigen Herausforderungen an eine forschungsgeleitete Ausbildung aus dem Blickwinkel der involvierten Berufsfelder, der Ausbildungsstellen und nicht zuletzt der Studierenden selbst.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Forstwirtschaft und die ihr nahe stehenden Bereiche verstärkt jenen Agenden widmen müssen, die die fundamentalen Voraussetzungen für ein gesichertes Leben und Wirtschaften in unseren Bergregionen betreffen. Die Daseinsvorsorge im Sinne der Sicherstellung ihrer Grundfunktionen (Wohnen, Verkehr, Erholung, Kommunikation, etc.) muss verstärkt in den Mittelpunkt unserer Überlegungen treten.

Eine Kurzzusammenfassung der wichtigsten Vorträge aus der Fachveranstaltung findet sich im Anschluss.



Abb. 1: Bei strahlendem Sonnenschein wurde bei der Fachexkursion auf die Schmittenhöhe in Zell am See ein Hochlagenaufforstungsprojekt begutachtet.

**JÖRG HEUMADER**

## Die Rolle des Waldes zum Schutz vor Naturgefahren

Der Wald ist zwar nicht der beste Wildbach- und Lawinenschutz, es ist aber unbestritten, dass der Wald im Hinblick auf Abflussverzögerung, Bodenfestigung, Rutschungsvorbeugung, Stein-schlagbremse, Lawinenvorbeugung etc. in der Regel die beste Vegetationsform ist.

Je nach Gefahrenart, örtlicher Situation und Waldzustand vermag der Wald einen Beitrag zum Schutz vor Naturgefahren zu leisten, welcher jedoch eindeutige Grenzen hat.

Eine gefahrenorientierte Bewirtschaftung bestehender so wie die Anlage neuer Objektschutzwälder durch Aufforstung ist daher als Ergänzung zu technischen Verbauungsmaßnahmen und zur passiven Schadens- und Gefahrenvermeidung durch Gefahrenzonenplanung und Gutachtertätigkeit eine der drei Komponenten des modernen Wildbach-, Erosions- und Lawinenschutzes.

Bei der Kombination technischer und forstlicher Schutzmaßnahmen sollte als Grundsatz gelten:

„Nur so viel technischer Schutz wie unbedingt notwendig, aber so viel flächenhafte Verbesserung im Einzugsgebiet wie sinnvoll möglich“.

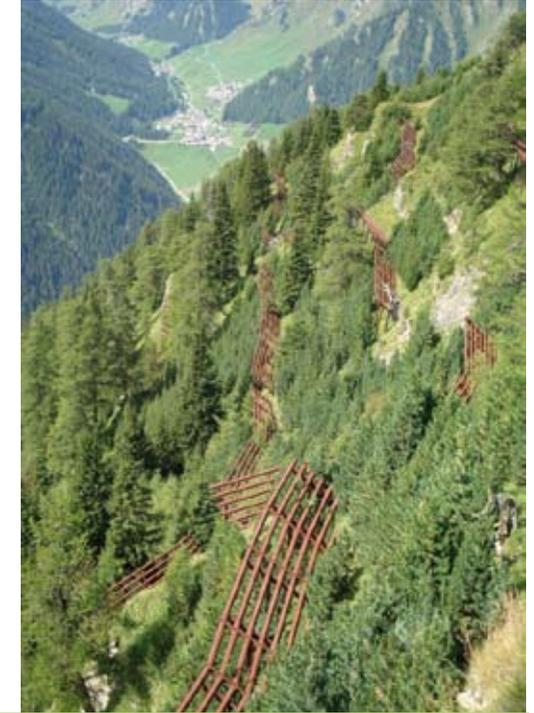


Abb.1: Der Spisser Bannwald in Tirol 1973 und 2008 als Beispiel einer gelungenen Kombination technischer und forstlicher Maßnahmen

### Adresse des Verfassers:

DI Jörg Heumader  
Ehemals Leiter der Gebietsbauleitung Oberes  
Inntal der WLVI, Imst, Tirol  
Lektor für „Afforestation near the Timberline“  
Universität für Bodenkultur „Wien“  
Lehngasse 73/1 A-6460 Imst  
E-Mail: joerg.heumader@cni.at

**FRANZ ANKER**

## Das Ingenieurwesen der Wildbach- und Lawinerverbauung – Kompetenz und Aufgaben des WLV-Ingenieurs

### Zusammenfassung:

Die Ausbildung des akademischen Personals für den Forsttechnischen Dienst erfolgt an der Universität für Bodenkultur. Traditionell wurden auf Basis eines vollwertigen Forststudiums die spezifischen Ingenieurfächer im Rahmen eines eigenen Studiengangs vermittelt. Im Rahmen der Reorganisation der Universitäten (Bologna-Prozess) wurde ein eigenes Masterstudium etabliert – „Mountain Risk Engineering“.

Gemäß §102(2) ForstG müssen Leiter von Dienststellen Forstwirte sein, die die Anstellungserfordernisse für den höheren Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinerverbauung gemäß den hierfür geltenden Vorschriften erfüllen. Forstwirte haben zu den Ausbildungsvoraussetzungen eines Forstassistenten die erfolgreiche Ablegung der Staatsprüfung für den höheren Forstdienst nachzuweisen. Forstassistenten müssen gemäß §3(2) FA-AusbildungsVO eine einschlägige forstliche Ausbildung (Försterschule oder Bachelor für Forstwirtschaft) nachweisen können.

Das nunmehr geltende Durchgängigkeitsprinzip der dualen universitären Ausbildungsstruktur an der BOKU ermöglicht den Bildungszugang zum Master „Mountain Risk Engineering“ aus verschiedenen Grundstudien und ist nicht ausschließlich auf die forstliche Schiene beschränkt.

Für die Neuaufnahme von Akademikern beim Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung wurde daher mit Erlass vom 12. 7. 2005 Zl. BMLFUWLE.3.3.4/0117-IV/5/2005 geregelt:

- Akademische Ausbildung an der Universität für Bodenkultur.
- Abschluss Magisterstudium „Mountain Risk Engineering“.
- Diplomarbeit Fachbereich „Mountain Risk Engineering“.
- Nachweis über den positiven Abschluss weiterer Lehrveranstaltungen, die spezifisch für das jeweilige Grundstudium anzuwenden sind.

Der Erlass mit den Fächerlisten steht auf der Homepage des Vereins [www.wlv-austria.at](http://www.wlv-austria.at) zum Download bereit.

Die Vielfalt der Möglichkeiten wird durch die Ausbildungserfordernisse für Forstassistenten

als Voraussetzung für die Staatsprüfung – sofern eine leitende Stelle angestrebt wird – beschränkt. Die forstgesetzlichen Bestimmungen sind allerdings letztlich Ausdruck einer notwendigen Kompetenz für die Fläche. Die Gefahrenzonenplanung als Basis unseres forsttechnischen Systems erfordert den integralen Denkansatz, um die Wechselwirkungen zwischen dem Einzugsgebiet und den ereignisspezifischen Größen abschätzen und bewerten zu können.

### Adresse des Verfassers:

Dipl.-Ing. Anker Franz  
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Pinzgau, Schmittenstrasse 16, 5700 Zell am See

**FLORIAN RUDOLF-MIKLAU**

## Zwischen der forsttechnischen Tradition und den Herausforderung der Zukunft

Zusammenfassung:

Der Diplomingenieur der Wildbach- und Lawinenverbauung wurde in Österreich seit 1884 in der Tradition des „Forsttechnischen Systems“ ausgebildet. In den letzten Jahrzehnten haben sich die beruflichen Anforderungen und der Stand des Wissens stark verändert und ausgeweitet. Im Schutz vor Naturgefahren stehen heute in der Praxis planerische und bauliche Maßnahmen im Zentrum, während forstliche Maßnahmen in den Hintergrund gerückt sind. Die Gründe für diese Entwicklungen liegen sowohl in den naturräumlichen als auch in den gesellschaftlichen Veränderungen. Die Universität für Bodenkultur steht daher vor der Herausforderung, Anpassungsstrategien und neue Berufsbilder zu entwickeln und dabei den „Spagat“ zwischen der forsttechnischen Tradition und den zukünftigen Anforderungen zu schaffen.

### Ursprünge des forsttechnischen Systems der Wildbach- und Lawinenverbauung

Die österreichische Wildbachverbauung hat ihren Ursprung in Frankreich. Wie auch dort liegen die Wurzeln in einer forstlichen Ingenieurdisziplin, die sich bei der Setzung von Schutzmaßnahmen auf die Kombination aus bautechnischen, ingenieurbiologischen und forstlichen Maßnahmen stützte. Der Schwerpunkt der Verbauungsmaßnahmen lag zunächst in der Stabilisierung von Erosionsflächen, der Korrektur von Bachläufen und der Wiederbewaldung der Einzugsgebiete. Am Anfang stand „nur“ der Wildbachschutz.

Zum Zeitpunkt der Gründung der Wildbach- und Lawinenverbauung herrschten in Österreich außerdem völlig andere naturräumliche und gesellschaftliche (wirtschaftliche) Verhältnisse als heute. Das Bergbauzeitalter hatte zu einer starken Entwaldung der Einzugsgebiete geführt. Schon dieser Aspekt streicht die hohe Bedeutung der forstlichen Kompetenz heraus. Der strukturschwache ländliche Raum und die verarmte Landbevölkerung hatten ein ungleich geringeres Schutzbedürfnis als heute. Konsequenterweise herrschte ein geringes wirtschaftliches Interesse und extensive Raumnutzung in alpinen Gebieten. Änderungen brachte die industrielle Revolution, welche ein starkes Wachstum der Städte und den Bau erster Verkehrsachsen (Bahn, Straßen) im Alpenraum nach sich zog. Von nicht unbeträchtlicher Bedeutung war auch die Entstehung eines systematischen staatlichen Systems der Naturgefahrenabwehr in der Verwaltung der k.&k. Monarchie, wohl der Hauptgrund für die Dominanz staatlicher Institutionen im modernen Naturgefahrenmanagement in Österreich.

### 124 Jahre später: Rahmenbedingungen der WLW heute

124 Jahre haben vieles verändert. Die gute Nachricht zuerst: Die Waldausstattung in den Einzugsgebieten von Wildbächen und Lawinen ist heute besser als jemals zuvor. Der Wald gewährt in Österreich optimalen Schutz. Ebenso konnte bzw. kann durch die Umsetzung zahlreicher Schutzprojekte und die – ab 2010 – flächendeckende Bereitstellung von Gefahrenzonenplänen ein hohes Sicherheitsniveau erreicht werden.

Doch jetzt die schlechte Nachricht: Die alpinen Regionen sind durch Tourismus und Regionalentwicklung strukturstarke geworden. Dies hat zu einer intensiven Nutzung des alpinen Raumes und zur Verknappung „sicherer“ Bauflächen geführt. Entwicklungen wie die Suburbanisierung des ländlichen Raumes, die Entstehung transeuropäischer Verkehrsachsen im Alpenraum und die ständig steigenden Sicherheitsansprüche der Bevölkerung haben nicht gerade dazu beigetragen, dass Österreich insgesamt sicherer vor alpinen Naturgefahren geworden ist. Vielmehr ist ein starker Anstieg der Schadenspotenziale zu erkennen und – trotz aller bisher realisierten Maßnahmen – wird immer mehr die Frage nach den Grenzen des staatlichen Naturgefahrenmanagements gestellt: Wie viel sicherer kann die Wildbach- und Lawinenverbauung die Alpentäler noch machen? Reichen die bisherigen Schutzkonzepte oder das dafür entwickelte Fachwissen überhaupt noch aus?

### Fachwissen der WLW auf dem Prüfstand

Führt man einen Streifzug durch das Spektrum der Maßnahmen gegen Wildbäche und Lawinen, so stößt man auf eine breite Palette höchst unterschiedlicher Schutzkonzepte. Dazu zählen die Gefahrenzonenplanung, der Gebäudeschutz, die

Lawinenwarnung, Rechtsnormen mit präventiver Schutzwirkung, Sachverständigentätigkeit, Sperren und Evakuierung, Katastrophenschutzpläne, Sofortmaßnahmen oder die Bewirtschaftung der Einzugsgebiete.

Betrachtet man die zugehörigen fachlichen Anforderungen zur Erfüllung dieser Aufgaben (Tab. 1) und vergleicht diese mit den klassischen Ausbildungsinhalten, die die Universität für Bodenkultur (BOKU) den AbsolventInnen der Wildbach- und Lawinenverbauung traditionell vermittelt hat, kann man – ohne Übertreibung – von einer „Wissensexplosion“ sprechen.

Was waren denn die Anforderungen an den „Wildbach-Ingenieur“ klassischer Prägung?

Dieser genoss zunächst auf der BOKU eine fundierte forstliche Grundausbildung (BOKU) und erwarb sich dabei ein gutes ingenieurbilgisches Wissen sowie ein Grundverständnis für die natürlichen Prozesse in den Einzugsgebieten. Der „klassische Wildbachler“ war „Universalist“. Sein Fachwissen basierte zu wesentlichen Teilen auf Erfahrung im Naturraum und einfachen Modellvorstellungen von den Gefahren („Faustformeln“). Er war von der Einstellung her „Praktiker“ und notgedrungen „bautechnischer Autodidakt“. Auch in der Gefahrenzonenplanung stützte er sich auf tradiertes Wissen („historische Methode“) und Naturbeobachtung („Stumme Zeugen“). Außerdem war er Beamter.

Der Diplomingenieur der Wildbach- und Lawinenverbauung (heute: „Master for Alpine Natural Hazards“) soll – etwas überzeichnet formuliert – heute Bauingenieur, Geodatenexperte, Prozessmodellierer, Jurist, Ökologe, Geotechniker und Projektmanager in einer Person sein. Das forstliche Wissen und die Kenntnisse der modernen Naturgefahrenverwaltung werden ohnehin vorausgesetzt. Ganz realistisch bewertet kann das eine Universitätsausbildung alleine nicht mehr vermitteln. Die Ausbildung der Wildbach- und

Lawinenverbauung auf der BOKU steht damit auf dem Prüfstand und wahrscheinlich vor einem veritablen „Paradigmenwechsel“.

### Herausforderungen der Zukunft

Das Fachwissen über den Schutz vor Naturgefahren ist – mehr als viele andere Ingenieurdisziplinen – mit den Veränderungen im Natur- und Kulturraum verbunden. Daher sind die „Herausforderungen der Zukunft“ an die Wildbach- und Lawinenverbauung keine unbedeutenden „zeitgeistigen“ Schlagworte, sondern möglicherweise irreversible „tektonische Plattenverschiebungen“, die in naher Zukunft ganz andere Anforderungen an die Ingenieurpraxis und die universitäre Ausbildung stellen werden, als heute bereits absehbar ist. Zur Orientierung trotzdem einige der „Schlagwörter“, die Auswirkungen haben könnten:

- „Klimawandel“
- „Global Change“
- Zunahme katastrophaler Ereignisse
- Risikodialog (Partizipation)
- Erhaltungsstrategien für bestehende Schutzmaßnahmen
- Interdisziplinarität
- Urbanisierung des ländlichen Raumes
- Verlust des Gefahrenbewusstseins
- „Privatisierung“ des öffentlichen Sektors

Diese Veränderungen bewirken, dass „Schutz vor Naturgefahren“ eine dramatische Steigerung in der öffentlichen Wahrnehmung und faktischen Bedeutung für die allgemeine Sicherheit und Daseinsvorsorge erfahren hat. Diese Entwicklung hat – wie könnte es anders sein – andere Fachdisziplinen auf den Plan gerufen, die sich für Aufgaben des Naturgefahrenmanagements interessieren und diese in ihre universitäre Ausbildung einbinden. Insbesondere die Fachbereiche Bauingenieurwesen, Geowissenschaften, Raumordnung, Umweltwissenschaften und Wirtschaftswissenschaften

beanspruchen ihre Sektoren im großen Feld des Naturgefahrenmanagements. Das erzeugt Konkurrenz für die etablierten Fachdisziplinen (Wildbach- und Lawinenverbauung, Schutzwasserbau), doch Konkurrenz belebt das Geschäft.

Und das neue Wissen ist hoch willkommen, denn es schließt genau jene Lücken, die sich durch die enorme Steigerung der fachlichen Anforderungen an die klassische Ausbildung aufgetan haben. Interdisziplinarität ist das neue „Zauberwort“.

Die Kehrseite der Medaille ist allerdings ein zunehmendes Orientierungsproblem der klassischen Ausbildungsangebote an der Universität für Bodenkultur.

### Universalist oder Spezialist

Seit einigen Jahren bestehen auf der BOKU intensive Bemühungen, das Studium der „Wildbach- und Lawinenverbauung“ neu zu orientieren. Vordergründig geht es dabei um die Frage: Was benötigt die Praxis? Hintergründig geht es um ein echtes „Identitätsproblem“: Soll die BOKU weiterhin „Universalisten“ ausbilden, also Breitbandexperten, die alle erforderlichen Kenntnisse selbst besitzen und alle Aufgaben selbst durchführen, oder setzt sie zukünftig auf den „Spezialisten“, der in seinem Fachbereich extrem spezialisiert ist (Experte), in anderen Fachbereichen jedoch auf das Wissen anderer Experten angewiesen ist.

Die Realität der aktuellen Ausbildung zeigt, dass der Schritt zum Spezialisten bereits vollzogen wird. Die Absolventen des „Masters of Mountain Risk Engineering“ sind heute „hochspezialisierte“ Experten der Prozessmodellierung und Technologie der Schutzmaßnahmen, in anderen Bereichen tun sich dafür Defizite in der Ausbildung auf, insbesondere im forstlichen Fachgebiet. Dieser Prozess ist jedoch nachvollziehbar, beobachtet man die Randbedingungen des sogenannten „Bolo-

gnia-Prozesses“ und die damit verbundenen Änderungen der Lehrpläne. Die Universitäten sind zur Spezialisierung gezwungen!

Das Lebensministerium beschäftigt sich ebenfalls seit einigen Jahren intensiv mit den Herausforderungen der Zukunft. Aus dieser Perspektive kann eine These für das tatsächlich erforderliche Profil des WLW-Ingenieurs des 21. Jahrhunderts gewagt werden:

Dieser ist ein „Generalist“, d.h. er hat in allen Bereichen ein Überblickswissen und kann Ergebnisse von „Spezialisten“ immer bewerten und weiterverwenden, somit hat er keinen alleinigen Letztentscheidungsanspruch.

<p><b>„UNIVERSALIST“</b></p> <p>HAT ALLE ERFORDERLICHE KENNNTNISSE SELBST UND KANN ALLE AUFGABEN SELBST DURCH. NIMMT NUR UNTERGEORDNETE LEISTUNGEN VON „SPEZIALISTEN“ IN ANSPRUCH. ALLEBODER ENTSCHEIDUNGSANSPRUCH.</p>	<p><b>„GENERALIST“</b></p> <p>HAT IN ALLEN BEREICHEN EIN ÜBERBLICKSWISSEN UND KANN ERGEBNISSE VON „SPEZIALISTEN“ IMMER BEWERTEN UND WEITERVERWENDEN. LETZTENTSCHEIDUNGSANSPRUCH.</p>
<p><b>„SPEZIALIST“</b></p> <p>IST IN SEINEM FACHBEREICH EXTREM SPEZIALISIERT (EXPERTE), IN ANDEREN FACHBEREICHEN JEDOCH AUF DAS WISSEN ANDERER EXPERTEN ANGEWIESEN. ENTSCHEIDUNG NUR BEI „EXPERTENKOLLEKTIV“.</p>	<p><b>„MANAGER“</b></p> <p>HAT IN KEINEM FACHBEREICH FUNDIERTE KENNNTNISSE, JEDOCH EIN GUTES VERSTÄNDNIS DES QUANTITÄTSM. KOORDINIERT EXPERTEN AUS ZAHLEICHEN FACHBEREICHEN UND STEUERT DEN ENTSCHEIDUNGSPROZESS.</p>

### WLW-Ausbildung neu: Risiken und Chancen

Wie alle Universitäten verfolgt die BOKU neben den Ansprüchen der Forschung und Lehre das Ziel, Absolventen „für den Markt“ auszubilden. Aber was verlangt der Arbeitsmarkt zukünftig?

Der Bund (Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung) ist längst nicht mehr der einzige Arbeitgeber. Die Absolventen finden Anstellung in vielen Sparten, insbesondere als Zivilingenieure, in der Versicherungswirtschaft, bei Seilbahnbetreibern, in der Produktion und dem Vertrieb von Schutzsystemen, in der Bauwirtschaft, in der Entwicklungszusammenarbeit oder bei Behörden und Fachdiensten mit verwandten Aufgabenstellungen. Damit stellt sich aber die Frage, ob es ein kompaktes Berufsbild für den WLW-Ingenieur in Zukunft überhaupt noch

geben kann. Die Entwicklung scheint eine hohe Ausbildungsflexibilität zu begehren.

Zudem tun sich für die BOKU als Ausbildungsanbieter in Konkurrenz zu anderen Ausbildungseinrichtungen zahlreiche Risiken, aber auch etliche Chancen auf:

Ein Verharren auf dem „Status quo“ birgt die Gefahr der „Austrocknung“ des Studiums aufgrund zu geringer Absolventenzahlen. Ein weiteres Risiko ist der Kompetenzverlust durch Konkurrenz anderer Fachdisziplinen. Auch Änderungen wie eine „falsche“ Spezialisierung der Lehre im Bereich Alpine Naturgefahren könnten fatale Folgen haben. Gleichzeitig ist ein Anspruch der konkurrierenden Universitäten auf „Kompetenzaufteilung“ der Ausbildung nach Naturgefahrenarten zu verspüren. Ein bereits latentes Problem ist das Auseinandertriften der Ansprüche der Wissenschaft und Ingenieurpraxis und die Forschungslastigkeit der Universitäten, die die Lehre ins Hintertreffen geraten lässt.

Andererseits bietet die BOKU das umfassendste Angebot an relevanten Grundlagenfächern aller akademischen Ausbildungsstätten in Österreich, auch hinsichtlich neuer Anpassungsstrategien (Klimawandel, Landnutzung, Flussgebietsmanagement). Naturgefahrenmanagement ist auf globaler Ebene als große Herausforderung der Daseinsvorsorge zu sehen (vgl. ISDR), sodass es zwangsläufig zu einer Internationalisierung dieses Fachbereichs kommen wird. Dies führt zu neuen Chancen der Absolventen am Arbeitsmarkt, insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern.

Die BOKU steht daher vor einer doppelten Herausforderung: Sie soll gleichzeitig den Ausbildungsanspruch im eigenen Land erfüllen (und dabei eine traditionelle Ausbildung erhalten) und andererseits die Chance einer Vorreiterrolle im internationalen Naturgefahrenmanagement nutzen.

### Zukunft der universitären Ausbildung des Naturgefahrenmanagements auf der BOKU – eine Vision

Der Autor dieses Beitrages ist mit „Leib und Seele“ Wildbach- und Lawinenverbauer und zutiefst seiner „Alma Mater“ verbunden. Dem „notorischen“ Optimismus folgend wird nachfolgend eine sehr vielversprechende Zukunftsvision für die akademische Ausbildung für den Schutz vor Naturgefahren auf der BOKU gezeichnet:

Das Naturgefahrenmanagement wird zum Ausbildungsschwerpunkt der BOKU in einer weltweit einzigartigen Form. Als Querschnitts-ausbildung aller relevanten Fachbereiche (Forst, Wasser, Geologie, Klimatologie, Umwelt, Landnutzung) wird der Zugang für alle qualifizierten Bakkalaureate der Universität geöffnet. Der Absolvent „Naturgefahrenmanagement“ ist Generalist mit Spezialisierung in einigen Fachbereichen und guten Managerqualitäten. Eine enge Kooperation mit anderen Ausbildungseinrichtungen im In- und Ausland wird aufgebaut und gewährleistet die erforderliche internationale Vernetzung für die Studierenden. Zukünftig besteht eine enge Kooperation zwischen Wissenschaft, Lehre und Ingenieurpraxis. Darüber hinaus bietet die BOKU ein umfassendes postgraduelles Bildungsangebot in Kooperation mit anderen Ausbildungseinrichtungen. Integrales und interdisziplinäres ersetzt sektorales Denken. Und das Wichtigste zum Schluss: Die BOKU vergisst nicht die forstlichen Wurzeln der Wildbach- und Lawinenverbauung, die diese Ausbildung weltweit so einzigartig gemacht haben.

Wie die tatsächliche Zukunft der Ausbildung der Wildbach- und Lawinenverbauung aussehen wird, liegt allerdings in den Händen der entscheidungsbefugten Organe der BOKU, des Rektorats und des Senats. Noch ist nichts entschieden, doch es besteht der starke Eindruck,

dass die Entscheidungsträger die Zeichen der Zeit längst erkannt haben und gerade dabei sind, die Weichen zu stellen.

### Was kann die Ingenieurpraxis und das Lebensministerium beitragen?

Die Ingenieurpraxis ist gefordert, den tatsächlichen Wissensbedarf für die Zukunft zu definieren und der BOKU als Grundlage für die Ermittlung der Ausbildungsschwerpunkte der Zukunft zur Verfügung zu stellen. Dabei darf sie sich nicht von Traditionen, sondern vom Weitblick für die zukünftigen Herausforderungen leiten lassen.

Das Lebensministerium sollte umgehend in Zusammenarbeit mit Berufsvertretungen und der Ingenieurkammer ein Berufsbild und Anforderungsprofil für den Naturgefahren-Ingenieur der Zukunft erstellen. Weiters sollte – vergleichbar dem Prozess auf Ebene der Naturgefahrenverwal-

tung – eine Harmonisierung der Ausbildung für den „Schutz vor Naturgefahren“ betreffend Hochwasser, Lawinen und gravitative Prozesse angestrebt werden.

Alle diese Ziele sind umsetzbar, aber nur, wenn es nicht zu einer „Zersplitterung“ der Interessen, sondern zum sprichwörtlichen „Zug am gleichen Strang“ aller Akteure kommt.

### Adresse des Verfassers:

Dipl.-Ing. Dr. Florian Rudolf-Miklau  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abteilung IV5 – Wildbach- und Lawinenverbauung  
Marxergasse 2, 1030 Wien  
E-Mail: florian.rudolf-miklau@lebensministerium.at

Aufgaben	Erforderliches Wissen	Von Ausbildung abgedeckt
Naturraumdaten	Geodaten, Meteodaten, Hydrodaten, GIS, Datenbanken, nationale und europäische Rechtsnormen (ISPIRE, PSI, UIG)	teilweise
Prozessmodellierung	Physikalische Prozessgrundlagen, Simulationsprogramme, empirische Modellierung, Parametrisierung von Modellen	teilweise
Gefahrenzonenplanung	Planungsgrundlagen, Verfahren lt. ForstG, CAD, Bürgerbeteiligung	teilweise
Sachverständigentätigkeit	SV-Recht, Spezielles Verwaltungsrecht, Verfassung von Gutachten, Sachverständigenhaftung, Amts-SV-Tätigkeit	kaum
Maßnahmenplanung	Planungsgrundlagen, Richtlinien und Normen, Planungsprozess, CAD, Bürgerbeteiligung, Behördenverfahren, Projektmanagement	teilweise
Maßnahmendurchführung	Bautechnik, Baumanagement, Baukalkulation, Personalwesen, Öffentliches Vergabewesen, Erhaltungsmanagement	kaum
Förderungsmanagement	Öffentliche Subventionsverwaltung und Haushaltsrecht, Förderungsrichtlinien, Förderungsabwicklung	nein
Staatliches Naturgefahrenmanagement	Verfassungs- und allgemeines Verwaltungsrecht, System der staatlichen Naturgefahrenverwaltung, New Public Management	nein
Schutzwald	Forstliches Ingenieurwesen, Forstrecht, Waldbau, Forstwesen, forstliche Planungen	teilweise
Einzugs-/Flussgebietsmanagement	Europäische Richtlinien: WR-RL, HW-RL, FFH-RL, Wasserrecht, Wasserwirtschaftliche Planungen, Ökol. Fließgewässerbewirt., Einzugsgebietsbewirtschaftung, Landnutzungsplanung	teilweise

Tab. 1: Anforderungen an die Absolventen der BOKU im Bereich "Schutz vor Naturgefahren" heute.

## HUBERT HASENAUER

# Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkte des Departments für Wald- und Bodenwissenschaften

### Zusammenfassung:

Das Department Wald- und Bodenwissenschaften (WABO) ist eines von 14 Departments an der Universität für Bodenkultur. Es besteht derzeit aus den Instituten: (1) Bodenforschung, (2) Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, (3) Forsttechnik, (4) Waldbau, (5) Waldökologie, und (6) für Waldwachstumsforschung. Daneben gehören zum WABO der Lehrforst und ein zentrales Labor sowie der Versuchsgarten Knödelhütte, der dem Institut für Waldbau zugeordnet ist. Gegenwärtig beschäftigt das Department 7 Universitätsprofessoren, 12 Außerordentliche Professoren, 6 Assistenz-Professoren, 10 weitere Assistenten neuen Dienstrechts, 26 Techniker, Sekretariatskräfte, Arbeiter, sowie ca. 50 Doktoranden, Stipendiaten und Wissenschaftler im Drittmittelbereich

Die Forschungsschwerpunkte umfassen die Bereiche

- (i) Bergwaldökosysteme, Vulnerabilität, Anpassung an den Klimawandel
- (ii) Nachhaltige Produktionssysteme zur Erzeugung von Bioenergie
- (iii) Wertschöpfungskette Holz
- (iv) Nachhaltige Nutzung der Bodenressourcen

Wir bekennen uns zu einer ganzheitlichen Ausbildung basierend auf den drei BOKU-Säulen Naturwissenschaften, Technik und Sozioökonomik. Professoren des Departments lehren in den Bachelorprogrammen (i) Forstwirtschaft, (ii) Umwelt- und Bioressourcenmanagement, (iii) Agrarwissenschaften sowie in den Masterstudienprogrammen (i) Forstwissenschaften, (ii) Mountain Forestry, (iii) Phytomedizin, (iv) Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur und (v) Umwelt- und Bioressourcenmanagement

Wir sind Mitglied des Erasmus-Mundus-Programmes European Master of Forestry, nehmen an der sogenannten Euroleague for Life Sciences

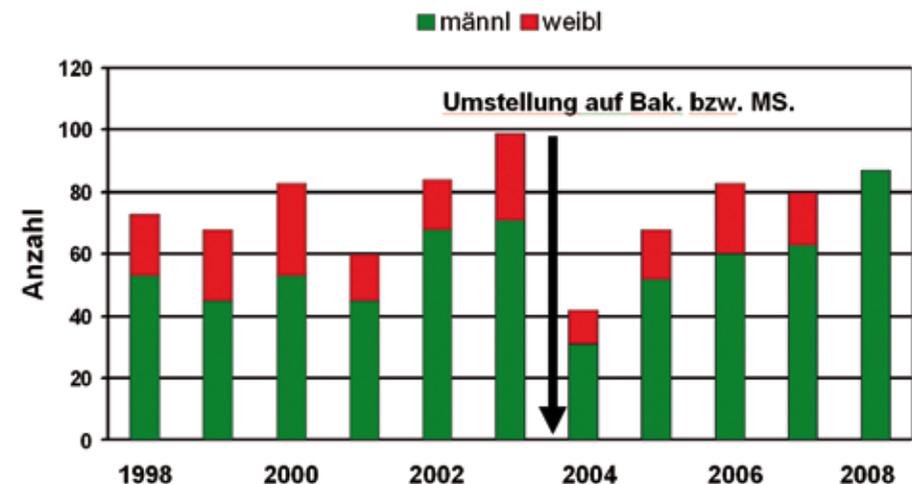
(ELLS) teil und haben den Master of Environmental Management and Engineering (EME-PAU) für die geplante Pakistan Austrian University in La-hoor, Pakistan, aufgebaut.

Sehr erfreulich ist, dass die Studenten im klassischen Forstwirtschaftsbereich wieder zunehmen (siehe Abbildung). Dieses Studium ist unter anderem aufgrund der derzeit hervorragenden Jobaussichten wieder sehr populär und interessant geworden. Eine Studie des Forstallumniverbandes bestätigt, dass in den nächsten Jahren überdurchschnittlich viele unserer älteren Kollegen in Pension gehen und damit auch ein überdurchschnittlicher Bedarf an jungen Forstleuten bereits jetzt besteht und weiter zu erwarten ist.

### Adresse des Verfassers:

Univ.Prof. Dr. Hubert Hasenauer  
Institut für Waldbau, BOKU  
1180 Wien

## Erstsemestriges Forstwirtschaft



Tab. 1: Zahl der Inskribenten der Studienrichtung Forstwirtschaft im Vergleich.

## JOHANNES HÜBL

# Schutz vor Naturgefahren, Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkte am Department Bautechnik und Naturgefahren der Universität für Bodenkultur Wien

### Zusammenfassung:

Der Schwerpunkt des Masterstudienganges „Mountain Risk Engineering“ liegt im Bereich Naturgefahren. Vorlesungen zum Thema Naturgefahren werden in 10 weiteren Studiengängen angeboten. Die Forschungen konzentrieren sich auf die Abläufe von Naturgefahrenprozessen, waldbaulichen Schutzmaßnahmen und Risikomanagement.

## Organisation

Das Department Bautechnik und Naturgefahren wurde im Rahmen der Neuorganisation der Universität, bedingt durch das UG 2002, gegründet. Es umfasst die Institute Alpine Naturgefahren, Angewandte Geologie, Geotechnik, Ingenieurbiologie und Landschaftsbau sowie Konstruktiver Ingenieurbau. Der Zusammenschluss erfolgte freiwillig mit dem Ziel, Lehre und Forschung u.a. im Bereich Schutz vor Naturgefahren zu bündeln.

## Lehre

Der bis 1999 existierende Studienzweig Wildbach- und Lawinenverbauung wurde

bis 2003 durch Module innerhalb des Studiums Forstwirtschaft ersetzt. Dies führte zu einer drastischen Verringerung der Studierendenzahlen in diesem Fachbereich. Durch die Umstellung auf Bachelor- und Masterstudien konnte die Ausbildung im Naturgefahrenbereich durch einen eigenen Master wieder gestärkt werden. Voraussetzung seitens der Universitätsleitung war jedoch die Abhaltung dieses Programms in englischer Sprache (Mountain Risk Engineering „MRE“). Der dadurch erfolgten internationalen Öffnung stehen sicher sprachliche Hemmnisse österreichischer Studierender gegenüber. Derzeit haben 46 Studierende den Master MRE inskribiert.

Zusätzlich werden in rund 10 Bachelor- und Masterprogrammen naturgefahren-relevante Fächer angeboten.

## Forschung

Forschungsschwerpunkte sind derzeit Prozessverständnis, forstlich-technische Schutzmaßnahmen und Risikomanagement. Weitere Forschungsthemen sind in allen Gebieten des Integralen Risikomanagements angesiedelt.

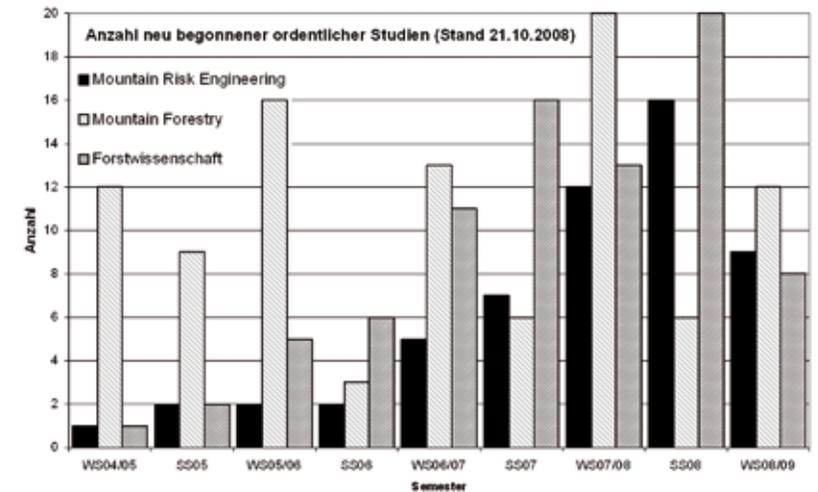


Abb. 1: Anzahl neu begonnener ordentlicher Studien

## Ausblick

Durch die Einrichtung einer Arbeitsgruppe der Fachstudienkommission wird das Masterprogramm MRE ständig auf die Erfordernisse des Marktes abgestimmt. Seitens des BMLFUW ist zu prüfen, ob die Staatsprüfung weiterhin Voraussetzung für Leitungspositionen darstellt.

## Adresse des Verfassers:

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johannes Hübl  
 Institut für Alpine Naturgefahren, Department  
 Bautechnik und Naturgefahren  
 Universität für Bodenkultur Wien  
 Peter Jordan Strasse 82, 1190 Wien  
 E-Mail: (johannes.huebl@boku.ac.at)

**KARL KLEEMAYR**

## Schutz vor Naturgefahren am BFW: Forschungs- und Ausbildungsschwerpunkte

### Zusammenfassung:

Das Institut für Naturgefahren und Alpine Waldgrenzregionen – BFW hat im Bereich Lawinen folgende Forschungsschwerpunkte: Lawinendynamik, Lawinenprognose, Optimierung von Lawinenmodellen und Lawinenschutztechnik. Im Bereich Wasser und Erosion wird verstärkt geforscht zu: Abflussentstehung, Interflow, Abflussmodellierung und Erosion. Der Fachbereich Vegetation/Schutzwald arbeitet zu Kohlenstoff- und Wasserbilanzen an der Waldgrenze und zur Optimierung der schutzfunktionalen Beurteilung von Bergwäldern.

Mit der Universität Innsbruck wurde ein postgradualer Universitätslehrgang „Schutztechnik im Alpenen Raum“ realisiert. Der ULG wird im WS 2009 erstmals stattfinden.

### Naturgefahren am BFW

Das Institut für Naturgefahren und Alpine Waldgrenzregionen des BFW hat in den letzten Jahren die Forschungsschwerpunkte den aktuellen Fragestellungen und Rahmenbedingungen angepasst. So wurden etwa die Forschungen zu Muren (Forschungsschwerpunkt an der BOKU) und tiefgründigen Rutschungen (Forschungsschwerpunkt u.a. der Akademie der Wissenschaften) eingestellt. Intensiviert wurden die Forschungen zur Lawinendynamik (Beschreibung der Massenbilanz von Lawinen) und Lawinenprognose (Modellierung der Schneedecke), zur Entstehung des Abflusses in Alpenen Einzugsgebieten und dessen Modellierung und zu Erosionsprozessen in Wildbacheinzugsgebieten. Nicht zuletzt durch die intensiver werdenden Diskussionen über die möglichen Auswirkungen des Klimawandels wurden die pflanzenphysiologischen Untersuchungen an der Waldgrenze und schutzfunktionalen Analysen des Waldes deutlich intensiviert.

Alle prozessorientierten Arbeiten werden verstärkt mit Blick auf praxisorientierte Anwendungen und hinsichtlich des Beitrags zum Gefahren- und Risikomanagement ausgeführt.

Abb. 1 gibt einen Überblick über die derzeitigen und künftigen Forschungsschwerpunkte.

Schnee Lawinen	Abfluss Wildbach	Erosion Rutschung	Vegetation Schutzwald
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring</li> <li>• Modellierung der Schneedecke</li> <li>• Massenbilanz von Lawinen</li> <li>• Optimierung der Lawinenmodelle</li> <li>• Lawinenprognose</li> <li>• Optim. Schutztechnik</li> <li>• Risikomanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring</li> <li>• Gebietswasserhaushalt</li> <li>• Interflow</li> <li>• Hydrologische Modellierung</li> <li>• Optimierung Inputparameter</li> <li>• Risikomanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring</li> <li>• Abfluss- und Abtragsmessungen</li> <li>• Schadensdokumentation und Analyse</li> <li>• Abfluss- und Rutschungssimulation</li> <li>• Frühwarnsysteme</li> <li>• Risikomanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring</li> <li>• Pflanzenphysiologie</li> <li>• Wasser-Kohlenstoffbilanz an der Waldgrenze</li> <li>• Analyse Wald-Lawine</li> <li>• Analyse Wald-Wasser-Abtragsprozess</li> <li>• Risikomanagement</li> </ul>

Abb. 1: Übersicht der BFW – Forschungsschwerpunkte im Bereich Naturgefahren

Um den vielfältigen Anforderungen eines modernen Forschungsbetriebes gerecht zu werden, hat das Institut für Naturgefahren auch die Arbeitskooperationen mit fachverwandten europäischen Forschungs- und Universitätsinstituten (D, CH, NO, F, I, RUS) deutlich erhöht.

Mit der Universität Innsbruck, Fakultät für Bautechnik, konnte darüber hinaus der postgraduale Universitätslehrgang (ULG) „Schutztechnik im Alpenen Raum“ realisiert werden. Der ULG wird im WS 2009 erstmals stattfinden und wendet sich an fertige Ingenieure der Fachrichtungen Bauingenieurwesen, Kulturtechnik und Umwelttechnik. Die Absolventen dieser Studienrichtungen haben zwar ein profundes technisches Wissen, können dieses Wissen aber nur teilweise im Bereich „Schutz vor Naturgefahren“ umsetzen, da sowohl das notwendige Prozessverständnis als auch die notwendigen Informationen über die speziellen Rahmenbedingungen im Alpenen Raum fehlen. Der ULG gliedert sich in vier Teile: Prozesse, Projektrealisierung, Schutzmaßnahmen und Musterprojekt (Übungen). Als Vortragende konnten nationale und internationale Experten gewonnen werden. Tab. 1 zeigt einen Überblick über das Pflichtmodul „Prozesse“.

a.	<b>VU Wildbachkunde und Hydraulik steiler Gewässer</b> Wildbachprozesse (Hochwasser, Geschiebetransport, Muren), Bodenphysik und Geohydrologie, Geomorphologie und Einzugsgebietseigenschaften, Einführung in Meteorologie und Hydrologie, numerische und statistische Hochwassermodellierung, Murenrheologie, Massentransportmodellierung, Phänomenologie und Dokumentationsstandards
b.	<b>VU Massenbewegungen</b> Geomechanische Grundlagen, tiefgründige und flachgründige Rutschungen, Steinschlag, Bruchmechanismen, Oberflächenerosion, numerische und statistische Modelle, Indikatoren, Phänomenologie und Dokumentationsstandards
c.	<b>VU Schnee- und Lawinenkunde</b> Eismechanik, Schneemechanik, Rheologische Modelle, Bruchmechanismen, Fluiddynamik, Numerische Modelle für Fließ- und StaUBLawinen, statistische Modelle, Phänomenologie und Dokumentationsstandards
d.	<b>VU Grundlagen der physikalischen Modellierung von Naturgefahrenprozessen</b> Mathematische Grundlagen, Dimensionsanalyse, Massenschwerpunktmodelle, Methoden der verteilten Simulation in der Mechanik und Dynamik, Implementierung in fortgeschrittenen Standardsoftwareprogrammen
e.	<b>VU Probabilistik und Risikomanagement</b> Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie, statistische Methoden in der Datenanalyse, Frequenzanalyse und Extremwertanalyse, Sensitivitätsanalyse, Monte-Carlo Simulation, Risikomanagementkonzepte, Gefahrenzonenplanung, Ermittlung von Gefährdungsszenarien, Vulnerabilitätsuntersuchungen, Kosten-Nutzen Analysen

Tab. 1: Übersicht über das Pflichtmodul „Prozesse“ des Universitätslehrganges <Schutztechnik im Alpenen Raum>

**Adresse des Verfassers:**

Dipl.-Ing. Dr. Karl Kleemayr  
 Institut für Naturgefahren und Alpine  
 Grenzwaldregionen – BFW  
 Rennweg 1  
 6020 Innsbruck



ANDREAS REITERER

## Flächenwirtschaftliche Projekte bei der Wildbach- und Lawinenverbauung

Zusammenfassung:

Der Wald stellt zweifellos einen wichtigen Schutz vor Lawinen dar. Allerdings ist diese Schutzwirkung stark vom Waldzustand abhängig. Flächenwirtschaftliche Projekte werden durchgeführt, um schutzwirksame Wälder zu begründen oder den Waldzustand in Hinblick auf die Schutzwirkung zu verbessern und zu optimieren. Wenn neben den technischen Hilfsmaßnahmen auch gezielt jagdliche Aktivitäten gesetzt werden, dann können mittels einfachem, gutachtlichem Controlling beachtliche Erfolge nachgewiesen werden.

### Einleitung

Der Wald ist bei geeigneter Bestandsstruktur und Textur in der Lage die Wahrscheinlichkeit von Naturereignissen zu reduzieren.

Besonders nachvollziehbar ist dies in Bezug auf Lawinen, wo eine entsprechende Bestockung zweifellos die schutzwirksamste Vegetationsform darstellt. Hier kann durchaus ein Wirkungsvergleich mit technischen Schutzmaßnahmen wie z.B. Schneebrücken mit einem Kostenerfordernis von ca. 300.000,00 Euro/ha gezogen werden. Allerdings wirkt der Wald zusätzlich auf Klima und Bodenwasserhaushalt. Angesichts dieser Tatsache hat das BMLFUW Geld aus dem Katastrophenfonds zur Förderung von Flächenwirtschaftlichen Maßnahmen bereitgestellt. Diese umfassen sowohl forstliche als auch technische Maßnahmen. Daneben sind Hilfsmaßnahmen wie z.B. Aufschließungen und landwirtschaftliche Nutzungsregulierungen Inhalt dieser Projekte.

### Ausarbeitung und Durchführung Flächenwirtschaftlicher Projekte in Vorarlberg

Von Beginn an wurden im Bundesland Vorarlberg diese Projekte gemeinsam vom Bezirksforstdienst und von der Gebietsbauleitung der Wildbach- und Lawinenverbauung ausgearbeitet. Auch die Durchführung der Projekte erfolgt gemeinsam von diesen Dienststellen. Die fachliche und finanzi-

elle Aufsicht wird vom Landesforstdienst und von der Sektion der WLW gemeinsam wahrgenommen. Die Vorteile aus der Synergie von Waldwissen und Flächenpräsenz durch den Forstdienst und von technischen Kenntnissen und der Möglichkeit der Eigenregiearbeit durch die WLW übertreffen die Nachteile aus dem verstärkten Koordinationsbedarf zwischen diesen beiden Dienststellen bei weitem. Die finanzielle Abwicklung aller Maßnahmen in flächenwirtschaftlichen Projekten erfolgt durch die Sektion Vorarlberg der WLW, sowohl Kostenrechnung als auch Finanzbuchhaltung sind für alle FWP transparent und jeder Zeit aktuell. Als Beispiel wurde im Vortrag näher auf das FWP „Schnenn-Bazig“ eingegangen.

### Controlling

Es wurde versucht, das schwierige Problem des Erfolgswachstums durch ein sehr einfaches Modell in Angriff zu nehmen. Dabei wurde im Projektgebiet Schnenn-Bazig der Waldzustand zu Projektbeginn im Jahre 1992 flächig und gutachtlich charakterisiert und in „Ampelfarben“ dargestellt. Eine überblicksmäßige Beschreibung der „Ampelfarben“ ist in Tab. 1 dargestellt:

	grün	gelb	rot
<b>Definition</b>	erforderliche Schutzwirkung ist nachhaltig gegeben	alle Voraussetzungen für die Erreichung der nachhaltigen Schutzwirkung sind vorhanden, Erreichung der Schutzwirkung im Projektzeitraum zu erwarten	nachhaltige Schutzwirkung ist nicht gegeben
<b>Bestand</b>	gut durchmischter Waldbestand mit allen erforderlichen Baumarten, stabile Struktur und funktionierende Verjüngungsdynamik	alle erforderlichen Baumarten in ausreichendem Ausmaß vorhanden, keine bestandesgefährdenden Schäden	überalterter oder fehlender Waldbestand mit unzureichender Verjüngung und/oder bestandesgefährdenden Schäden

Tab. 1: Beurteilungskriterien der Schutzwirkung des Waldes

Eine Gegenüberstellung der gutachtlichen Zustandserfassung 1992 und 2008 zeigt folgendes Bild:



Abb. 1: Schutzwirksamkeit des Waldes im Projektgebiet Schnenn-Bazig zu Projektbeginn 1992



Abb. 2: Schutzwirksamkeit des Waldes im Projektgebiet Schnenn-Bazig Aktueller Zustand 2008

Ein Flächenvergleich bringt folgendes Ergebnis:

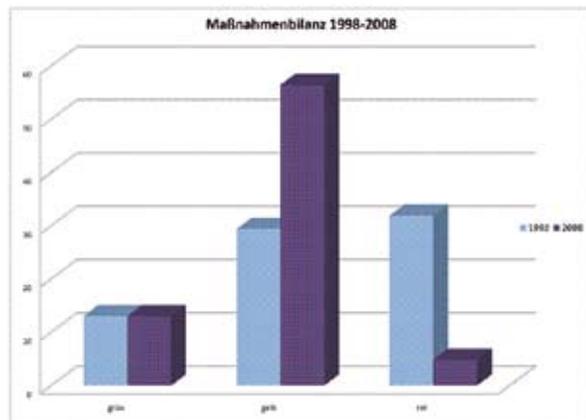


Abb. 3: FWP Schnenn-Bazig – Maßnahmenbilanz basierend auf Schutzwirksamkeit 1992-2008

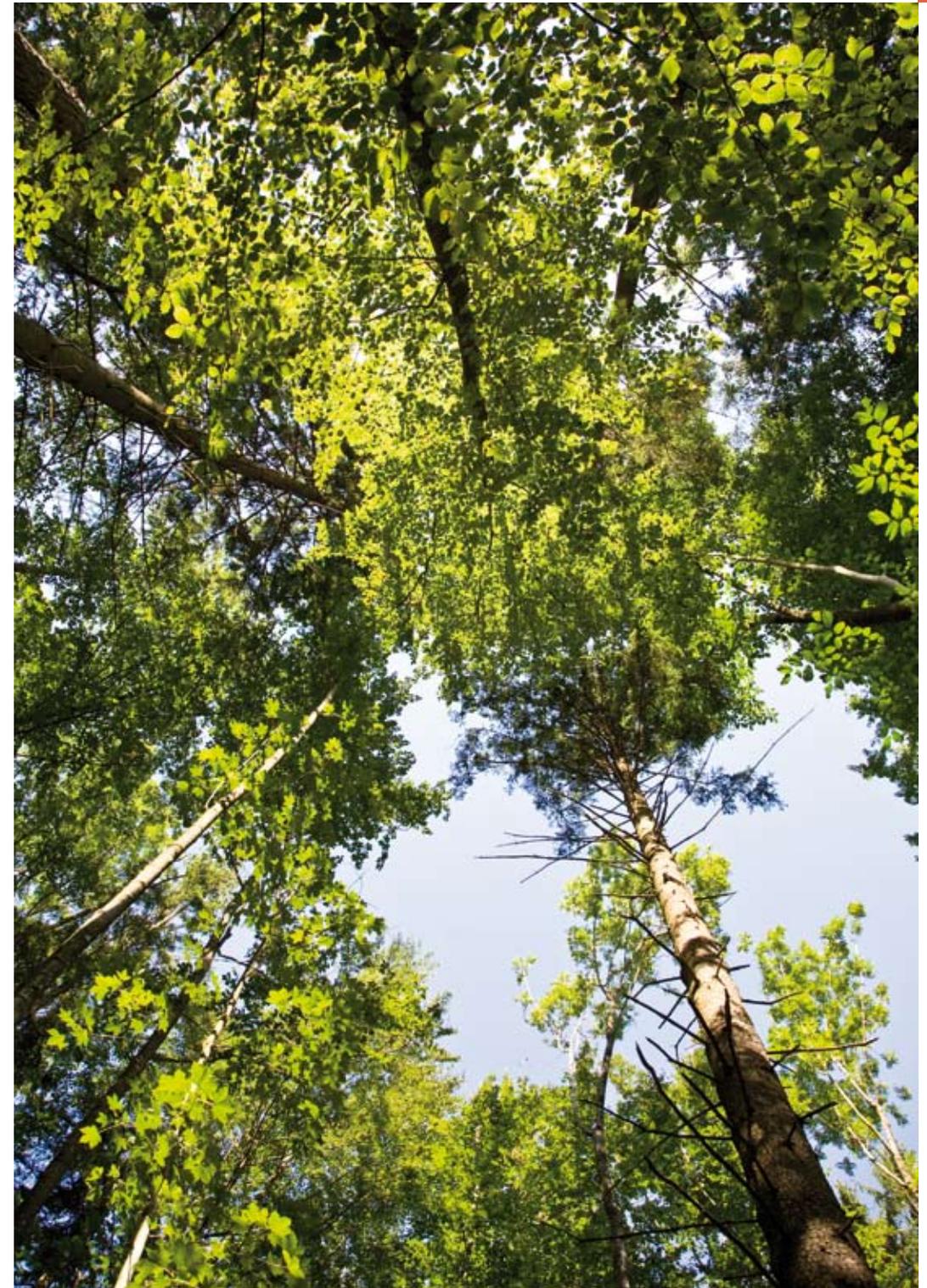
Daraus ist folgendes ableitbar: Nach mehr als 15 Jahren – das ist die halbe Projektlaufzeit – ist es gelungen, einen relativ großen Flächenanteil in Richtung nachhaltige Schutzwirksamkeit zu bringen. Allerdings kann das eigentliche Projektziel, nämlich die optimale Schutzfunktionserfüllung nirgendwo als erreicht eingestuft werden.

## Jagd

Ein wichtiger, wenn nicht überhaupt der wichtigste Faktor bei der nachhaltigen Objektschutzwaldbewirtschaftung ist ein angepasster Wildstand, wobei angepasst sicherlich generell niedrig heißt. Obwohl das Vorarlberger Jagdgesetz mit einer strengen Definition von waldverwüstenden Wildschäden und der Möglichkeit von Schalenwildfreihaltungen und behördlichen Zwangsabschüssen zweifellos vorbildlich ist, muss das ständige Bemühen auf diesem Gebiet als unerlässlich betrachtet werden. Auch hier bewährt sich die am Beginn erläuterte enge Zusammenarbeit von Forstdienst und Wildbach- und Lawinerverbauung immer wieder.

## Adresse des Verfassers:

DI Andreas Reiterer  
Wildbach- und Lawinerverbauung  
Sektion Vorarlberg  
Rheinstraße 32/5  
6900 Bregenz  
e-mail: andreas.reiterer@die-wildbach.at



## Inserentenverzeichnis

Firma	Inserat Seite
Alzner-Meva	6
Geobruigg Austria GmbH	8
Geolith Consult	83
Gunz ZT GmbH	53
Heli Austria	4
i.n.n. naturraum-management	39
Klenkhart ZT	23
Krismer Handels-GmbH	39

Lieco	71
Mair Wilfried GmbH	83
Moser-Jaritz	71
Perzplan ZT	87
Sommer-Messtechnik	87
Tiwald ZT	97
Trumer Schutzbauten GmbH	53
Wucher	U4



## Der Profi in Sachen Lawinenverbauung

Helicoptereinsätze erfordern höchste  
Präzision und Professionalität ...  
Besonders wenn es um Lawinen-  
verbauungen geht.

**Wucher Helicopter GmbH & Co KG,**  
Hans-Wucher-Platz 1, A-6713 Ludesch  
Tel. (0 55 50) 38 80-0, Fax -306  
helicopter@wucher.at, www.wucher.at

 **WUCHER**  
**Helicopter**  
...für ein schönes Leben