25
08

> Ereignisanalyse Hochwasser 2005

Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

WSL

25
08

> Ereignisanalyse Hochwasser 2005

Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen

Editoren: Gian Reto Bezzola, Christoph Hegg

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern
und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf
2008

Impressum

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf
Die WSL ist ein Institut des ETH-Bereichs.

Projektleitung
Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU, Abteilung Gefahrenprävention
Dr. Christoph Hegg, WSL, Direktion

Redaktion
Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU, Abteilung Gefahrenprävention
Dr. Christoph Hegg, WSL, Direktion
Anja Koschni, WSL, Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Wildbäche

Review
em. Prof. Dr. Daniel Vischer (Vorsitz)
Dr. Marco Baumann, Amt für Umwelt Kt. TG
Josef Eberli,Tiefbauamt Kt. NW
Josef Hess, Amt für Wald und Raumentwicklung Kt. OW
Charly Wuilloud, Dienststelle für Wald und Landschaft Kt. VS

Autoren
Aller Risk Management, 8057 Zürich: Dörte Aller
beffa tognacca gmbh, Wasserwirtschaft und Flussbau, 6431 Schwyz: Dr. Christian Tognacca
Bundesamt für Bevölkerungsschutz, 3003 Bern: Frank Fässler
Bundesamt für Umwelt, 3003 Bern: Dr. Gian Reto Bezzola, Dr. Ronald Kozel, Roberto Loat, Dr. Hugo Raetzo, Dr. Marc Schürch, Michael Sinreich
Büro für Altlasten, Boden und Umwelt GmbH, 8047 Zürich: Dr. Jiri Presler
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf: Albert Böll, Katrin Burri, Nancy Canuto, Dr. Frank Graf, Dr. Christoph Hegg, Dr. Daniel Köchli, Anja Koschni, Dr. Brian McArdell, Prof. Dr. Dieter Rickenmann, Christian Rickli, Dr. Petra Schmocker-Fackel, Flurin Suter, Dr. Peter Waldner
Egli Engineering, 9014 St. Gallen: Dr.Thomas Egli, Dr. Pierre Vanomsen
Flussbau AG SAH, 3007 Bern: Sylvia Durrer, Dr. Lukas Hunzinger, Sandra Krähenbühl
Führungsstab der Armee, 3003 Bern: Toni Honegger
Geographisches Institut der Universität Bern, 3012 Bern: Simone Aeberhard, Monika Fässler, Helen Gosteli, Prof. Dr. Hans Kienholz, Franziska Schmid, Jan Schwanbeck, Dr. Daniel Viviroli, Prof. Dr. Rolf Weingartner, Bettina Witmer
ILF - Consulting Engineers, A-6063 Rum/Innsbruck: Dr. Georg Premstaller
Inst. für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, A-1190 Wien: Michael Chiari, Christian Scheidl
Inst. für Publizistikwissenschaft und Medienforschung, Universität Zürich, 8050 Zürich: Prof. Dr. Heinz Bonfadelli, Helena Zemp
Inst. für Umweltentscheidungen, Eidg. Technische Hochschule Zürich, 8092 Zürich: Prof. Dr. Michael Siegrist, Nathali Stampfli
Inst. für Umweltingenieurwissenschaften, Eidg. Technische Hochschule Zürich, 8093 Zürich: Dr. Felix Naef, Michael Margreth, Dr. Peter Kienzler
Interkantonaler Rückversicherungsverband IRV, 3001 Bern: Peter W. Schneider
Laboratoire de Constructions Hydraulique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne: Dr. Jean-Louis Boillat, Burkhard Rosier, Prof. Dr. Anton Schleiss, Javier Neves da Silva
Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik, Ruhr-Universität Bochum, D-44801 Bochum: Prof. Dr. Andreas Schuhmann
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, D-80333 München: Prof. Dr. Peter Rutschmann
MeteoSchweiz, 8044 Zürich: PD Dr. Christoph Frei, Dr. Sophie Fukutome, Dr. Urs Germann, Dr. Mark A. Liniger
Niederer + Pozzi, 8730 Uznach: Roger Kolb
Petrascheck Wasserwirtschaftsberatung, 5408 Ennetbaden: Dr. Armin Petrascheck
Scherrer AG Hydrologie und Hochwasserschutz, 4153 Reinach BL: Dr. Simon Scherrer
Service conseil Zones alluviales, 1400 Yverdon-les Bains: Anne-Claude Cosandey, Dr. Christian Roulier
Tiefbauamt Kt. NW, 6371 Stans: Josef L. A. Eberli
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, 8092 Zürich: Thomas Berchtold, Dr. Roland Fäh, Daniela Lange, Georg Möller, Dr. Markus Promny, Bert Putzar, Lukas Schmocker
Wissensmanagement Umwelt, 8003 Zürich: Dr. Patricia Fry

Zitiervorschlag
Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S.

Gestaltung
Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelfoto
KEYSTONE/Eddy Risch

Bezug
BAFU
Verlagsauslieferung
CH-3003 Bern
Fax +41 (0) 31 324 02 16
docu@bafu.admin.ch
www.umwelt-schweiz.ch/uw-0825-d

Bestellnummer/Preis:
UW-0825-D / CHF 35.– (inkl. MWSt)

© BAFU / WSL 2008

> Inhalt

Abstracts **3**
Vorwort **5**
Zusammenfassung **7**
Einleitung **13**

I. Prozesse

1 Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005 **15**
1.1 Einleitung 15
1.2 Niederschlagsanalysen für das Hochwasser 2005 16
1.3 Unsicherheiten in den Niederschlagsanalysen 18
1.4 Vergleich der Analysen für den Starkniederschlag 2005 24
1.5 Analyse-Unsicherheit und Extremwertstatistik 29
1.6 Folgerungen für den Anwender und Schlussbemerkungen 31

2 Analyse hydrologischer Extremereignisse **33**
2.1 Einleitung 33
2.2 Die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre 34
2.3 Modellgestützte Sensitivitätsanalysen 48
2.4 Volumenstatistik der Alpenrandseen 58
2.5 Grundwasser 71
2.6 Schadensentwicklung im Kanton Aargau 82
2.7 Erkenntnisse 93

3 Hanginstabilitäten **97**
3.1 Einleitung 97
3.2 Disposition 97
3.3 Niederschlags-Schwellenwerte 104
3.4 Translation und Ablagerung 110
3.5 Erkenntnisse 114

4 Gerinneprozesse **117**
4.1 Einleitung 117
4.2 Sohlenveränderungen und Geschiebefrachten 118
4.3 Seitenerosion 125
4.4 Schwemmholzbilanzen 136
4.5 Effet des crues dans un choix de zones alluviales 143
4.6 Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen und Gebirgsflüssen 152
4.7 Erkenntnisse 163

5 Ausgewählte Phänomene im Zusammenhang mit Bauwerken **167**
5.1 Einleitung 167
5.2 Interaktion von Schwemmholz mit Hindernissen 168
5.3 Wellenbildung im Traversensystem – Fallbeispiel Kleine Schliere 181
5.4 Überströmen eines Dammes – Fallbeispiel Ausgleichsbecken Obermatt 190
5.5 Erkenntnisse 195

II. Gefahrenbeurteilung

6 Fachtechnische Analyse der Gefahrengrundlagen **197**
6.1 Einleitung 197
6.2 Vorgehen 198
6.3 Gefahrenkarten im Rückblick auf das Ereignis 2005 199
6.4 Gefahrenbeurteilungen – Fachliche Fragen 209
6.5 Zum Verhältnis Gefahrenbeurteilung – Gefahrenkarte 213
6.6 Problematik einer Gefahrenbeurteilung im Auftragsverhältnis 214
6.7 Handlungsbedarf 216
6.8 Erkenntnisse 218

III. Vorbeugung

7 Massnahmen im Entstehungs- und Transitgebiet **221**
7.1 Einleitung 221
7.2 Hang- und Böschungsstabilisierung 222
7.3 Geschieberückhalt 234
7.4 Schwemmholzrückhalt 241
7.5 Blockrampen 243
7.6 Aufweitungen 248

7.7 Entlastungsmassnahmen – Fallbeispiel Engelberger Aa 259
7.8 Erkenntnisse 274

8 Massnahmen im Wirkungsgebiet 279
8.1 Einleitung 279
8.2 Raumplanerische Umsetzung der Gefahrenkarte 280
8.3 Verletzlichkeit, Objektschutz und Nutzung 294
8.4 Erkenntnisse 303

IV. Bewältigung

9 Intervention und Instandstellung 305
9.1 Einleitung 305
9.2 Führung Bevölkerungsschutz 308
9.3 Feuerwehr 315
9.4 Zivilschutz 319
9.5 Armee 323
9.6 Fachdienste Naturgefahren 332
9.7 Weitere Fachstellen 337
9.8 Konzeptionelle Überlegungen zu Rolle und Aufgaben der Fachdienste 337
9.9 Erkenntnisse 343

10 Hochwasser im Fokus der Medien und in der Wahrnehmung der Bevölkerung 347
10.1 Einleitung 347
10.2 Hochwasserereignisse im Spiegel der Presse 348
10.3 Erinnerungswert von Hochwasserereignissen 362
10.4 Erkenntnisse 369

11 Umsetzung der Gefahrenkarte aus der Sicht verschiedener Akteursgruppen 371
11.1 Einleitung und Fragestellungen 371
11.2 Forschungsansatz, Methodik und Daten 372
11.3 Normen und Zuständigkeiten 373
11.4 Akteure und ihr Wissen bezüglich Naturgefahren 376
11.5 Situationen für den Austausch von Wissen 381
11.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 383

V. Fazit

12 Fazit 387
12.1 Einleitung 387
12.2 Konsequenzen aus den aufgetretenen Prozessen 388
12.3 Umgang mit Unsicherheiten und Unschärfen 389
12.4 Neupositionierung der Gefahrenbeurteilung 390
12.5 Weiterentwicklung der vorbeugenden Massnahmen 392
12.6 Neue Chancen in der Bewältigung und Regeneration 395
12.7 Dynamisierung der Gefahrengrundlagen 396
12.8 Konsequenzen für die Darstellung des integralen Risikomanagements 397
12.9 Neue Wege in der Kommunikation 398
12.10 Massnahmen 399
12.11 Ausblick 401

Anhang 403
A1 Räumliche Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005. Interpretationshilfe zu den Datensätzen von MeteoSchweiz. 403
A2 Längenprofile, Sohlendifferenzen, kumulierte Volumendifferenzen und Geschiebefrachten der untersuchten Flussstrecken 411

> Abstracts

The in-depth analyses of the flood event from August 2005 demonstrated that the natural hazards protection strategy pursued in Switzerland is basically successful. A rapid optimisation in natural hazards protection can be achieved by intervention, which thanks to improvements in forecasts can commence earlier. This should be planned and implemented accordingly. The existence of comprehensive basic hazard management principles and supporting material constitutes the necessary condition for successful management as well as for targeted prevention and preparation. These principles and the supporting material are to be made available, involved people should be trained, and potentially affected parties should be informed so that they are aware of their responsibilities are prepared to accept them.

Keywords:
natural hazard prevention strategy
intervention
comprehensive principles and supporting material

Die vertiefte Analyse des Hochwassers vom August 2005 hat gezeigt, dass sich die in der Schweiz eingeschlagene Strategie zum Schutz vor Naturgefahren grundsätzlich bewährt hat. Eine rasche Optimierung des Schutzes vor Naturgefahren verspricht vor allem die Intervention, die dank Vorhersagen früher einsetzen kann und deshalb entsprechend geplant und vorbereitet sein muss. Voraussetzung sowohl für eine erfolgreiche Bewältigung und eine zielgerichtete Vorbeugung bilden umfassende Gefahrengrundlagen. Diese sind bereitzustellen, die Beteiligten auszubilden und die potenziell Betroffenen so zu informieren, dass sie ihre Eigenverantwortung wahrnehmen können.

Stichwörter:
Strategie zum Schutz vor Naturgefahren
Intervention
Umfassende Grundlagen

L'analyse approfondie des crues d'août 2005 a montré que la stratégie définie en Suisse pour la protection contre les dangers naturels a, dans son ensemble, fait ses preuves. Une optimisation rapide de la protection contre les dangers naturels passe avant tout par les interventions d'urgence qui, grâce aux prévisions, peuvent être engagées plus tôt et doivent donc être planifiées et préparées de manière circonstanciée. Disposer d'une documentation complète sur les dangers constitue une condition pour garantir une maîtrise de la situation et une prévention ciblée. Cette documentation doit être préparée, les intéressés formés et les personnes potentiellement touchées informées afin que chacun puisse assumer ses propres responsabilités.

Mots-clés:
Stratégie de protection contre les dangers naturels
Intervention d'urgence
Documentation complète

L'analisi approfondita delle piene dell'agosto 2005 ha confermato la validità di fondo della strategia adottata in Svizzera contro i pericoli naturali. Una rapida ottimizzazione della protezione contro i pericoli naturali avviene in primo luogo attuando interventi in caso d'emergenza. Le previsioni permettono di anticipare tali interventi, che richiedono comunque una pianificazione e una preparazione adeguate. Una documentazione integrale di base sullo stato dei pericoli è un requisito indispensabile per gestire con efficacia una situazione d'emergenza e per attuare interventi di prevenzione mirati. È pertanto necessario elaborare detta documentazione, formare le persone interessate e informare le persone potenzialmente coinvolte affinché possano assumersi le loro responsabilità.

Parole chiave:
strategia contro i pericoli naturali, intervento in caso di emergenza
documentazione integrale

> Vorwort

In den vergangenen drei Jahren haben 94 Autorinnen und Autoren von 29 Institutionen die Ursachen des Hochwassers vom August 2005 analysiert. Sie haben überprüft, wie sich die Massnahmen zur Vorbeugung und Bewältigung solcher Ereignisse bewährt haben und wo Optimierungspotenzial besteht. Ihre Erkenntnisse und Folgerungen sind in den nun vorliegenden zwei Bänden der Ereignisanalyse dargestellt und dokumentiert. Diese beiden Bände richten sich vorwiegend an Fachleute, welche sich vertieft mit dem Umgang mit Naturgefahren befassen.

Das Thema Schutz vor Naturgefahren geht alle an und ist von hoher politischer Bedeutung. Bei allen Massnahmen, die von staatlichen Institutionen zu treffen sind, entscheidet letztlich die Politik mit dem Umfang der bereitgestellten Ressourcen darüber, mit welchem Tempo die vorgeschlagenen Massnahmen realisiert werden können. Deshalb fasst ein gleichzeitig erscheinender Synthesebericht die wichtigsten Erkenntnisse und Konsequenzen für ein breiteres Publikum zusammen.

Viele Massnahmen liegen aber auch in der Verantwortung jedes einzelnen potenziell Betroffenen und können selbständig ohne Hilfe von Politik und Verwaltung realisiert werden. Es ist deshalb Aufgabe von uns allen, die Konsequenzen aus der nun vorliegenden Analyse zu ziehen und die nötigen Massnahmen zu treffen, damit beim nächsten vergleichbaren Ereignis die Schäden weniger gross sein werden als im August 2005.

Die Unterzeichnenden sind überzeugt, dass mit den nun vorliegenden Grundlagen wichtige Voraussetzungen geschaffen wurden, damit dieses Ziel in naher Zukunft auch erreicht werden kann. Sie danken all jenen, die an der Ereignisanalyse beteiligt waren für ihren Einsatz und zählen auf die Unterstützung aller bei den nächsten Schritten hin zu einem besseren Umgang mit Naturgefahren im Sinne eines integralen Risikomanagements.

Andreas Götz
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Prof. Dr. James Kirchner
Direktor
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

> Zusammenfassung

Beim Hochwasser vom August 2005 entstand mit rund 3 Mrd. CHF der grösste finanzielle Schaden, den ein einzelnes Naturereignis in den letzten Jahrzehnten in der Schweiz verursacht hatte. Das Hochwasser forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und führte auch in den Nachbarländern Deutschland und Österreich zu grossen Schäden.

Motivation und Ziele

Jedes derartige Ereignis erfordert eine Standortbestimmung. Es geht darum, den Stand des Wissens über die Ursachen und die Wirkung der getroffenen Massnahmen festzuhalten, um daraus die richtigen Lehren für den künftigen Umgang mit Naturgefahren zu ziehen. Deshalb wurde nach dem Hochwasser vom August 2005 eine umfassende Ereignisanalyse eingeleitet, welche – entsprechend dem Modell des integralen Risikomanagements – neben den Naturprozessen die Güte der Gefahrengrundlagen und ihre Umsetzung analysiert, das Verhalten und die Wirkung der Schutzmassnahmen untersucht sowie die Effizienz der Vorhersagen, Warnungen, Alarmierungen und des Krisenmanagements überprüft. In einem ersten Band wurden 2007 eine Übersicht über die abgelaufenen Prozesse und entstandenen Schäden, eine Analyse der Niederschlags- und Abflussvorhersagen und eine erste Einordnung des Ereignisses publiziert. Der vorliegende zweite Bericht baut auf diesen Ergebnissen auf. Zusammen mit dem ersten Band bildet er die Grundlage für den gleichzeitig veröffentlichten Synthesebericht, in welchem die Erkenntnisse, Konsequenzen und Empfehlungen für den zukünftigen Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz für ein breiteres Publikum zusammengefasst werden.

Umgang mit Unschärfen in der Niederschlagsbestimmung

Im Rahmen dieser Ereignisanalyse wurden Datensätze der Niederschlagsentwicklung für die Schweiz hergeleitet. Dabei wurden konventionelle Stationsmessungen und Niederschlagsradarmessungen benutzt. Menge und zeitliche Verteilung des gefallenen Niederschlages lassen sich aber auch mit modernen Analyseverfahren nur mit begrenzter Genauigkeit bestimmen (eingeschränkte Dichte des Stationsnetzes, messtechnische Limite des Radars). Eine Unsicherheitsanalyse hat die mit der Niederschlagsbestimmung verbundenen Unschärfen sichtbar gemacht und quantifiziert. Die Unschärfen sind vor allem bei einer kleinräumigen Betrachtung sehr gross und entsprechend zu berücksichtigen. Über grössere Gebiete gleichen sich die Unschärfen zunehmend aus. Ab Gebietsgrössen von rund 150 km² im Mittelland bzw. 250 km² im Alpenraum stellen die Datensätze eine neue Grundlage für die Abschätzung von extremen Gebietsniederschlägen dar.

Bedeutung von Prozesswissen für hydrologische Analysen

An der Abflussbildung sind immer unterschiedliche Prozesse beteiligt. Entscheidende Faktoren sind neben dem Niederschlagsverlauf die Eigenschaften des Bodens bzw. des geologischen Untergrunds. Besondere Beachtung verdienen dabei Einzugsgebiete, in welchen Schwellenprozesse auftreten können. Als solche werden Prozesse bezeichnet, die beim Erreichen gewisser Bedingungen auftreten, wie beispielsweise die überproportionale Zunahme des Abflusses als Folge zunehmender Wassersättigung des Untergrunds bei hohen Niederschlagsmengen oder das Überlaufen eines Karstspeichers.

Problematisch sind dabei vor allem kleinere Einzugsgebiete, in welchen sich unterschiedliche Schwellenprozesse nicht durch gegenseitige Überlagerung ausgleichen. Derartige Effekte lassen sich mit statistischen Methoden nur erfassen, wenn sie in den Beobachtungen enthalten sind. Ansonsten müssen sie durch entsprechend umfassende hydrologische Untersuchungen ermittelt werden.

Möglichkeiten und Grenzen statistischer Analysen

In grösseren Einzugsgebieten gleichen sich die Auswirkungen unterschiedlicher Schwellenprozesse aus. Entsprechend bekommt die statistische Analyse mehr Gewicht. Jede statistische Einordnung von Messreihen ist mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten sind umso kleiner, je länger die analysierten Messreihen im Vergleich zur Häufigkeit des zu beurteilenden Ereignisses sind. Für lokal sehr seltene Ereignisse, wie sie auch beim Hochwasser vom August 2005 verschiedentlich aufgetreten sind, sind auch Messreihen von 100 und mehr Jahren eher kurz. Durch den Einbezug von historischen Daten können die daraus resultierenden Unsicherheiten eingegrenzt, aber nicht völlig vermieden werden.

Neue hydrologische Grundlagen

Die Auswertung historischer Daten führte zur Erkenntnis, dass vielerorts ähnliche Ereignisse wie im August 2005 bereits früher aufgetreten sind. Im Rahmen der Ereignisanalyse wurde zudem erstmals eine saisonal differenzierte Statistik für verschiedene Schweizer Einzugsgebiete, eine modellbasierte Sensitivitätsanalyse für das Einzugsgebiet des Thunersees sowie eine Statistik über die Zuflüsse zu den Seen durchgeführt. Letztere ist eine neue Grundlage für die Entwicklung von Strategien zur Bewirtschaftung der regulierten Seen. Weiter wurde gezeigt, dass die Seezuflüsse im August 2005 selten, aber nicht aussergewöhnlich waren.

Entstehung von Hochwasserschäden

Im Mittelland sind generell Schäden durch Wasser dominant und Schäden durch Sedimenttransport sowie Erosion eher von untergeordneter Bedeutung. Der Grossteil der *Schadenssumme* wurde 2005 durch ausufernde Gewässer verursacht, wobei das Schadensausmass an einigen wenigen Objekten massgeblich war. Weiter zeigte sich, dass ein Grossteil der *Schadensfälle* durch oberflächlich abfliessendes Regenwasser verursacht wurde. Da dabei in der Regel die Abflusstiefen und die Volumen klein sind, lassen sich entsprechende Schäden durch einfache Massnahmen in Eigenverantwortung der Hauseigentümer begrenzen. Grundwasser trägt ebenfalls erheblich zu den Schäden bei. Die Zuständigkeiten im Umgang mit Grundwasser als Gefahrenprozess sind nicht eindeutig geregelt.

Rutschungen: grosse Unschärfen

Bei der vertieften Analyse der Hanginstabilitäten standen ausgewählte Aspekte der Disposition und der Auslösung im Vordergrund. Die Untersuchungen zur Disposition bestätigten dabei bisherige Erkenntnisse. Zusätzlich wurde das Potenzial von Bodenkarten bei der Beurteilung flachgründiger Rutschungen aufgezeigt. Anhand der meteorologischen Analyse konnten erste Ansätze zur Definition von kritischen Regenmengen und Intensitäten zur Auslösung von Rutschungen erarbeitet werden. Grundsätzlich sind die Unschärfen bei der Beurteilung von Rutschungen sehr gross, handelt es sich doch um einen reinen Schwellenprozess.

Geschiebe und Schwemmholzumlagerungen

Erstmals gelang es im Rahmen der vorliegenden Analyse nach einem grösseren Hochwasser sowohl für Geschiebe als auch für Schwemmholz eine umfassende Bilanz

der umgelagerten Volumina für die wichtigsten betroffenen Gewässer zu erstellen. Diese wurde durch umfangreiche Datenerhebung der zuständigen Stellen ermöglicht. Die eingetretenen Veränderungen und die umgelagerten Volumina zeigen insgesamt das bei einem solchen Ereignis zu erwartende Bild. Die erhobenen Daten sind Grundlagen für Folgeprojekte und für die Entwicklung bzw. Überprüfung von Modellen, welche zur Gefahrenbeurteilung unerlässlich sind. Diese Daten stellen eine wesentliche Erweiterung der Erfahrung dar. Mit ihnen können Modelle überprüft, weiterentwickelt und zur Übertragung der Erfahrung auf andere Situationen verwendet werden. Es zeigt sich auch, dass den Gefahrenprozessen Seitenerosion und Gerinneverlagerung vermehrt Rechnung getragen werden muss und dass die bisher verwendeten Ansätze das Ausmass dieser Prozesse unterschätzen.

Bauliche Massnahmen: grosser Anpassungsbedarf

Sedimente und Schwemmholz gehören zu jedem grösseren Hochwasser. Entsprechend traten an Schutzbauten oder Bauwerken, wie Brücken und Wehren, Phänomene auf, die in der beobachteten Form bei derartigen Ereignissen immer zu erwarten sind. Trotzdem kam es an einigen Orten zu Überraschungen. Die Ursachen dafür waren Bauwerke, welche nicht auf die nach dem heutigen Stand des Wissens zu erwartenden Belastungen ausgelegt waren. Insbesondere waren die möglichen Belastungen durch Schwemmholz vielfach ungenügend berücksichtigt worden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass ein Grossteil der heute wirksamen Schutzbauten nicht dem aktuellen Stand des Wissens entspricht. Daraus ergibt sich ein umfangreicher und kostspieliger Anpassungsbedarf bei den bestehenden Bauten. Die Realisierung all dieser Anpassungen wird aus Kapazitätsgründen und wegen des hohen Finanzbedarfs mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Als Überbrückung sind Notfallkonzepte und Interventionsmassnahmen vorzubereiten.

Gefahrenkarten generell gut

Die Identifikation von allfälligen Schwachstellen und die Planung von Interventionsmassnahmen erfordern umfassende Informationen zur Gefahrensituation. Aufgrund der aktuellen gesetzlichen Grundlagen erfolgt derzeit für Siedlungsgebiete eine flächendeckende Gefahrenbeurteilung. Deren Ergebnisse werden in Form von Gefahrenkarten dargestellt. Von den knapp 900 vom Hochwasser 2005 betroffenen Gemeinden verfügten etwa 30 % bereits über eine Gefahrenkarte. Generell erwiesen sich diese Karten als zutreffend, führte doch nur in wenigen Beispielen der Vergleich zwischen Ereignis und Gefahrenkarte zu vertieften Diskussionen unter den Fachleuten. Im Rahmen der Ereignisanalyse wurden genau diese Fälle analysiert, mit dem Ziel, möglichst viel daraus zu lernen. Diese Lehren lassen sich in zwei Teile gliedern: Lehren bezüglich der Gefahrenbeurteilung generell und Lehren bezüglich der Umsetzung der Gefahrenbeurteilung.

Bis heute: Hauptprodukt Gefahrenkarte

Das klassische Resultat der Gefahrenbeurteilung ist die Gefahrenkarte. Sie ist als Produkt für die Raumplanung konzipiert. Dank dieser Karte entstand aber auch generell ein Bewusstsein für die Bedeutung von gefahrenbezogenen Grundlagen. Deshalb wurden im Verlaufe der letzten Jahre verschiedene Versuche unternommen, weitere nicht direkt mit der Raumplanung verknüpfte Bedürfnisse mit Hilfe der Gefahrenkarten abzudecken und die Gefahrenkarten z. B. als Grundlage für Objektschutz oder Notfallplanungen zu verwenden. Dadurch rückte die Gefahrenkarte mehr und mehr ins Zentrum der Betrachtung. Als ein auf spezifische Bedürfnisse zugeschnittenes Produkt

kann die Gefahrenkarte aber nicht alle Ansprüche erfüllen. Auch gehen bei der Übersetzung der Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung in die Gefahrenkarte Informationen verloren, die für andere Fragestellungen von Bedeutung sind, oder sie wegen der primären Ausrichtung auf die Gefahrenkarte zum Teil gar nicht erhoben werden.

Gefahrenbeurteilung ins Zentrum stellen

Deshalb wird vorgeschlagen, in Zukunft wieder die Gefahrenbeurteilung ins Zentrum zu rücken und diese ohne Ausrichtung auf ein spezielles Produkt durchzuführen. Aus der Gefahrenbeurteilung sollen dann – analog der Gefahrenkarte – direkt andere spezifische Produkte abgeleitet werden, wie z. B. Grundlagen für Intervention und Objektschutz. Zur Ableitung dieser Produkte aus der Gefahrenbeurteilung sind eigene Übersetzungsregeln notwendig.

Höhere Anforderungen an Gefahrengrundlagen

Weil die Gefahrenbeurteilung verschiedenen Ansprüchen gerecht werden muss, muss sie umfassend sein. Zu berücksichtigen sind auch so genannte «undenkbare» Szenarien mit Ereignisabläufe, Prozessketten, Prozessdauern oder Vorgeschichten, die als wenig wahrscheinlich beurteilt werden, aber dennoch möglich sind. Je nach Produkt können dann einzelne Szenarien zur weiteren Bearbeitung ausgewählt werden. Die ausgewählten Szenarien sollen, wenn immer möglich, repräsentativ sein, d.h. sie sollen verschiedene mögliche Abläufe abbilden. Diese im Vergleich zur bisherigen Praxis deutlich erhöhten Anforderungen an die Gefahrenbeurteilung bedingen eine wesentlich umfassendere Dokumentation der Arbeiten und eine deutlich verbesserte Nachvollziehbarkeit der Überlegungen. Die dadurch erhöhten Anforderungen an die Gefahrenbeurteilung bzw. an alle Gefahrengrundlagen werden sich in einem entsprechenden Mehraufwand niederschlagen.

Überlastfall ist Realität und muss berücksichtigt werden

Das Hochwasser vom August 2005 hat an vielen Orten eindrücklich bestätigt, dass Schutzbauten überlastet werden können. Der Überlastfall ist deshalb bei allen gefahrenrelevanten Tätigkeiten zu berücksichtigen, insbesondere bei allen baulichen Massnahmen. Bei der Planung von neuen sowie bei der Erneuerung und Ergänzung von bestehenden Schutzsystemen sind für die einzelnen Bautypen die nachfolgend aufgeführten Erkenntnisse wichtig.

Ingenieurbiologische Massnahmen

Ingenieurbiologische Massnahmen zur Hangsicherung haben sich grundsätzlich bewährt. Es lässt sich mit ihnen eine mit einem natürlichen Zustand vergleichbare Stabilität erreichen, wenn die Regeln der Baukunst eingehalten werden und die heikle Initialphase unmittelbar nach der Realisierung der Massnahmen überwunden ist. Noch keine gesicherten Aussagen sind zum Langzeitverhalten ingenieurbiologisch gesicherter Flächen möglich, da die längsten Beobachtungen erst einen Zeitraum von 25 Jahren umfassen.

Kombination von Bauwerken unterschiedlicher Flexibilität ist heikel

Grundsätzlich heikel sind Übergänge zwischen baulichen Massnahmen unterschiedlicher Flexibilität. So sind bei Blockrampen, die in Kombination mit starren Absturzbauwerken errichtet wurden, teilweise massive Probleme aufgetreten, die bis zur Zerstörung geführt haben. Ähnliche Probleme sind auch am Übergang zwischen harten Baumassnahmen und ingenieurbiologischen Stabilisierungen bekannt.

Flussaufweitungen differenziert betrachten

Die bisherigen Erfahrungen mit den in der Schweiz realisierten Flussaufweitungen zeigen die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung. Insbesondere die übergeordneten Wirkungen auf die Sohlenlage und den Geschiebehaushalt hängen sehr stark von den Bedingungen im jeweiligen Flusssystem ab und sind deshalb jeweils abzuklären.

Überlastfall kann gemeistert werden

Die Erfahrungen beim Hochwasser 2005 mit den Massnahmen an der Engelberger Aa im Raume Buochs und am Humligenbach in Wolfenschiessen zeigen, dass der Überlastfall gemeistert werden kann. Die nach modernen Gesichtspunkten robust konzipierten Schutzsysteme haben massgeblich dazu beigetragen, dass die Schäden an diesen zwei Orten begrenzt blieben, obwohl die Dimensionierungsgrössen massiv überschritten wurden. Die Herausforderung besteht darin, solche robusten und auf Überlastbarkeit ausgelegten Konzepte auch an anderen Orten zu realisieren. Dazu bedarf es einerseits des dafür nötigen Raumes und andererseits auch der Kreativität der planenden Ingenieure, um für den jeweiligen Standort das bestmögliche Konzept zu entwickeln und sich nicht mit Standardlösungen zu begnügen.

Raumplanerische Massnahmen und Objektschutz haben sich grundsätzlich bewährt

Sowohl die raumplanerischen Massnahmen als auch die Objektschutzmassnahmen haben sich beim Hochwasser vom August 2005 grundsätzlich bewährt. Allerdings sind die positiven Beispiele noch nicht sehr zahlreich. Eine Beschleunigung der Verfahren zur Umsetzung der Gefahrenkarten in der Raumplanung (z. B. durch klare Fristsetzungen) aber auch in Objektschutzmassnahmen (z. B. durch entsprechende Beratung und Anreize der Versicherungen) ist anzustreben.

Intervention generell erfolgreich

Die Interventionsmassnahmen, welche während des Ereignisses vor allem durch lokale Einsatzkräfte durchgeführt wurden, waren generell erfolgreich. Dies zeigt sich vor allem bei einem Vergleich mit früheren Ereignissen ähnlichen Ausmasses, welche im 19. Jahrhundert in der damals viel weniger dicht besiedelten Schweiz regelmässig Dutzende ja Hunderte von Todesopfern forderten. Die gegenüber damals deutlich geringeren Opferzahlen sind unter anderem darauf zurückzuführen, dass heute die Mittel und das Personal verfügbar sind, Personen auch noch aus misslichsten Situationen zu retten.

Potenzial zur Begrenzung der Sachschäden noch nicht ausgeschöpft

Dennoch ist das Potenzial von temporären (organisatorischen) Massnahmen zur Begrenzung der Sachschäden noch nicht ausgeschöpft. Dies vor allem deshalb, weil neue Vorhersagemethoden ein Eingreifen bereits vor dem Ereignis erlauben. Dies ermöglicht eine Begrenzung der Schäden und nicht «nur» ein Aufräumen. Damit diese Möglichkeiten konsequent genutzt werden können, sind verschiedene Voraussetzungen zu erfüllen. Die wichtigste ist, dass nur geplante, vorbereitete und eingeübte Aktionen Erfolg haben können. Dies bedingt Notfallplanungen, welche einerseits auf den Grundlagen aus der Gefahrenbeurteilung und andererseits auf der lokalen Erfahrung aufbauen müssen. Weiter müssen materielle und personelle Voraussetzungen geschaffen sowie die beteiligten Personen ausgebildet werden.

Fachwissen auf allen Stufen

Für die Erarbeitung und Umsetzung von Notfallplanungen sowie für die Interpretation von Warnungen und Vorhersagen im lokalen Kontext ist vermehrt Fachwissen vor Ort notwendig. Dieses Fachwissen kann nicht flächendeckend durch vollamtliches Personal abgedeckt werden. Wie bei den Interventionskräften gilt es deshalb auch hier,

Rahmenbedingungen zu schaffen, damit das Milizprinzip angewendet werden kann. Personen, welche bereit sind sich in dieser Aufgabe zu engagieren, benötigen eine gezielte Ausbildung, welche sie in die Lage versetzt, die von Bund und Kantonen erhaltenen Informationen in ihren lokalen Kontext zu übertragen.

Standardisierte Abläufe für Instandstellung notwendig

Bei der Intervention und vor allem bei der daran anschliessenden Instandstellung hat sich gezeigt, dass die Koordination zwischen Gemeinden, Kantonen und Bund verbessert werden kann und muss. Während bei der Intervention Standardabläufe bekannt sind, die konsequent umzusetzen sind (z. B. im Meldewesen), fehlen entsprechende Standards für die Instandstellung weitgehend. Dies führt dazu, dass die Qualität der Abläufe in dieser Phase sehr stark von einzelnen Personen abhängt und dadurch geordnete Abläufe nicht generell gesichert sind. Verschiedene Kantone haben auf ihrer Stufe Verfahren entwickelt, die Vorbild für entsprechende Lösungen sein können.

Grosse Medienpräsenz mit wenig Wirkung

Das Ereignis hatte im August 2005 eine ausserordentliche Medienpräsenz, vor allem in der Deutschschweiz. Gegenüber früheren Ereignissen hat sowohl die absolute Zahl an Berichten aber vor allem auch jene der stark personalisierten Beiträge deutlich zugenommen. Die Betreuung der Journalisten hat dort, wo keine entsprechenden Strukturen vorhanden waren, zu erheblichen Problemen geführt. Trotz der grossen Medienpräsenz ist die Erinnerung an das Ereignis nach zwei Jahren in den Gebieten ausserhalb der meistbetroffenen Kantone bei zwei Dritteln der Bevölkerung schon wieder verblasst. Selbst von jenen, die sich noch an das Ereignis erinnern, haben nur wenige präventive Massnahmen zum Schutz vor Hochwasser getroffen.

Neue Wege in der Kommunikation

Die Analyse der Hochwasser vom August 2005 hat aus verschiedenen Blickwinkeln aufgezeigt, dass eine bessere Einbindung der potenziell Betroffenen in den Umgang mit Naturgefahren notwendig ist. Damit kann erreicht werden, dass sie sich mit Massnahmen wie Objektschutz oder Nutzungseinschränkungen identifizieren können und sich eigenverantwortlich beteiligen. Intermediären Personen, welche dank ihrer Netzwerke sowohl einen Einblick in die fachlichen Grundlagen als auch in die lokalen Verhältnisse haben, kommt dabei eine wichtige, vermittelnde Rolle zu. Erfahrungsaustausch unter den Beteiligten kann dazu beitragen, dass gegenseitiges Verständnis entsteht, welches eine Voraussetzung dafür ist, dass Massnahmen auch akzeptiert und mitgetragen werden.

> Einleitung

Gian Reto Bezzola, Christoph Hegg

Mit Schäden von rund 3 Mrd. Franken ist das Hochwasser vom August 2005 in der jüngeren Zeit ohne Parallele. Trotzdem war es, wie im ersten Teil der Ereignisanalyse zum Hochwasser 2005 (Bezzola und Hegg, 2007) erläutert, kein aussergewöhnliches Ereignis. Viel mehr handelt es sich um ein seltenes Ereignis mit dessen Auftreten auch in Zukunft gerechnet werden muss. Ziel der Ereignisanalyse und damit auch des vorliegenden zweiten Bandes ist es deshalb, Grundlagen zu schaffen, damit die Schweiz bei künftigen Ereignissen noch besser vorbereitet ist.

Im ersten Band der Ereignisanalyse werden übersichtsmässig die Prozesse analysiert, welche zu den grossen Schäden geführt haben, die daraus entstandenen Schäden detailliert erläutert, das Ereignis in seiner Gesamtheit eingeordnet und erste Schlüsse bezüglich der Qualität von Vorhersagen und Warnungen gezogen. Der vorliegende zweite Band baut auf diesen Erkenntnissen auf und umfasst eine vertiefte Analyse ausgewählter Prozesse. Vor allem aber wendet er sich den Bereichen Intervention, Verhalten und Wirksamkeit von präventiven Massnahmen sowie den Gefahrengrundlagen zu.

Den Schluss des vorliegenden zweiten Bandes der Ereignisanalyse des Hochwassers 2005 bildet ein Fazit, das aufbauend auf den Erkenntnissen in den einzelnen Kapiteln beider Bände übergeordnete Folgerungen und Konsequenzen aus fachlicher Sicht aufzeigt. Nicht Bestandteil der vorliegenden Analyse sind die finanziellen Aspekte der vorgeschlagenen Massnahmen. Diese werden von den verantwortlichen Stellen verwaltungsintern beantragt. Es wird letztlich die Aufgabe der Politik sein in Anbetracht der nun vorliegenden Erkenntnisse zu entscheiden, mit welchen Ressourcen und folglich mit welchem Tempo die in der Ereignisanalyse aufgezeigten Massnahmen sowie die zahlreichen konkreten Projekte zum Schutz vor Naturgefahren an die Hand genommen und realisiert werden können.

Als Grundlage dafür und damit auch eine breitere Öffentlichkeit erreicht werden kann, wird parallel zum vorliegenden zweiten Band der Ereignisanalyse ein Synthesebericht veröffentlicht (UVEK, 2008). Dieser fasst die wichtigsten Erkenntnisse und Konsequenzen für ein breites Publikum zusammen.

Literatur:

Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 215 S.

UVEK 2008: Hochwasser 2005 in der Schweiz, Synthesebericht zur Ereignisanalyse. Bern, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: 24 S.

1 > Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005

Christoph Frei, Urs Germann, Sophie Fukutome und Mark Liniger

Niederschlagsanalysen sind eine wichtige Grundlage zur Untersuchung von Hochwassern. Aber auch die modernsten Beobachtungssysteme können die Niederschlagsverteilung nur mit beschränkter Genauigkeit erfassen. Die Beurteilung der beiden für das Ereignis 2005 bereit gestellten Niederschlagsanalysen zeigt, dass solche Analysen repräsentativer sind als Messungen an einzelnen Stationen und sogar neue Grundlagen für den Hochwasserschutz liefern können. Im Hochgebirge auf Skalen unter 400 km² sind diesen Analysen aber Grenzen gesetzt. Für eine fachgerechte Anwendung ist die Berücksichtigung der Unsicherheiten zentral.

1.1 Einleitung

Niederschlagsanalysen für hydrologische und statistische Untersuchungen

Räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsanalysen bzw. deren Ergebnisse spielen eine zentrale Rolle bei der Beurteilung von Hochwasserereignissen. Als Eingangsgrösse in hydrologische Modelle verhelfen sie zu einem Verständnis der beteiligten physikalischen Prozesse. Zudem lassen sich mit statistischen Auswertungen Extremwerte für Einzugsgebietsniederschläge herleiten, die bei der Beurteilung der Hochwassergefahr nützlich sind.

Im ersten Teil der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 (Rotach et al., 2007) hat MeteoSchweiz Datensätze der Niederschlagsentwicklung in der Schweiz hergeleitet (MeteoSchweiz, 2006). Diese wurden nachfolgend für hydrologische Untersuchungen zum Hochwasserereignis verwendet. Einige der Anwendungen sind in den nachfolgenden Kapiteln dieses Berichtes beschrieben. Das vorliegende Kapitel führt diese Datensätze ein und illustriert ihre Möglichkeiten und Grenzen für hydrologische und statistische Anwendungen.

Unsicherheiten sind nicht vermeidbar

Auch die heutigen modernen Beobachtungssysteme können die Niederschlagsverteilung nur mit beschränkter Genauigkeit erfassen. Unsicherheiten in den Niederschlagsanalysen sind deshalb nicht vermeidbar. Kenntnisse darüber sind für eine fachgerechte Anwendung zentral und die Unsicherheiten können sich auf die Interpretation von Resultaten auswirken.

Die von der MeteoSchweiz entwickelten Niederschlagsanalysen nutzen zwei unterschiedliche Methoden der Niederschlagsmessung. Sie unterscheiden sich in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung sowie der absoluten Genauigkeit. Je nach Anforderung

in einer konkreten Anwendung eignet sich die eine oder die andere Niederschlagsanalyse besser. Zusammen ergänzen sich die beiden Datensätze. In diesem Bericht werden die Unsicherheiten der beiden Niederschlagsanalysen illustriert, wo möglich quantifiziert und daraus Leitlinien für deren praktische Anwendung formuliert.

Untersuchte Fragen

Nach einer kurzen Einführung der zwei Datensätze (Kap. 1.2) werden in diesem Beitrag folgende Fragen untersucht:

- Woher kommen die Unsicherheiten in den Datensätzen und wie gross sind sie? (Kap. 1.3)
- Wie unterscheiden sich die beiden Datensätze? (Kap. 1.4)
- Welchen Einfluss haben die Unsicherheiten auf Extremwertanalysen für Gebietsniederschläge? Sind solche Analysen überhaupt sinnvoll? (Kap. 1.5)
- Welche Folgen haben die Unsicherheiten generell für die praktische Anwendung der beiden Niederschlagsanalysen? (Kap. 1.6 sowie ausführliche Interpretationshilfe in Anhang A1)

1.2 Niederschlagsanalysen für das Hochwasser 2005

In Teil 1 der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 wurden zwei Analysen der räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung bereitgestellt:

a) Eine Analyse aus konventionellen Niederschlagsmessungen von Wetterstationen (im Folgenden vereinfacht als «Stationen Analyse» bezeichnet),
b) Eine Analyse durch Kombination von Radar- und konventionellen Niederschlagsmessungen (im Folgenden als «Radar Analyse» bezeichnet).

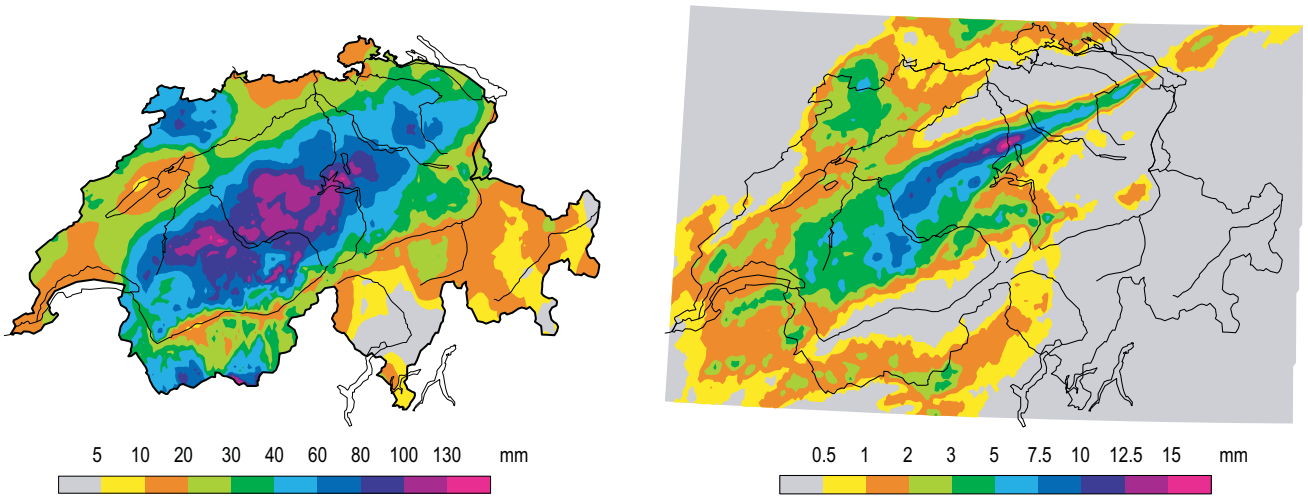
Stationen Analyse

Die Stationen Analyse (siehe Beispiel Abb. 1.1 links) beruht auf einer räumlichen und klimatologischen Interpolation von in-situ Messungen an 482 Niederschlagsstationen (440 der MeteoSchweiz und 42 des SLF). Gut drei Viertel der Stations-Messungen in der Schweiz werden nur im 24-Stunden Takt durchgeführt. Deshalb kann die Stationen Analyse nur für tägliche Niederschlagssummen durchgeführt werden (gültig jeweils von 06–06 UTC). Das Interpolationsverfahren (modifiziert nach Shepard, 1984) gewichtet die Stationen in Abhängigkeit ihrer Distanz und Richtungsisolation (Frei und Schär, 1998). Anders als in klassischen Verfahren wird die Gewichtung nicht auf die Niederschlagssummen direkt angewendet, sondern auf die relativen Abweichungen zu einer Langzeitklimatologie. Dadurch können Fehler als Folge der nicht-repräsentativen Stationsverteilung (z. B. Übervertretung von Talstationen im Gebirge) reduziert werden (Widmann und Bretherton, 2000). Als Grundlage diente dazu die Klimatologie von Schwarb et al. (2001), (siehe auch Daly et al., 2002; Schwarb, 2001).

Das Resultat der Stationen Analyse sind tägliche Niederschlagsfelder für den August 2005 auf einem Gitter mit ca. 2 km Maschenweite. Die effektive Auflösung liegt aber im Bereich 10–20 km, und somit nahe dem mittleren Stationsabstand (Kap. 1.3.1).

Abb. 1.1 > Niederschlagsverteilungen aus den beiden Analysen der MeteoSchweiz.

Links: 24-Stunden Summe für den 21. August (06–06 UTC) aus der Stationen Analyse
Rechts: 1-Stunden Summe für den 21. August (19–20 UTC) aus der Radar Analyse



Radar Analyse

Die Radar Analyse (siehe Beispiel Abb. 1.1 rechts) stützt sich auf einen Algorithmus, welcher aus der Rückstreuung von Radarimpulsen an Niederschlagspartikeln auf die Niederschlagsintensität schliesst. Das Wetterradarnetz von MeteoSchweiz besteht aus drei Stationen (La Dôle, Albis, Monte Lema) und liefert in Echtzeit hochaufgelöste Niederschlagskarten im Fünfminutentakt für die ganze Schweiz sowie das angrenzende Ausland. Im Gebirge ist die Radar-Niederschlagsmessung mit Herausforderungen konfrontiert, welche besondere Hardware und raffinierte Datenbearbeitungsmethoden erfordern. Die heute eingesetzten Techniken beruhen auf einer Erfahrung von nunmehr 40 Jahren (Joss et al., 1998; Germann und Joss, 2004). Die Stabilität der Messung wird durch die automatisierte, laufende Überwachung und Kalibration der Hardware sowie einen periodischen Unterhalt vor Ort sichergestellt. Ein aufwendiger Clutter-Unterdrückungs-Algorithmus detektiert und eliminiert operationell 98 % der Bodenechos. Die restlichen 2 % der Störechos wurden für die Radar Analyse unter Verwendung eines zusätzlichen Filters auf einen Wert unter 0.2 % reduziert. Wo die Radar-Messung auf Bodenniveau durch Berge abgeschirmt ist, werden die Messungen aus der Höhe mittels einer Profilkorrektur extrapoliert. Durch Weiterentwicklungen in den letzten Jahren konnte der systematische Fehler und die zufälligen Unsicherheiten markant reduziert werden (siehe Germann et al., 2006b; Germann und Joss, 2004; Joss et al., 1998; Joss und Waldvogel, 1990).

Die Radar Analyse für den August 2005 deckt die Periode 18. bis 22. August 2005 ab und wurde mit einer Auflösung von einer Stunde und einer Maschenweite von 1 km bereitgestellt. In Erweiterung zum operationellen Produkt wurde die Niederschlagssumme für das gesamte Ereignis lokal an die Bodenmessungen angeeicht, womit allenfalls noch vorhandene systematische Fehler korrigiert wurden.

1.3 Unsicherheiten in den Niederschlagsanalysen

Die vorhandenen Messungen (Radar und Stationen) liefern nur ein unvollständiges Bild der tatsächlichen Niederschlagsverteilung. Mit geeigneten Analysemethoden ist es zwar möglich, flächendeckende Information aus Messungen mit beschränkter Abdeckung zu rekonstruieren und Fehler behaftete Messungen zu korrigieren. Aber auch die modernsten Verfahren können diese Aufgabe nur mit eingeschränkter Genauigkeit erfüllen. Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten Unsicherheitsquellen für die beiden Niederschlagsanalysen der MeteoSchweiz und macht, wo möglich, quantitative Angaben dazu.

1.3.1 Unsicherheiten der Stationen Analyse

Die Stärke der Stationen Analyse liegt in der hohen absoluten Genauigkeit, ihrer Verfügbarkeit über klimatologische Zeiträume und in der gleichmässigen Abdeckung über die Schweiz.

Systematische Messfehler

Die Stationen Analyse kann sowohl systematisch (unabhängig von Ort oder Zeit) als auch zufällig von der tatsächlichen Niederschlagsverteilung abweichen. Systematische Abweichungen entstehen einerseits durch die bekannten Messfehler, wenn als Folge des erhöhten Windes über dem Messgerät ein Teil der Niederschlagspartikel nicht aufgefangen wird (Neff, 1977; Nespor und Sevruk, 1999). Die Grösse dieses Messfehlers nimmt mit der Windstärke zu, mit der Niederschlagsintensität ab und ist bei Schneefall grösser als bei Regen. Die Starkniederschläge im August 2005 waren von eher schwachen Winden begleitet und die Niederschläge sind fast überall in flüssiger Form gefallen. Der Messfehler dürfte deshalb kleiner sein als der klimatologische Fehler im Sommer. Letzterer wurde für den Alpenraum je nach Windexposition auf 4–12 % geschätzt (Sevruk, 1985; Richter, 1995).

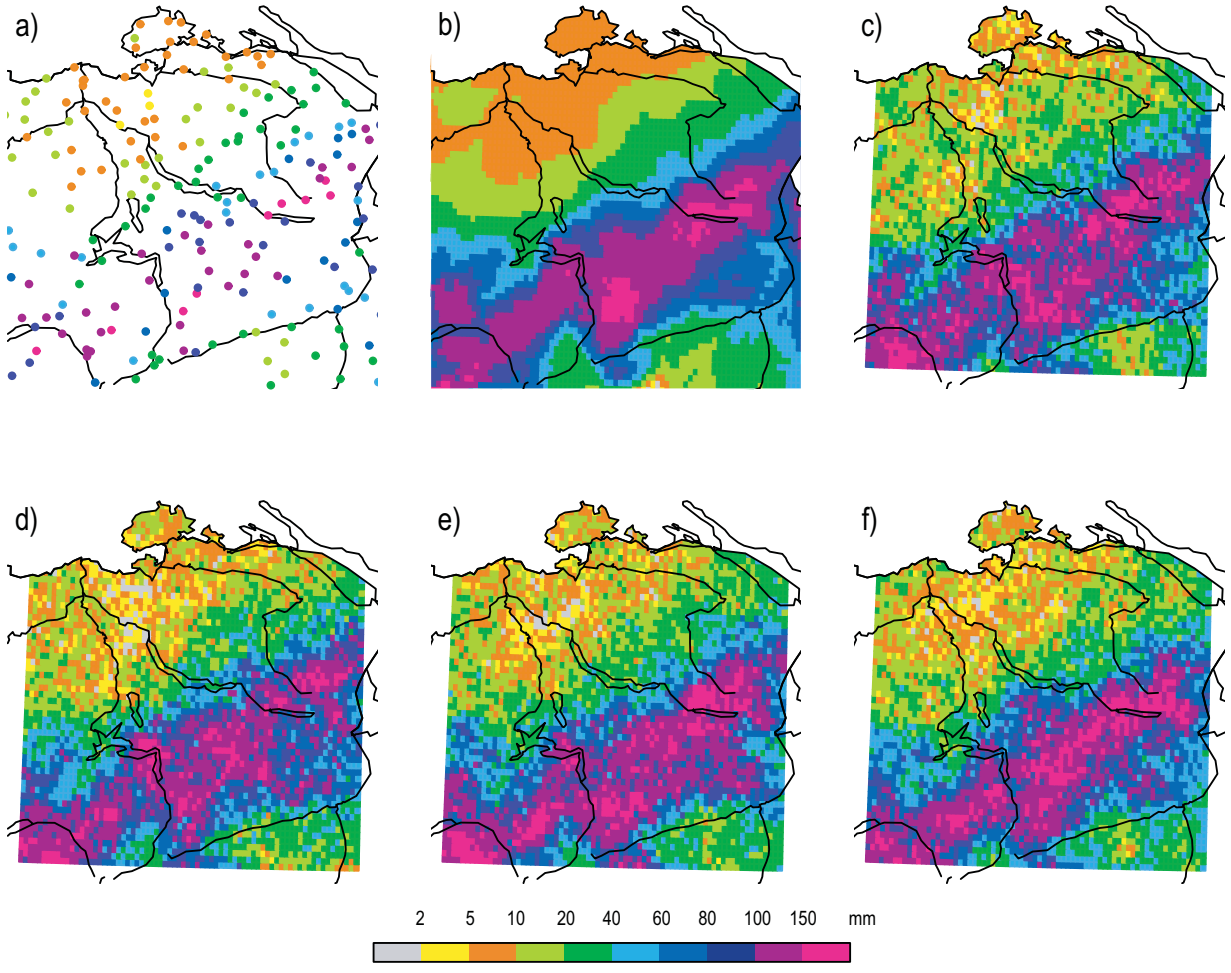
Nichtrepräsentative Verteilung der Stationen

Systematische Abweichungen können auch als Folge der nicht-repräsentativen Verteilung der Messstationen im Gelände entstehen. So sind z. B. Hang- und Bergstationen gegenüber Talstationen untervertreten. Diesem Umstand wurde in der Analyse begegnet, indem nicht die absoluten Mengen sondern die Abweichungen von einer Langzeitklimatologie analysiert wurden (siehe auch Widmann und Bretherton, 2002). Die verwendete Klimatologie wurde mit einem speziell für den Alpenraum angepassten Verfahren erstellt, in welchem die Repräsentativität der Stationen explizit berücksichtigt wurde. Kreuzvalidierungen haben gezeigt, dass der systematische Fehler der Klimatologie unterhalb von 1500 m ü. M. kleiner als 1 % und darüber kleiner als 5 % ist (Schwarb, 2001).

Zusammen dürften die systematischen Unsicherheiten eine Unterschätzung um einige wenige Prozent ausmachen. Im Vergleich zu den zufälligen Unsicherheiten sind sie unbedeutend (siehe unten) und es besteht deshalb kein dringender Bedarf, die Analysen für diese Fehler zu korrigieren.

Abb. 1.2 > Niederschlagsverteilung in der Nordostschweiz am 22. August 2005.

a) Messungen an den Niederschlagsstationen,
b) Resultat der Stationen Analyse,
c) – f) vier Zufallssimulationen möglicher realer Niederschlagsverteilungen, konsistent mit den Stationsmessungen und mit der räumlichen Kovarianzstruktur in den Messungen.



Eingeschränkte Dichte des Messnetzes

Zufällige Abweichungen der Analyse von der tatsächlichen Niederschlagsverteilung entstehen v. a. dadurch, dass mit den vorhandenen Messungen nur beschränkte Information über das wahre Niederschlagsfeld zur Verfügung steht. Die Niederschlagsverteilungen – auch für 24-Stunden Summen – weisen feinskalige Zellen und Bänder auf, die auch mit dem dichten Messnetz in der Schweiz nur unvollständig erfasst werden. Ausdruck der hohen Variabilität sind die z. T. grossen Unterschiede in Messungen benachbarter Stationen. Die Messungen für den 22. August (Abb. 1.2a) zeigen eindrückliche Beispiele.

Verschiedene Verteilungen im Einklang mit den Messungen

Das Messnetz bildet die wahren Niederschlagsvariationen auf der km-Skala nicht vollständig ab, aber die statistischen Eigenschaften der Variationen lassen sich aus den Messungen bestimmen, z. B. den Grad der räumlichen Diskontinuität, die typische Längenskala und Amplitude der Variationen. Die Abb. 1.2c – 1.2f zeigen hypothetische Niederschlagsverteilungen für den 22. August, welche einerseits dieselben statistischen Eigenschaften aufweisen wie die Messungen und andererseits an den vorhandenen Stationen mit den gemessenen Niederschlagswerten übereinstimmen. Diese vier Verteilungen wurden mit Methoden der Geostatistik und durch bedingte multivariate Zufallssimulation gewonnen und sind zufällige, aber im Rahmen der vorhandenen Unsicherheiten mögliche, reale Verteilungen des Niederschlags am 22. August. Diese zufälligen Replikate weisen Feinstrukturen auf wie sie in einem Niederschlagsfeld tatsächlich erwartet werden, sie enthalten Extrema (feucht und trocken), die ausserhalb des Bereiches der Stationsmessungen liegen, und sie unterscheiden sich deutlich voneinander, insbesondere in Gebieten mit weniger dichtem Messnetz. Die Replikate illustrieren den Grad der Unsicherheit der Stationen Analyse über das tatsächliche Niederschlagsfeld.

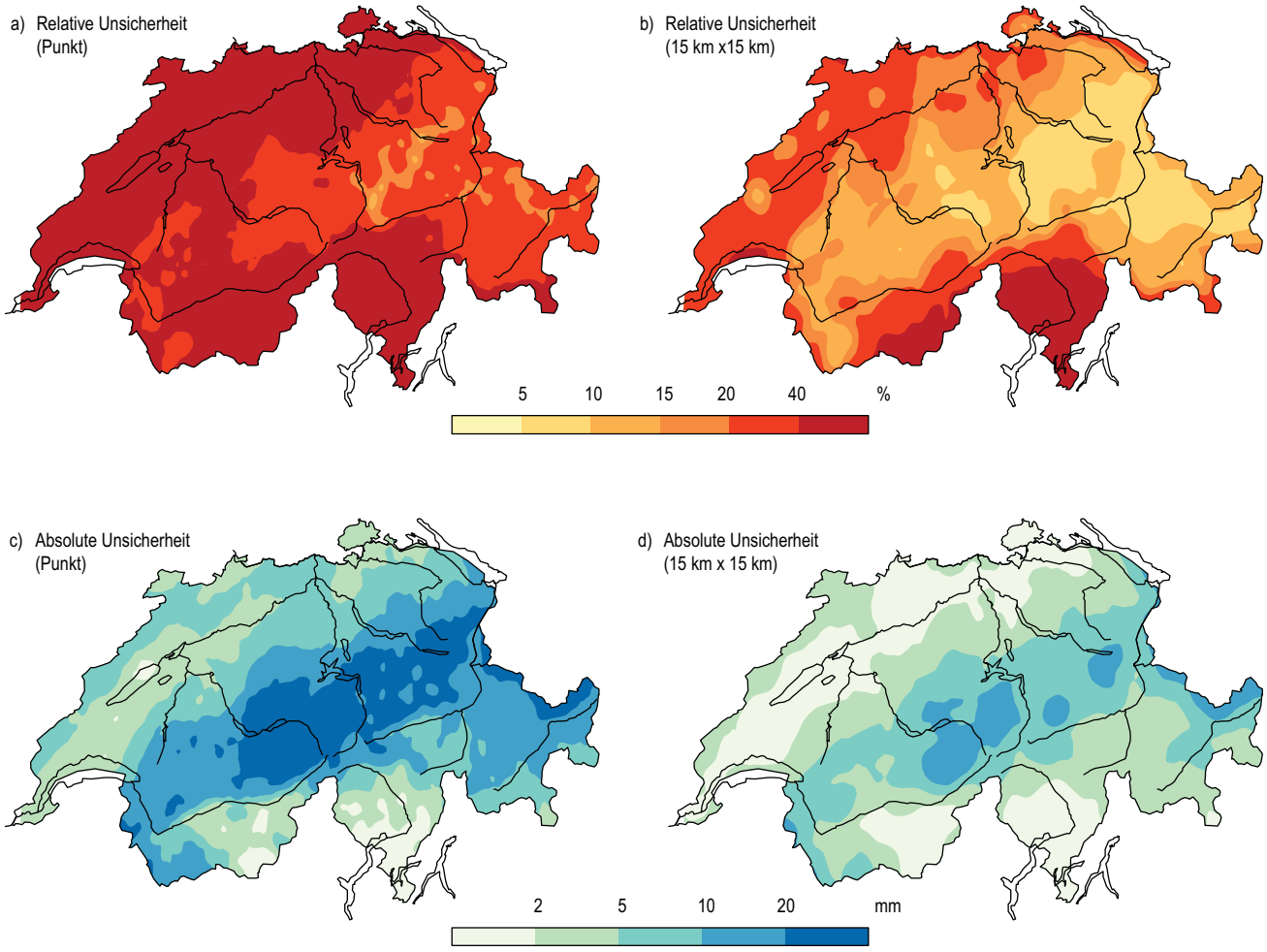
Abb. 1.2b zeigt die Stationen Analyse für den 22. August. Die Verteilung ist «glatter» als die Zufallsreplikate und mit Sicherheit nicht das Abbild eines realen Niederschlagsfeldes. Die Analyse stellt vielmehr für jeden Gitterpunkt den Erwartungswert der verschiedenen Replikate dar. Sie hat also die kleinste mittlere Abweichung zu allen realistisch möglichen Verteilungen. Obwohl unrealistisch in ihren Struktureigenschaften, ist sie jene Verteilung die im Mittel für alle Anwender den kleinsten Ärger (Fehler) beschert.

Unsicherheiten für Punktniederschläge

Die reale Verteilung ist zwar nicht bekannt aber Zufallssimulationen wie in Abb. 1.2 können als mögliche reale Verteilungen benutzt werden, um die Unsicherheit der Stationen Analyse spezifisch für diesen Starkniederschlag zu quantifizieren. Die Unsicherheiten, gültig für einzelne Gitterpunkte der Analyse (Punktschätzung), sind in Abb. 1.3a und c dargestellt (für den 22. August 2005). Absolut gesehen, sind sie dort gross, wo viel Niederschlag gefallen ist (Alpennordrand), relativ gesehen dort, wo wenig Niederschlag gefallen ist (Nordwestschweiz und Tessin). Für einzelne Punktmessungen sind die relativen Unsicherheiten aber auch in den betroffenen Starkniederschlagsgebieten substantiell: die Standardunsicherheit beträgt ± 20–40 % (Abb. 1.3). Die feinskalige Variabilität erlaubt also nur sehr ungenaue Aussagen über Punktniederschläge.

Abb. 1.3 > Unsicherheit der Stationen Analyse für den 22. August 2005 als Folge der eingeschränkten Messnetzdichte.

a), c) Unsicherheit der Punktschätzung (einzelner Gitterpunkt).
b), d) Unsicherheit der Schätzung eines Gebietsmittels für ein Quadrat von 15 km x 15 km.
Die Werte bezeichnen die Standard Unsicherheit: in relativen Einheiten (a, b, %) und absoluten Einheiten (c, d, mm).
Eine relative Unsicherheit von X % bedeutet, dass 68 % der Replikate weniger als ± X% von der Analyse entfernt sind.

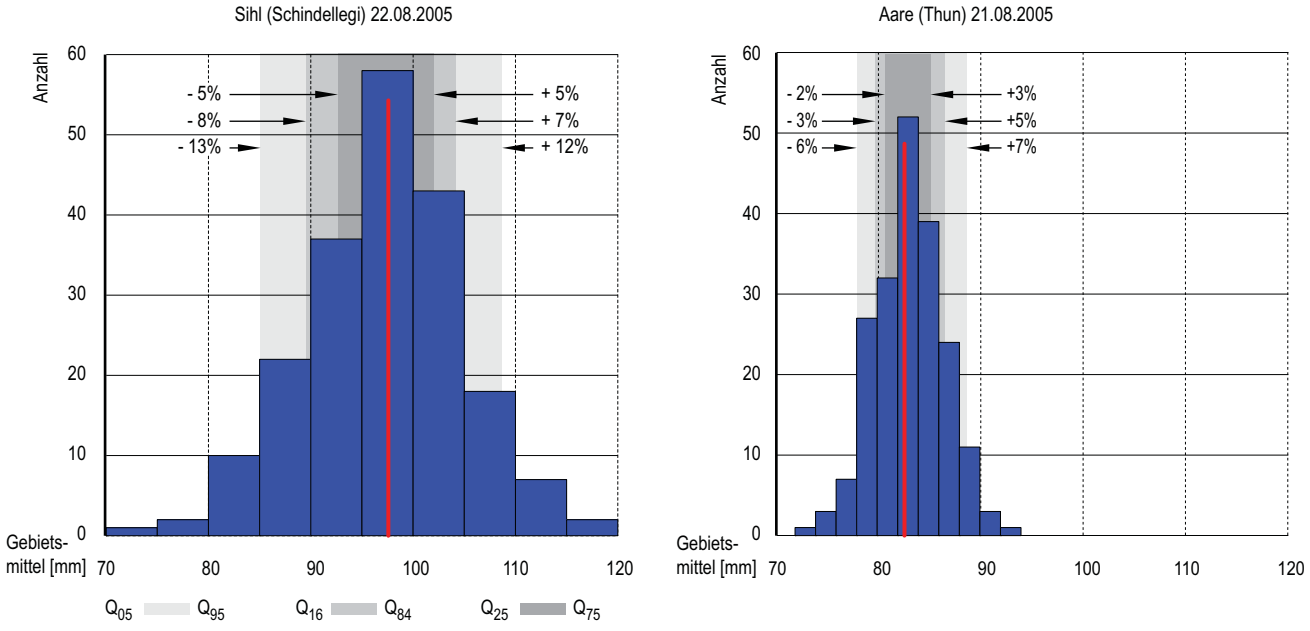


Unsicherheiten für Gebietsniederschläge

Die Unsicherheit der Analyse reduziert sich markant für Gebietsniederschläge. Abb. 1.3b und d zeigen die Unsicherheit für quadratische Gebiete mit einer Fläche von 15 km x 15 km. In den hauptsächlich betroffenen Gebieten ist die Unsicherheit zwischen ± 5–15 %. Auf dieser gröberen Skala kompensieren sich die zufälligen Unsicherheiten an Punkten teilweise und die vorhandenen Messungen (mittlerer Stationsabstand 10 km) liefern Information über die tatsächlichen Niederschlagsverhältnisse im Gebiet. Für Gebiete mit einer Fläche von 20 x 20 km reduziert sich die Unsicherheit auf unter ± 10 %. Abb. 1.4 illustriert die Verhältnisse für zwei reale Flusseinzugsgebiete: Für das Einzugsgebiet der Sihl (Schindellegi, ca. 240 km²) beträgt die Standardunsicherheit ± 8 %, für das wesentlich grössere Einzugsgebiet der Aare (Thun, ca. 2400 km²) nur noch ± 5 %.

Abb. 1.4 > Unsicherheit in der Schätzung des Gebietsniederschlags für die Einzugsgebiete Sihl (Schindellegi, ca. 240 km²) und Aare (Thun, 2400 km²).

Verteilung des 1-Tages Niederschlags aus 200 Zufallsreplikaten (blau dargestellt) wie in Abb. 1.2. Für die beiden Gebiete wurde der jeweils niederschlagsreichere Tag des Ereignisses gewählt. Graue Bereiche bezeichnen Interquantilbereiche. Die prozentuale Abweichung der Quantile von der besten Schätzung sind als Zahlenwerte eingetragen. Der Bereich zwischen dem 16 % und 84 % Quantil (mittlerer Bereich) wird als Standardunsicherheit bezeichnet.



Die hohe Unsicherheit der Stationen Analyse auf der lokalen Skala legt es nahe, diese gar nicht als Schätzung für Punkte oder Gebiete im km²-Bereich zu verwenden. Mit einer «tolerierten» Unsicherheit von etwa 10–15 % hat die Stationen Analyse eine «effektive Auflösung» von etwa 15 km. Diese ist deutlich gröber als die nominelle Auflösung von 2 km. Die Analyse wurde v. a. deshalb auf einem Gitter mit feiner Auflösung zur Verfügung gestellt, weil dies die Berechnung von Gebietsniederschlägen über grösseren Einzugsgebieten mit komplexen Formen für den Anwender wesentlich vereinfacht.

Effektive Auflösung ist gröber als nominelle Auflösung

1.3.2 Unsicherheiten der Radar Analyse

Die Stärke der Radarinformation liegt in der sehr hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung, welche es erlaubt, Feinstrukturen und die zeitliche Entwicklung im Detail zu analysieren (MeteoSchweiz, 2006). Die Unsicherheit der Radar Analyse bezüglich räumlicher und zeitlicher Ortung der Niederschläge ist minimal. Die nominelle Auflösung der Radar Analyse beträgt 1 km und 1 Stunde. Die effektive Auflösung weicht nur geringfügig von der nominellen Auflösung ab, da die Wetterradars die Atmosphäre über der Schweiz hochaufgelöst (360 Richtungen radial, 20 Elevationen) abtasten. Die Messungen werden bis zu einer maximalen Distanz von 230 km ausgewertet. Das Abtasten der 20 Elevationen benötigt nur 5 min. Dadurch entsteht alle 5 Min. ein einigermassen vollständiges dreidimensionales Bild der Niederschläge über der Schweiz. Da die räumliche Auflösung dieser Radarinformation (1 km²) stark von derjenigen einer Stationsmessung (200 cm², Öffnung des Messgerätes) abweicht, sind entsprechende Niederschlagswerte nur dann vergleichbar, wenn der Niederschlag über eine genügend grosse Zeitperiode (typischerweise > 12 h) aufsummiert wird. Mehr zum Thema Auflösung und Abtaststrategie findet sich in Joss et al. (1998).

Hohe Raum- und Zeitauflösung

Die Schwäche der Radarinformation liegt in der relativ grossen Unsicherheit bezüglich der absoluten Niederschlagsmengen. Der systematische Fehler der Radar Analyse liegt im einstelligen Prozentbereich. Der zufällige Fehler auf der Skala von 1 km und 24 h entspricht im Mittel in der Schweiz einem Faktor von 1.6. In den Schweizer Alpen ist der Faktor grösser und liegt zwischen 1.6 und 2, im Schweizer Mittelland sowie im Südtessin ist er tiefer und liegt bei 1.4. Fehlechos bei Schönwetter sind selten und entsprechen 0.1 % des totalen Niederschlages. Die Unsicherheiten für Punktwerte in der Radar Analyse korrelieren in Raum und Zeit nur beschränkt. Die resultierende Unsicherheit wird also kleiner, wenn die Radarwerte zuerst über grössere Gebiete respektive Zeiträume aggregiert werden. Um die Korrelation der Unsicherheiten quantitativ auszudrücken, wird bei MeteoSchweiz zurzeit ein weltweit neues Verfahren entwickelt, welches anstelle einer einzigen deterministischen Schätzung ein Ensemble von Radarniederschlagsfeldern generiert (Germann et al., 2006a).

Unsicherheit in den absoluten Mengen

Das Hauptproblem der Radar-Niederschlagsschätzung in den Alpen liegt in der Abschattung des Radarstrahles durch die Berge und den Horizont. Als Folge davon ist die bodennahe Schicht der Atmosphäre nur gerade in nächster Nähe der drei Radarstandorte sichtbar. Über den Alpen sind die untersten 2–3 km der Atmosphäre oft nicht direkt sichtbar. In diesen Gebieten werden Radarsignale aus den darüber liegenden

Schwierigkeiten im Gebirge

Schichten verwendet und mit raffinierten aber nicht perfekten Auswerteverfahren auf den Boden extrapoliert. Dies ist die Hauptursache für die relativ grossen oben genannten Unsicherheiten (zufällige Fehler) in der Radar Analyse (Germann et al., 2006b).

Schätzung der Unsicherheit eher zu pessimistisch

Die Aussagen bezüglich Unsicherheit im Radar-Datensatz basieren auf detaillierten Vergleichen zwischen den operationell verfügbaren Echtzeit-Radar-Niederschlagsschätzungen und den Stationsmessungen am Boden. Der zufällige Fehler sollte als «Standardfehler» interpretiert werden, d. h. als Erwartungswert des Fehlers. Im Einzelfall sind kleinere/grössere Fehler möglich. Diese Zahlen dürften die reellen Unsicherheiten aus zwei Gründen überschätzen. Erstens sind Unterschiede zwischen Radarschätzung und Bodenmessung nicht nur auf Radarfehler zurückzuführen, sondern auch auf Unsicherheiten in der Stationsmessung, insbesondere im Gebirge sowie allgemein in konvektiven Gewitterlagen. Zweitens wurden für die Berechnung der Radar Analyse zusätzlich zu den operationellen Methoden spezifische Algorithmen entwickelt und angewandt, welche in der Zwischenzeit bereits testweise auch in Echtzeit im Einsatz sind. Die aufgeführten Zufallsfehler von Faktor 1.4 bis 2.0 können also grob als obere «konservative» Grenze eines «Standardfehlers» betrachtet werden.

1.4 Vergleich der Analysen für den Starkniederschlag 2005

Vergleichbare Skalen

Die Stationen- und die Radar Analyse weisen unterschiedliche räumliche und zeitliche Auflösungen auf. Ein direkter Vergleich ist also nur für diejenigen Skalen möglich welche durch beide Analysen abgedeckt werden, also für Tagessummen und für Gebietsmittel (ca. 15 km x 15 km, entsprechend der effektiven Auflösung der Stationen Analyse). Ein solcher Vergleich ist für den Anwender eher illustrativ und als Auswahlkriterium in der Regel wenig hilfreich. Ein Anwender mit einem Bedürfnis für hohe Raum/Zeitauflösung hat keine Wahl.

Bilanzierungsgebiete

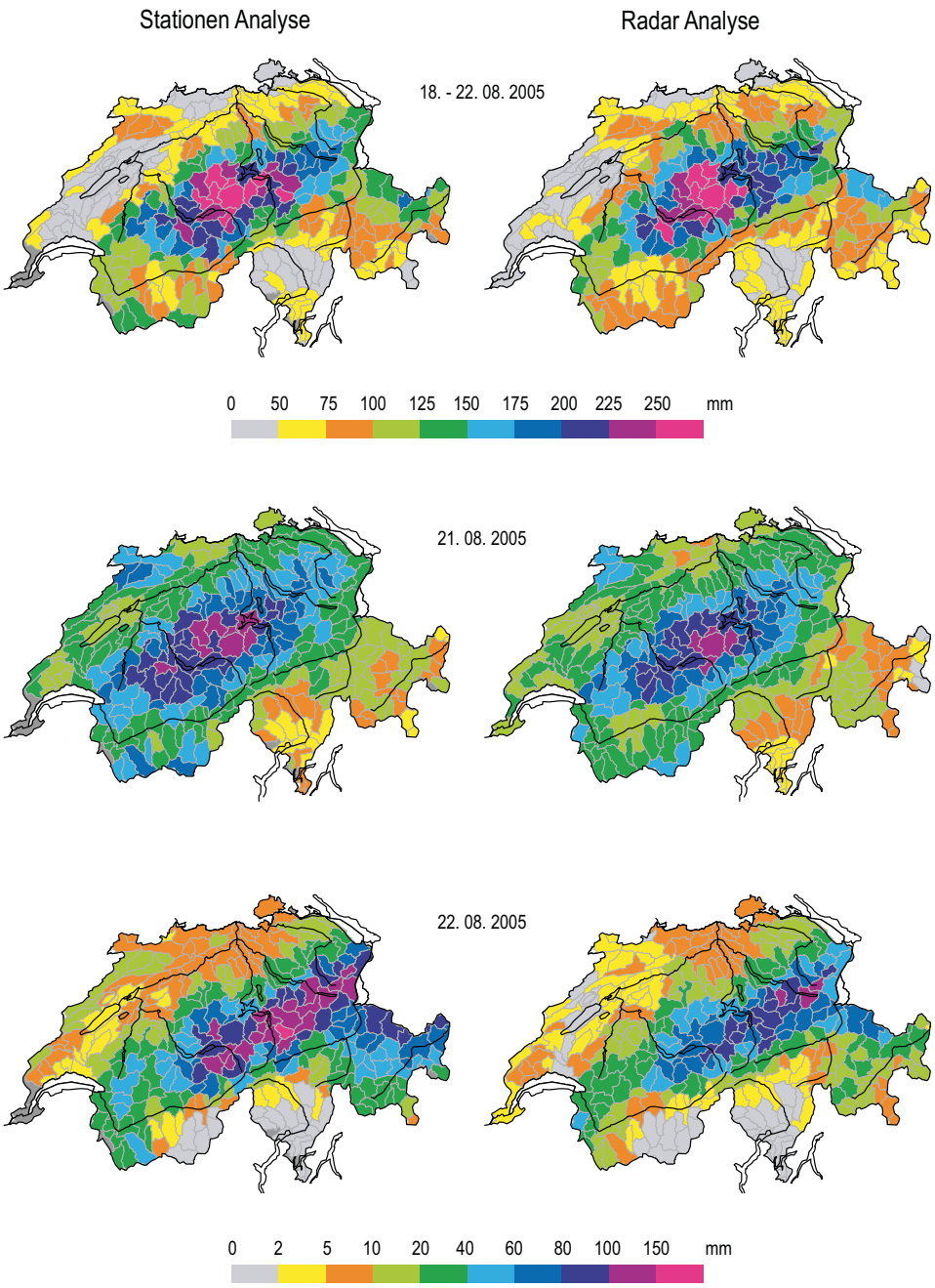
Dieser Abschnitt dokumentiert einen Vergleich der Gebietsniederschläge für die hydrologischen Bilanzierungsgebiete der Schweiz. Die 290 Gebiete stellen eine hydrographische Gliederung der Schweiz in Flächen von etwa 50–300 km² dar (siehe z. B. Breinlinger et al., 1992). Für den Vergleich wurde die stündliche Radar Analyse zu Tagessummen aggregiert (konsistent mit der Stationen Analyse).

Landesweite Verteilung und Ablauf

Schweizweit gesehen stimmt die Verteilung und der zeitliche Ablauf des Niederschlags in der Radar- und der Stationen Analyse sehr gut überein (Abb. 1.5). Sowohl in der Summe der gesamten Episode (18.–22. August), wie auch für die beiden Tage des Ereignisses (21. und 22. August) sind die Gebiete mit hohen Niederschlagssummen fast identisch. Die Aneichung der Radar Analyse (siehe Kap. 1.2) mag zwar die gute Übereinstimmung in der Summe über das gesamte Ereignis zum Teil erklären, aber für die Einzeltage sind die Niederschlagsanalysen unabhängig voneinander. Die landesweite Verteilung und der Ablauf des Niederschlags im August 2005 werden in beiden Analysen sehr ähnlich wiedergegeben.

Abb. 1.5 > Gebietsniederschläge für die Bilanzierungsgebiete in der Schweiz.

Links: Stationen Analyse, rechts: Radar Analyse.
Dunkelgrau eingezeichnet sind die Bilanzierungsgebiete, die einen grossen Flächenanteil (>50 %) ausserhalb der Landesgrenze haben und für welche in der Stationen Analyse deshalb kein Gebietsmittel berechnet wurde.



Einzelne Tage

Trotzdem gibt es z. T. grössere quantitative Unterschiede (Abb. 1.6). Zwar unterscheiden sich die Analysen für die Ereignissumme fast überall um weniger als 20 %, für Einzeltage sind die Unterschiede aber grösser. Die Radar Analyse zeigt vor dem Ereignis (18.–20. August) tendenziell eine feuchtere und während des Ereignisses (21. und 22. August) tendenziell eine trockenere Situation als die Stationen Analyse. Grössere Abweichungen gibt es auch im Gebirge (Alpen und Jura, 22. August). Dort weist die Radar Analyse z. T. weniger als die Hälfte des Niederschlags der Stationen Analyse auf. Diese Regionen sind aber eher trocken, so dass sich kleine Abweichungen in den Mengen stark auf die relativen Unterschiede auswirken. In Gebieten mit hohen Niederschlagsmengen sind die relativen Unterschiede deutlich kleiner (siehe Abb. 1.7). Für mehr als die Hälfte der Gebiete mit einem Gebietsniederschlag von mindestens 90 mm pro Tag sind die Abweichungen kleiner als 10 % (21. August) bzw. kleiner als 25 % (22. August).

Abb. 1.6 > Relative Abweichungen der Gebietsniederschläge zwischen Radar- und Stationen Analyse.

Die relative Abweichung ist als (Radar-Stationen) / (0.5 x (Radar+Stationen)) definiert. Ein Wert von 0.2 bedeutet ein Verhältnis von 1.23 zwischen Radar- und Stationen Analyse. Blaue (braune) Farben bezeichnen Gebiete in welchen die Stationen Analyse eine feuchtere (trockenere)Situation als die Radar Analyse aufzeigt.

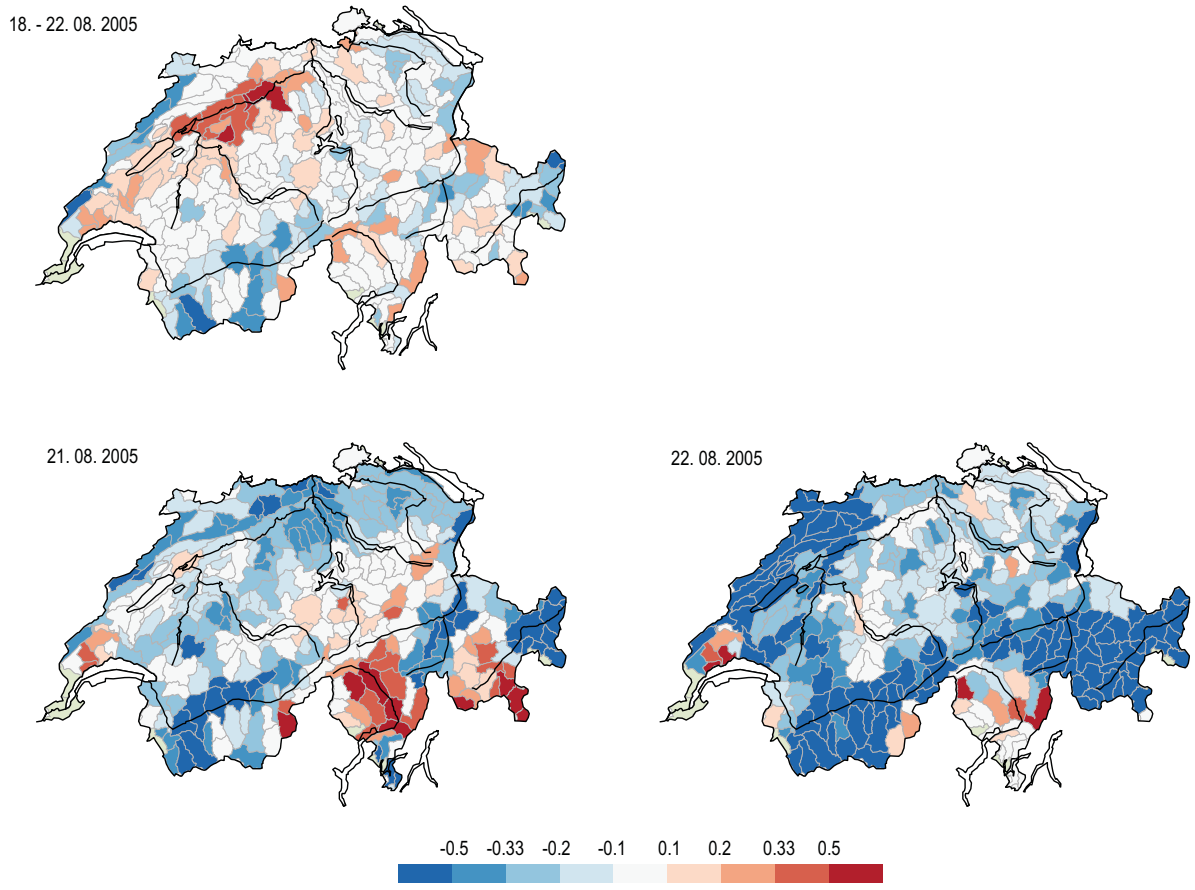
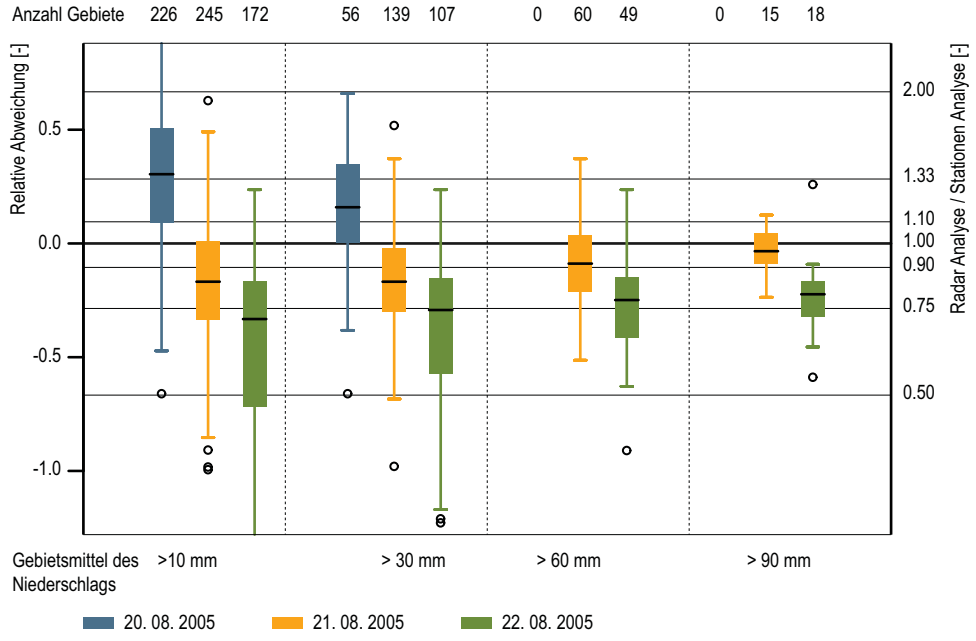


Abb. 1.7 > Boxplot der relativen Abweichungen zwischen Radar- und Stationen Analyse für die Bilanzierungsgebiete.

Die Abweichungen sind für drei Tage des Ereignisses (in Farbe) dargestellt und aufgeteilt in vier Gruppen von Gebieten, für welche der Gebietsniederschlag jeweils eine bestimmte Menge über–schritten hat (x-Achse). Die Anzahl der Gebiete pro Tag und Gruppe sind im oberen Teil der Graphik aufgeführt. Die Skala auf der linken Ordinate zeigt die relative Abweichung gemäss Abb. 1.6, die Skala auf der rechten Ordinate das Verhältnis von Radar zu Stationen Analyse.



Ursachen der Unterschiede

Die Unterschiede zwischen den beiden Analysen kommen einerseits von zufälligen Unsicherheiten der Stationen Analyse (Kap. 1.3.1). Rund zwei Drittel der Bilanzierungsgebiete sind kleiner als 200 km². Für diese muss mit einer Unsicherheit von 15 % und mehr gerechnet werden. Andererseits dürften die eher systematischen Abweichungen (trockenere Ergebnisse des Radars) auf die eingeschränkte Genauigkeit der Radar Analyse zurückgehen. Offenbar war die verwendete Umrechnung vom Radarsignal in die Niederschlagsintensität nicht für die gesamte Episode gleich repräsentativ. Auch die Abweichungen in Gebirgsregionen dürften mit der für den Radar eingeschränkten Sichtbarkeit in diesen Gebieten zusammenhängen.

Trotz der Unterschiede zeigen die beiden Analysen auf vergleichbaren Skalen eine konsistente Niederschlagsverteilung und eine gute quantitative Übereinstimmung in den vom Starkniederschlag am stärksten betroffenen Gebieten. Die Ergebnisse der Radar Analyse dürften für die beiden Ereignistage 21./22. August leicht zu trockne Werte anzeigen, am 22. August in inneralpinen Regionen sogar um mehrere 10 %.

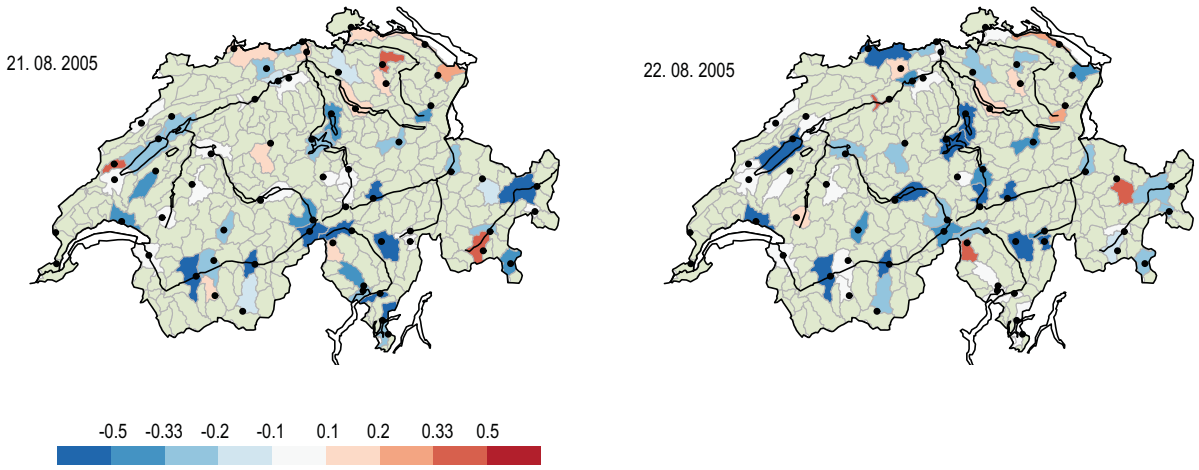
Einzelstationen sind nur in Ausnahmen eine Alternative zur Radar Analyse

Die eingeschränkte absolute Genauigkeit in den Niederschlagsmengen der Radar Analyse wird durch ihre hohe Auflösung und die unmittelbare Verfügbarkeit der Daten aufgewogen. Diese für viele Anwendungen zentralen Anforderungen können durch

Stationsbeobachtungen – auch wenn sie automatisch in hoher Zeitauflösung erfolgen – nur ungenügend erfüllt werden. Würden anstelle der Radar Analyse die Daten von Einzelstationen (ANETZ-Stationen) als Datenquelle für stündliche Gebietsniederschläge verwendet, müsste mit vergleichbaren oder sogar grösseren relativen Fehlern gerechnet werden (Abb. 1.8). Dies sogar für Bilanzierungsgebiete, welche die jeweiligen Stationen enthalten. Für weiter entfernte Gebiete wären die Unterschiede noch deutlich grösser. Einzelstationen sind also bereits auf einer Skala von wenigen km weniger repräsentativ als die Radar Analyse. Automatische Einzelstationen sind keine Alternative zur Radar Analyse.

Abb. 1.8 > Relative Abweichung (analog zu Abb. 1.6) der täglichen Niederschlagstotale zwischen 60 ANETZ Stationen und Gebietsniederschlägen aus der Stationen Analyse.

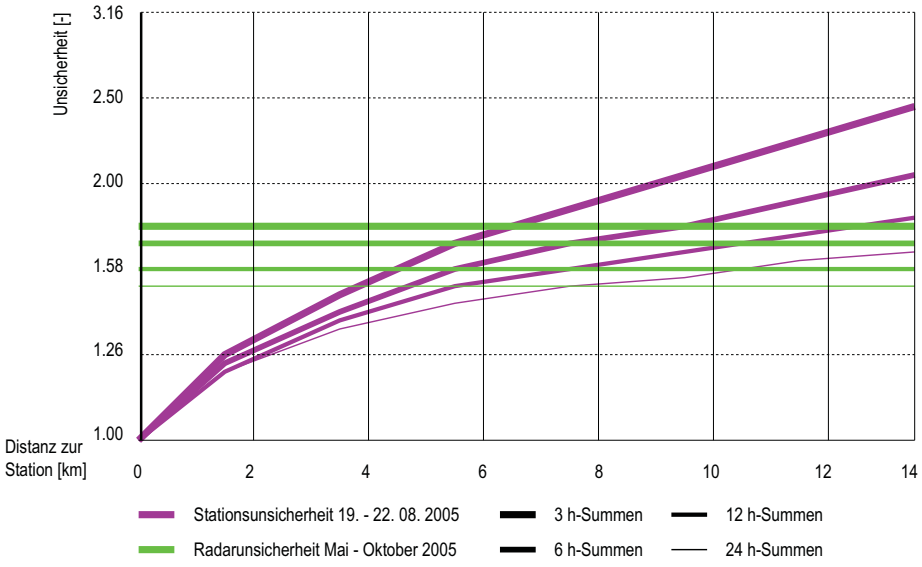
Der Vergleich ist für jene Bilanzierungsgebiete dargestellt, in welchen ANETZ Stationen liegen. Die Abweichungen charakterisieren die Repräsentativität von ANETZ-Stationen für den Gebietsniederschlag im Bilanzierungsgebiet, in dem die Station enthalten ist. Blaue (rote) Farben bezeichnen Gebiete, in welchen die Stationen Analyse feuchter (trockener) ist als der Messwert an der ANETZ-Station.



Eine Untersuchung über die Unsicherheit von punktuellen Niederschlagsschätzungen führt zu einer ähnlichen Schlussfolgerung. Ausgewertet wurden Radar Analysen des Hochwassers 2005 für Gebiete im Alpenraum und Akkumulationsperioden von 3, 6, 12 und 24 Stunden. Die Unsicherheit der Stationsmessung nimmt infolge der hohen räumlichen Variabilität des Niederschlages mit zunehmender Distanz vom Messort rasch zu. Für einen Punkt in den Alpen erreicht die Unsicherheit einer Stationsmessung diejenige der Radar Analyse in weniger als 7 km Abstand vom Messort (Abb. 1.9). Das Resultat gilt in erster Näherung unabhängig von der Akkumulationsperiode im Bereich 3 bis 24 Stunden. Für stark konvektive Ereignisse wie, z. B. die Niederschlagszellen im Vorfeld des Hochwassers (18. August), liegt der «crossover» bereits bei 2 bis 3 km. Dies ist eine wichtige Grundlage für die korrekte Interpretation von räumlich extrapolierten Punktmessungen.

Abb. 1.9 > Unsicherheit einer Radarmessung (grün) im Vergleich zur Unsicherheit bei der Extrapolation einer Stationsmessung für einen von der Station entfernten Punkt (violett).

Die Unsicherheit bei der Extrapolation einer Stationsmessung nimmt mit der Distanz zwischen Station und Zielpunkt (x-Achse) zu. Die Zunahme ist umso schneller je kürzer das betrachtete Niederschlagsintervall ist (verschiedene Linienstärken). Unsicherheit (y-Achse) in Faktoren (2 entspricht Verdoppelung/Halbierung) für die Standard Unsicherheit (16 % bis 84 % Quantil). Die Auswertung ist für die Sommermonate 2005 gültig. Beispiel-Interpretation: Für dreistündliche Sommer-Niederschläge ist die Unsicherheit bei Extrapolation einer Stationsmessung über 8 km grösser als die Unsicherheit der Radarmessung.



1.5 Analyse-Unsicherheit und Extremwertstatistik

Extremwertstatistik für Gebietsniederschläge

Mit einer systematischen Erstellung der Stationen Analyse über viele Jahre können lange Zeitreihen von Gebietsniederschlägen für hydrologische Einzugsgebiete berechnet werden. Eine Auswertung solcher Reihen mit den Methoden der Extremwertstatistik erlaubt die Bestimmung von extremen Gebietsniederschlägen, welche für Einschätzungen zur Hochwassergefahr interessant sind. Die Unsicherheiten in der räumlichen Analyse können sich dabei auf die Extremwertanalyse übertragen. Dieser Einfluss wurde anhand einer einfachen Fallstudie untersucht.

Fallstudie

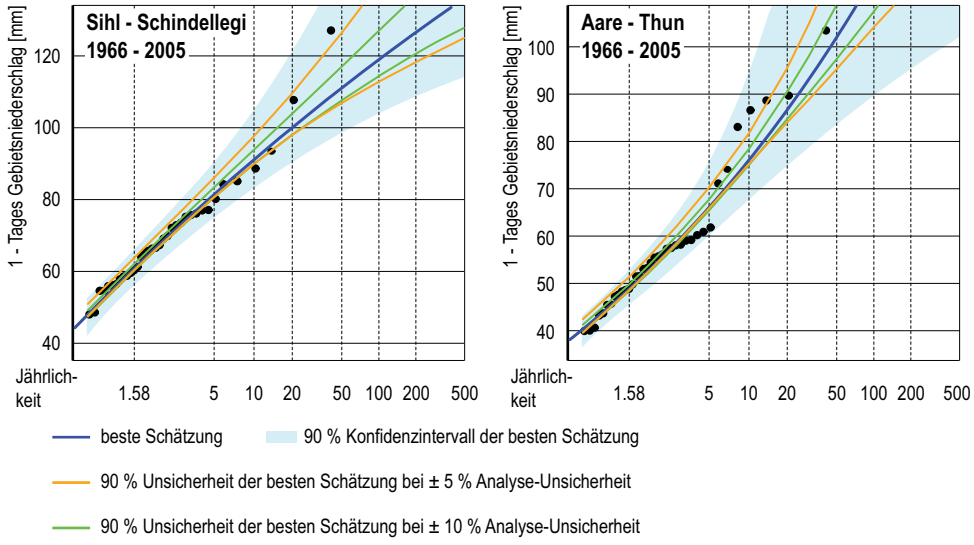
Für diese Fallstudie wurde die Stationen Analyse für mehrere Einzugsgebiete täglich von 1966 bis 2005 erstellt. Die Werte der resultierenden Gebietsniederschlags Zeitreihe wurden dann mit zufälligen Störungen versehen, die Extremwertanalyse mit den gestörten Werten wiederholt und der Einfluss auf die Schätzung von Extremwerten verfolgt. Für die Störungen wurden log-normal verteilte Faktoren gezogen, die einer typischen Änderung der Originalwerte um ±5 % respektive ±10 % entsprechen. Die Grösse der angenommenen Störung entspricht etwa der Unsicherheit der Stationen Analyse für Einzugsgebiete grösser als 250 km² (siehe Kap. 1.3.1). Für die Berechnung der Extremwerte wurde die klassische Block Maxima Methode verwendet (Analog zu den Auswertungen in MeteoSchweiz, 2006).

Schätzunsicherheit dominiert Analyseunsicherheit

Abb. 1.10 zeigt Resultate dieser Fallstudie für zwei Einzugsgebiete. Die grünen und orangen Linien zeigen den Einfluss der Analyseunsicherheit auf die Extremwerte, d. h. den Bereich (90 % Konfidenz), in welchem die Schätzung variiert, wenn die Originalwerte um ±5 % (grün) respektive ±10 % (orange) gestört werden. Die für den August 2005 ermittelten Unsicherheiten für die beiden Einzugsgebiete liegen in diesem Bereich (siehe Abb. 1.4). Als Folge der eingeschränkten Periode der Extremwertanalyse (blaue Linien) sind die Variationen der Extremwerte bei diesen Störungen deutlich kleiner als die Unsicherheiten der Extremwerte. Für die Extremwertstatistik eignen sich nur Perioden, in welchen ein dichtes Messnetz betrieben wurde, d. h. ab Anfang bis Mitte der 1960er Jahre.

Abb. 1.10 > Extremwert Diagramm für den 1-Tages Gebietsniederschlag in den Einzugsgebieten Sihl (Schindellegi, ca. 240 km²) und Aare (Thun, ca. 2400 km²).

Die Gebietsniederschläge wurden durch systematische Anwendung der Stationen Analyse für die Periode 1966–2005 bestimmt.



Extremwertanalyse möglich

Analoge Fallstudien wurden für vier weitere Einzugsgebiete (Teileinzugsgebiete der Aare-Thun) durchgeführt, aus welchen dieselbe allgemeine Schlussfolgerung resultierte: Analyseunsicherheiten in der Grössenordnung von 10 % haben nur geringfügige zusätzliche Unsicherheiten in den Resultaten der Extremwertanalyse zur Folge. Zumindest sind diese deutlich kleiner als die Unsicherheiten aus der eingeschränkten Beobachtungsperiode. In der Annahme, dass die in Kap. 1.3.1 hergeleiteten Analyseunsicherheiten für den August 2005 repräsentativ für alle Starkniederschlagsereignisse sind, ist somit die Anwendung der Extremwertstatistik für Einzugsgebiete ab einer Fläche von ca. 250 km² ohne nennenswerte zusätzliche Unsicherheit gerechtfertigt.

1.6 Folgerungen für den Anwender und Schlussbemerkungen

In Anwendungen die Unsicherheiten berücksichtigen

Unsicherheiten in der Analyse des Niederschlags sind unvermeidbar. Sie sind eine Folge der systembedingten Messgenauigkeit, der endlichen Anzahl von Messstationen und der feinskaligen Struktur im Niederschlag. In diesem Bericht wurden die Unsicherheiten der von MeteoSchweiz entwickelten Niederschlagsanalysen für den August 2005 quantifiziert. Für eine fachgerechte Anwendung dieser Analysen ist die Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten zentral. Folgende Implikationen sind in Anwendungen zu berücksichtigen (ausführlicher Anleitung in Anhang A1).

Wichtige Merkpunkte für Anwender

- > Die Radar Analyse eignet sich für Anwendungen, die auf eine hohe Zeitauflösung (kürzer als ein Tag) und eine räumliche Auflösung im km-Bereich angewiesen sind. Ihre absolute Genauigkeit ist aber eingeschränkt, besonders im Gebirge.
- > Die Stationen Analyse eignet sich dort, wo hohe absolute Genauigkeit gefordert ist und eine Zeitauflösung von einem Tag ausreicht. Sie eignet sich besonders für Gebietsniederschläge bei Einzugsgebieten mit mehr als 200 km² im Flachland und mehr als 400 km² im Gebirge.
- > Die Nutzung einzelner Gitterpunkte der Stationen Analyse ist nicht sinnvoll. Auf dieser nicht effektiv aufgelösten Skala sind Unsicherheiten von z. T. deutlich mehr als 20 % zu erwarten.
- > Für Anwendungen mit dem Anspruch hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie hoher absoluter Genauigkeit im Gebirge eignet sich keine der Analysen.
- > Automatische Einzelstationen sind in der Regel keine Alternative zur Radar Analyse, da sie bereits in einer Distanz von wenigen km weniger repräsentativ sind.

Niederschlagsanalysen haben trotz Unsicherheiten einen breiten Einsatzbereich

MeteoSchweiz hat für die Ereignisanalyse Hochwasser 2005 modernste Analysemethoden eingesetzt. Die in diesem Bericht beschriebenen Unsicherheiten sind nicht spezifisch für die konkret verwendeten Verfahren. Vielmehr muss für andere Verfahren mit vergleichbaren Unsicherheiten gerechnet werden. Der Vergleich der beiden Analysen (Kap. 1.4) bestätigt die hohe Qualität der heutigen Analyseprodukte. Zwar sind im Innern der Alpen nicht alle vom Praktiker wünschbaren Anwendungen sinnvoll (z. B. für Wildbäche und Hangrutschungen) bzw. die Resultate unterliegen einer grossen Unschärfe. Trotzdem haben die Datensätze einen breiten Einsatzbereich in der Aufarbeitung von Hochwasserereignissen. So erlauben die Radar Analysen eine detaillierte Beschreibung der Feinstrukturen im Niederschlag, welche für die Modellierung von Gebirgsflüssen im Alpenrandbereich interessant sind. Klassische Stationsmessungen (oder Analysen daraus) können die hierfür notwendige Auflösung nicht anbieten. Weiter zeigen die Untersuchungen in diesem Bericht auch neue Anwendungen auf. Z. B. können durch die Kombination der Stationen Analyse mit der Extremwertstatistik (Kap. 1.5) neue interessante Hilfsmittel für die Gefahrenbeurteilung und die Planung von Hochwasserschutzmassnahmen hergeleitet werden.

Mehr Messungen oder noch bessere Analyseverfahren?

Die Unsicherheiten in den Analysen sind primär eine Folge von Einschränkungen in den verfügbaren Messungen. Ein Ausbau des konventionellen Niederschlagsmessnetzes könnte die Unsicherheiten zwar reduzieren, eine substantielle Verbesserung ist aber nur mit einem massiven Ausbau zu erwarten. Aufgrund allgemeiner statistischer

Abschätzungen kann bei einer Verdoppelung der Messnetzdichte (also ca. 1000 Stationen in der Schweiz) eine Reduktion der absoluten Unsicherheiten um etwa 30 % erzielt werden. Die Verdichtung müsste dabei gleichmässig, also auch in schwer zugänglichen Gebirgsregionen erfolgen. Es ist fraglich ob der finanzielle Aufwand eines so massiven Ausbaus mit dem vergleichsweise bescheidenen Gewinn zu rechtfertigen ist. Die Zukunft liegt nach Ansicht der Autoren vielmehr in der noch weiteren Verbesserung der Analysemethoden, z. B. durch Berücksichtigung der Wetterlage, der noch besseren Kombination von Radar- und Stationsmessungen, dem Einbezug von Analysen aus numerischen Modellen oder der Kombination mit anderen Datensätzen.

Literatur:

Breinlinger R., Gamma P., Weingartner R. 1992: Kenngrössen kleiner Einzugsgebiete. Hydrologischer Atlas der Schweiz. Tafel 1.2.

Daly C., Gibson W.P., Taylor G.H., Johnson G.L., Pasteris P. 2002: A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. Climate Res., 22: 99–113.

Frei C., Schär C. 1998: A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. Int. J. Climatol., 18: 873–900.

Germann U., Joss J. 2004: Operational measurement of precipitation in mountainous terrain. In: Meischner P. (Ed.): Weather radar: Principles and advanced applications. Springer Verlag: 52–77.

Germann U., Berenguer M., Sempere-Torres D., Salvadè G. 2006a: Ensemble radar precipitation estimation – a new topic on the radar horizon. Proc. 4th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), Barcelona: 559–562.

Germann U., Galli G., Boscacci M., Bolliger M. 2006b: Radar precipitation measurement in a mountainous region. Q.J.R. Meteorol. Soc., 132: 1669–1692.

Joss J., Schädler B., Galli G., Cavalli R., Boscacci M., Held E., Della Bruna G., Kappenberger G., Nespor V., Spiess R. 1998: Operational Use of Radar for Precipitation Measurements in Switzerland. vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich. ISBN 3-7281-2501-6: 108 pp.

Joss J., Waldvogel A. 1990: Precipitation measurement and hydrology. In: Atlas D. (Ed.): Radar in Meteorology: Battan Memorial and 40th Anniversary Radar Meteorology Conference. Amer. Meteor. Soc.: 577–597.

MeteoSchweiz 2006: Starkniederschlagsereignis 2006. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 211: 63 S.

Neff E.L. 1977: How much rain does a rain gage gage? J. Hydrology, 35: 213–220.

Nespor V., Sevruk B. 1999: Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation. J. Atmos. Ocean. Techn., 16: 450–464.

Richter D. 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Bericht des Deutschen Wetterdienstes, 194: 93 S.

Rotach M., Appenzeller C., Bader S., Frei C., Germann U., Liniger M., Zbinden P. 2007: Meteorologie. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: S. 19–38.

Schwarb M. 2001: The Alpine Precipitation Climate Evaluation of a High-Resolution Analysis Scheme Using Comprehensive Rain-Gauge Data. Diss. ETH Zürich Nr. 13911, Zürcher Klimaschriften, 80: 138 pp.

Schwarb M., Daly C., Frei C., Schär C. 2001: Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–1990. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafeln 2.6 und 2.7.

Sevruk B. 1985: Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz. In: Sevruk B. (Ed.): Der Niederschlag in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, 31: 65–75.

Shepard D.S. 1984: Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorythm. In: Gaile G.L., Willmott C.J. (Ed.): Spatial Statistics and Models: 133–145.

Widmann M., Bretherton C.S. 2000: Validation of mesoscale precipitation in the NCEP reanalysis using a new gridpoint dataset for the northwestern US.J. Climate, 13: 1936–1950.

2 > Analyse hydrologischer Extremereignisse

Aufbauend auf dem Überblick im ersten Teil der Ereignisanalyse wird in diesem Kapitel die Analyse hydrologischer Extremereignisse vertieft. Dazu werden sowohl die statistischen Analysen als auch die Abflussprozesse betrachtet. Ausserdem wird das Grundwasser in die Betrachtung einbezogen und die Entwicklung der Hochwasserschäden in einem typischen Mittellandkanton untersucht.

2.1 Einleitung

Aussergewöhnliche Niederschläge erzeugen aussergewöhnliche Abflüsse. Spitzenwerte des Abflusses ergaben sich im August 2005 v. a. im Zentrum des Niederschlagsgebietes, d. h. in der Innerschweiz und im Berner Oberland. An 32 der 94 im betroffenen Gebiet liegenden Abflussmessstationen wurden neue Höchstwerte registriert. Herausragende Beispiele stellen die Engelberger Aa bei Buochs und die Sarner Aa bei Sarnen dar, wo im August 2005 der Abfluss jeweils rund das Doppelte des bisherigen Spitzenwerts betrug. Ausserordentlich waren im August 2005 auch die grossen Abflussvolumina innerhalb von 2–5 Tagen, die zu einem extrem raschen Anstieg der grossen Alpenrandseen führten. Dadurch erreichten v. a. der Sarner-, Brienzer-, Thuner- und Bielersee neue Rekordwasserstände.

Aussergewöhnlich hohe Abflüsse und Seestände

Deutlich ausserhalb des bisherigen Erfahrungsbereichs liegende Abflüsse und Seestände lassen sich mit herkömmlichen statistischen Methoden kaum einordnen. Zusätzlich erschwert wird die Einordnung, wenn bei grossen Hochwasserereignissen andere Abflussbildungs- und Konzentrationsprozesse als bei kleineren Niederschlagsmengen ablaufen. Schwierigkeiten bei der Einordnung entstehen aber auch, weil die Hochwasserstatistiken stark durch die hochwasserarme Periode des mittleren 20. Jahrhunderts beeinflusst sind. Diese Aspekte werden in Kap. 2.2.2 diskutiert.

Statistiken durch hochwasserarme Periode des mittleren 20. Jahrhunderts beeinflusst

Der erste Teilbericht zur Ereignisanalyse enthält eine Übersicht sowie eine erste Einordnung der im August 2005 beobachteten Abflüsse und Seestände. Ziel des zweiten Teils ist eine vertiefte Analyse der Entstehungsbedingungen aussergewöhnlicher Abflüsse, die sich erst durch aufwändige hydrologische Detailuntersuchungen identifizieren lassen. Beispiele dazu und Möglichkeiten ihrer statistischen Bearbeitung werden nachfolgend beschrieben. Für grössere Einzugsgebiete können – wie dies für das Beispiel der Aare bei Thun gezeigt wird – modellgestützte Sensitivitätsanalysen dazu beitragen, die Grösse aussergewöhnlicher Hochwasserabflüsse abzuschätzen (vgl. Kap. 2.3).

Vertiefte Analyse der Entstehungsbedingungen aussergewöhnlicher Abflüsse

Der Zusammenhang von Ereignisdauer und Zuflussvolumen ist ausschlaggebend für die Bewirtschaftung der Alpenrandseen bei Hochwasser. Um dafür eine objektive Grundlage zu schaffen wird in Kap. 2.4 die erstmals erstellte Volumenstatistik für die Alpenrandseen erläutert.

Volumenstatistik für die betroffenen Alpenrandseen

Grundwasserphänomene

In Kap. 2.5 werden beispielhaft die Phänomene aufgezeigt, die bei Grossereignissen wie 2005 durch und auf das Grundwasser wirken. Dazu wird die Relevanz des oberflächennahen Grundwassers hinsichtlich seines Schadenspotenzials und seiner qualitativen Beeinträchtigung aufgezeigt.

Entwicklung der Überschwemmungsschäden

Im abschliessenden Kap. 2.6 folgt die detaillierte Analyse der Überschwemmungsschäden von 1994, 1999 und 2005 im Kanton Aargau. Untersucht wurde u. a. die Schadenswirkung verschiedener Überschwemmungstypen (Überschwemmung durch Ausuferung von Fliessgewässern, durch Oberflächenabfluss oder Grundwasser).

2.2 Die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre

Felix Naef, Petra Schmocker-Fackel, Michael Margreth, Peter Kienzler, Simon Scherrer

2.2.1 Einführung

In zahlreichen Gebieten der Schweiz zählten die Hochwasser vom August 2005 zu den grössten seit Beginn der Abflussmessungen. Schon in den Jahren zuvor wurde eine Häufung von Hochwassern beobachtet. So traten in einigen Flüssen innerhalb weniger Jahre mehrere Ereignisse auf, die nach damaliger Hochwasserstatistik der Vorperiode als 100-jährlich oder noch seltener zu klassifizieren wären. Eine solche Häufung kann:

Häufung der Hochwasser kann zufällig sein, zyklisch oder langfristig zunehmen

- zufällig sein. Dann blieben die Annahmen der konventionellen Frequenzanalyse erfüllt und die damit hergeleiteten Ergebnisse gültig.
- zyklischen Charakter besitzen, so dass sich längere Perioden mit erhöhten Hochwasserhäufigkeiten mit ruhigeren Perioden ablösen. Solche Zyklen, müssten in einer Frequenzanalyse berücksichtigt werden, da 100-jährliche Hochwasser, je nach Länge und Lage der betrachteten Periode, unterschiedlich gross wären.
- Ausdruck kontinuierlich zunehmender Hochwasserhäufigkeiten als Folge einer längerfristigen Klimaänderung sein.

Behandelte Fragestellungen

Lässt sich erkennen, welcher Charakter der beobachteten Häufung zugrunde liegt und welche Konsequenzen sich für die Hochwasserstatistik und die Dimensionierung von Schutzmassnahmen ergeben? Mit den üblichen Verfahren (Frequenzanalyse, Trendanalyse, usw.) lassen sich diese Fragen nicht beantworten. Es wurde daher versucht, den Blickwinkel zu erweitern und die heutige Situation mit Erfahrungen der Vergangenheit zu vergleichen und zu bewerten. Zusätzlich konnte durch die Berücksichtigung jüngerer Forschungsergebnisse über die Abflussentstehung das Verhalten der Einzugsgebiete bei den aussergewöhnlich grossen Niederschlägen des Augusts 2005 besser erfasst werden.

Folgende Themen werden abgehandelt:

- > die Verteilung der Hochwasser im 20. Jahrhundert (Kap. 2.2.2)
- > die Verteilung der Hochwasser in den letzten 500 Jahren (Kap. 2.2.3)
- > die Reaktion von Einzugsgebieten auf Starkniederschläge (Kap. 2.2.4)
- > die Auswirkung der Häufung der Hochwasser der letzten 10 Jahre auf die Hochwasserstatistik als Folge eines zyklischen Verhaltens (Kap. 2.2.5)

2.2.2 Hochwasser im 20. Jahrhundert

Abb. 2.1 gibt einen Überblick über die Jahreshochwasser im 20. Jahrhundert von 103 Abflussmessstationen in der Schweiz. Dargestellt sind Stationen mit langen Messreihen in mittleren bis kleinen Einzugsgebieten. Diese Gebiete wurden elf Regionen zugeordnet (Abb. 2.2).

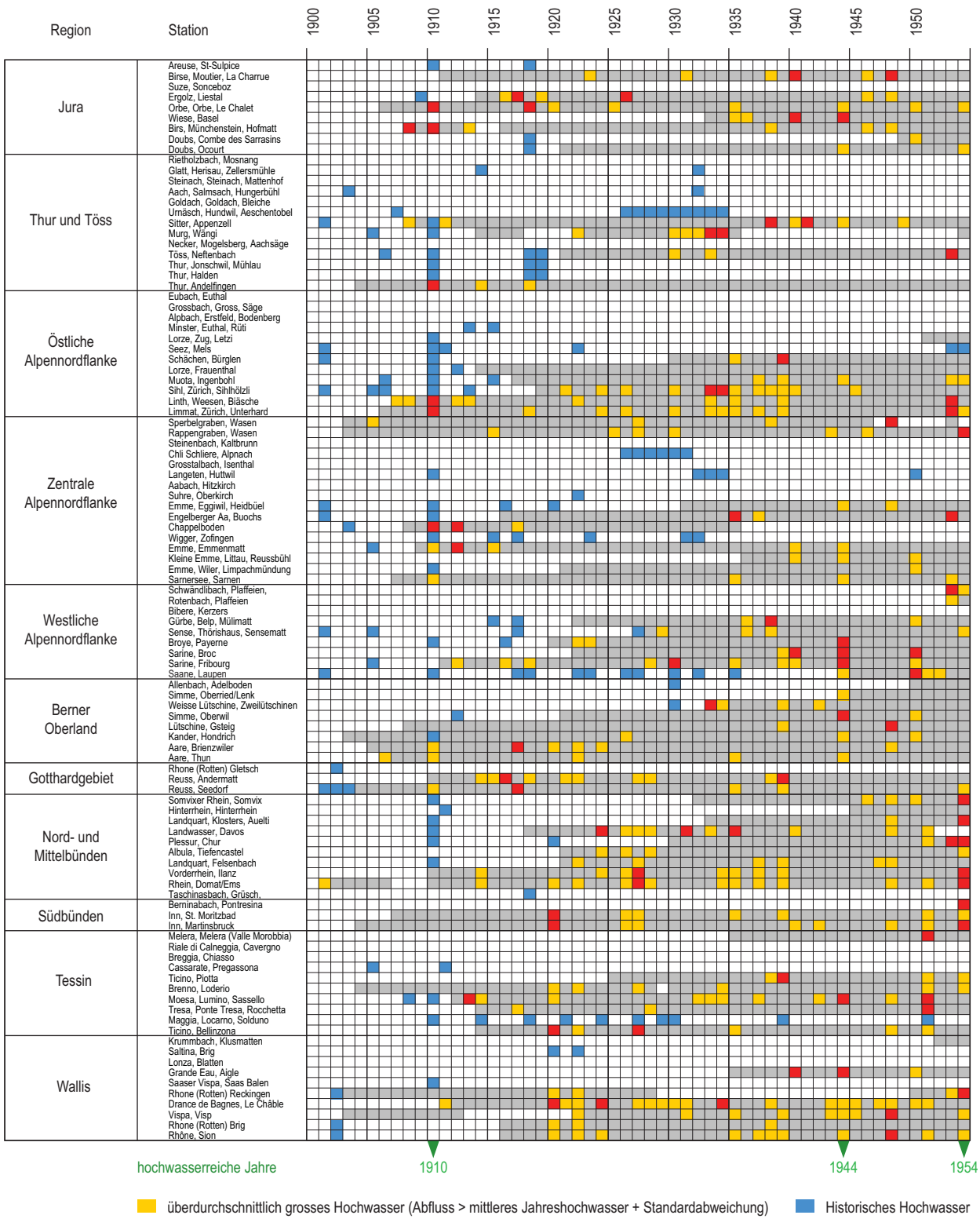
Hochwasser 2005 aussergewöhnlich

Rote Felder in Abb. 2.1 markieren die drei grössten Hochwasserabflüsse der Messperiode, gelbe Felder überdurchschnittlich grosse Hochwasser, die mindestens eine Standardabweichung über dem mittleren Jahreshochwasser liegen. Grosse bekannte Hochwasser vor Beginn der Abflussmessungen sind blau gekennzeichnet. Deutlich zu erkennen ist die aussergewöhnliche Stellung der Hochwasser vom August 2005. 46 Gebiete, beinahe die Hälfte aller Untersuchungsgebiete, waren davon betroffen. In 33 Gebieten war das Ereignis unter den drei grössten einzuordnen.

Hochwasser 1910 mit ähnlicher Ausdehnung

Ein Hochwasser mit ähnlicher Ausdehnung und Grösse wurde im 20. Jahrhundert nur noch im Juni 1910 beobachtet. Regional begrenzter sind die Hochwasser von 1954 (Nord- und Mittelbünden), 1977, 1978, 1999 (Nordostschweiz), 2000 (Wallis) und 2002 (Tessin). Die Hochwasser im Jahr 1987 wurden durch drei voneinander unabhängige Ereignisse verursacht.

Abb. 2.1 > Überblick über die Hochwasser in den 103 Einzugsgebieten im 20. Jahrhundert.



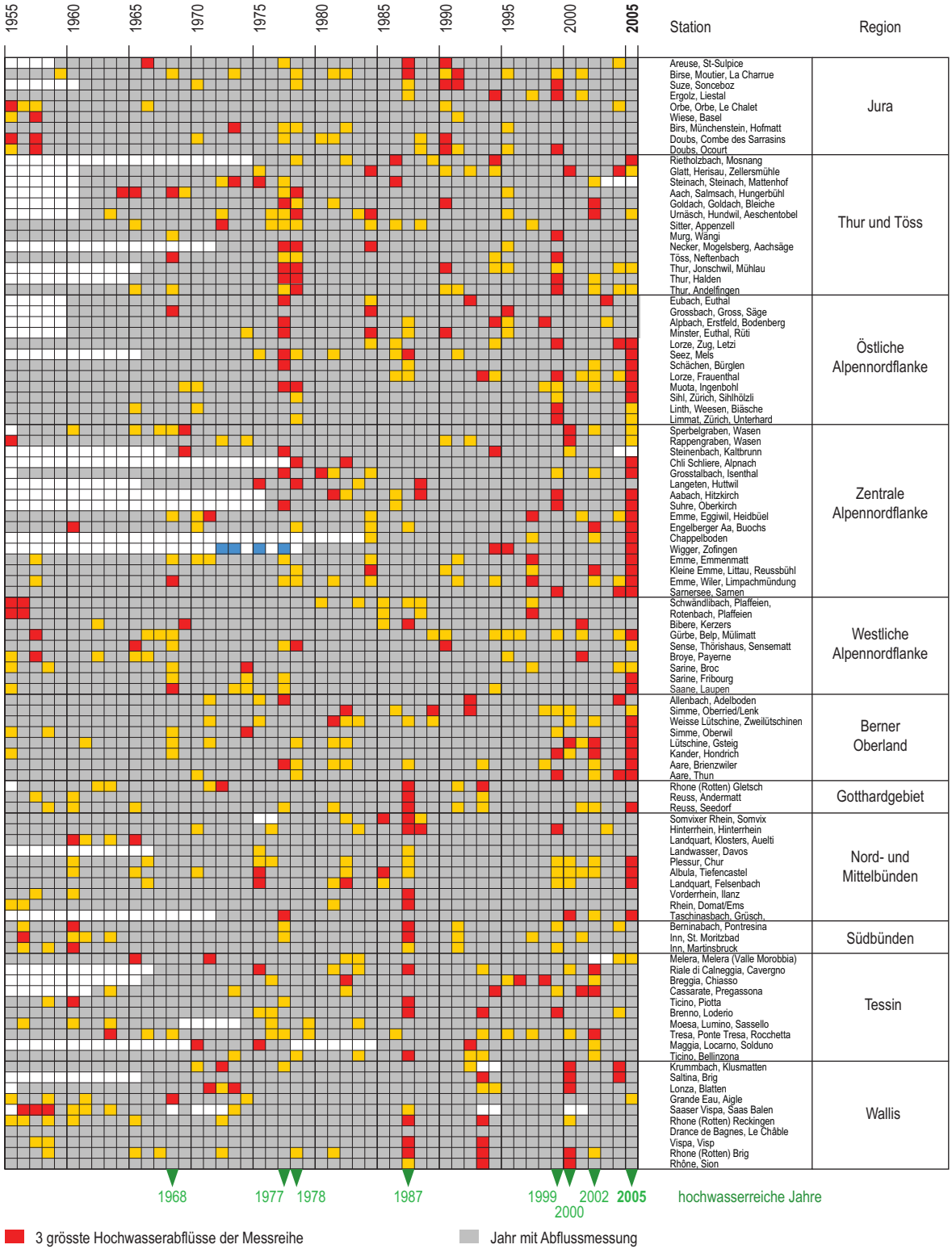
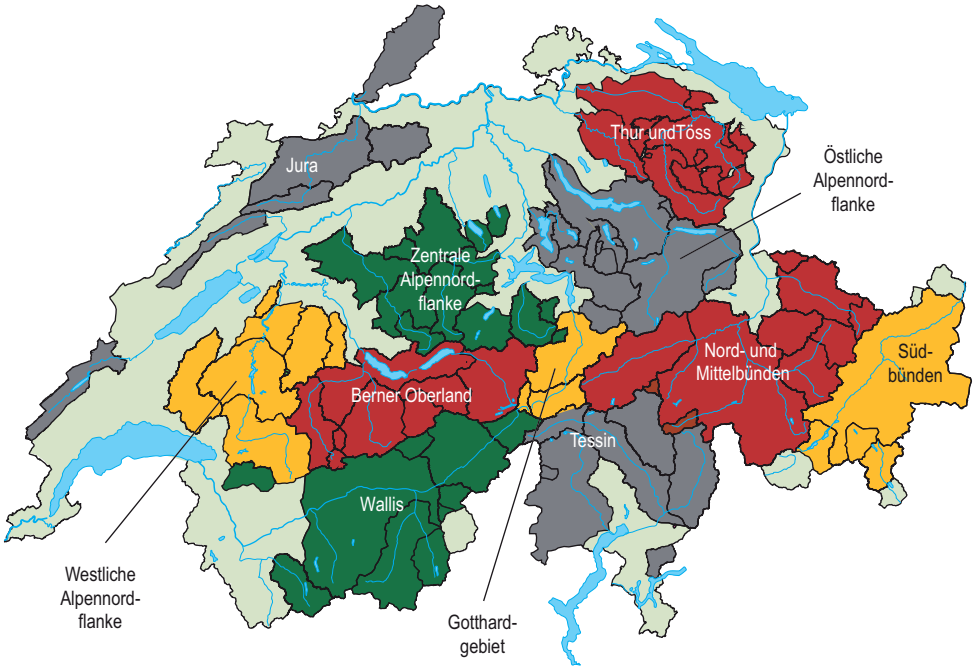

1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
Station
Region
Areuse, St-Sulpice
Birse, Moutier, La Charrue
Suze, Sonceboz
Ergolz, Liestal
Orbe, Orbe, Le Chalet
Wiese, Basel
Birs, Münchenstein, Hofmatt
Doubs, Combe des Sarrasins
Doubs, Ocourt
Jura
Rietholzbach, Mosnang
Glatt, Herisau, Zellersmühle
Steinach, Steinach, Mattenhof
Aach, Salmsach, Hungerbühl
Goldach, Goldach, Bleiche
Urnäsch, Hundwil, Aeschentobel
Sitter, Appenzell
Murg, Wängi
Necker, Mogelsberg, Aachsäge
Töss, Neftenbach
Thur, Jonschwil, Mühlau
Thur, Halden
Thur, Andelfingen
Thur und Töss
Eubach, Euthal
Grossbach, Gross, Säge
Alpbach, Erstfeld, Bodenberg
Minster, Euthal, Rüti
Lorze, Zug, Letzi
Seez, Mels
Schächen, Bürglen
Lorze, Frauenthal
Muota, Ingenbohl
Sihl, Zürich, Sihlhölzli
Linth, Weesen, Biäsche
Limmat, Zürich, Unterhard
Östliche Alpennordflanke
Sperbelgraben, Wasen
Rappengraben, Wasen
Steinenbach, Kaltbrunn
Chli Schliere, Alpnach
Grosstalbach, Isenthal
Langeten, Huttwil
Aabach, Hitzkirch
Suhre, Oberkirch
Emme, Eggiwil, Heidbüel
Engelberger Aa, Buochs
Chappelboden
Wigger, Zofingen
Emme, Emmenmatt
Kleine Emme, Littau, Reussbühl
Emme, Wiler, Limpachmündung
Sarnersee, Sarnen
Zentrale Alpennordflanke
Schwändlibach, Plaffeien,
Rotenbach, Plaffeien
Bibere, Kerzers
Gürbe, Belp, Mülimatt
Sense, Thörishaus, Sensematt
Broye, Payerne
Sarine, Broc
Sarine, Fribourg
Saane, Laupen
Westliche Alpennordflanke
Allenbach, Adelboden
Simme, Oberried/Lenk
Weisse Lütschine, Zweilütschinen
Simme, Oberwil
Lütschine, Gsteig
Kander, Hondrich
Aare, Brienzwiler
Aare, Thun
Berner Oberland
Rhone (Rotten) Gletsch
Reuss, Andermatt
Reuss, Seedorf
Gotthardgebiet
Somvixer Rhein, Somvix
Hinterrhein, Hinterrhein
Landquart, Klosters, Auelti
Landwasser, Davos
Plessur, Chur
Albula, Tiefencastel
Landquart, Felsenbach
Vorderrhein, Ilanz
Rhein, Domat/Ems
Taschinasbach, Grüsch,
Nord- und Mittelbünden
Berninabach, Pontresina
Inn, St. Moritzbad
Inn, Martinsbruck
Südbünden
Melera, Melera (Valle Morobbia)
Riale di Calneggia, Cavergno
Breggia, Chiasso
Cassarate, Pregassona
Ticino, Piotta
Brenno, Loderio
Moesa, Lumino, Sassello
Tresa, Ponte Tresa, Rocchetta
Maggia, Locarno, Solduno
Ticino, Bellinzona
Tessin
Krummbach, Klusmatten
Saltina, Brig
Lonza, Blatten
Grande Eau, Aigle
Saaser Vispa, Saas Balen
Rhone (Rotten) Reckingen
Drance de Bagnes, Le Châble
Vispa, Visp
Rhone (Rotten) Brig
Rhône, Sion
Wallis
1968
1977
1978
1987
1999
2000
2002
2005
hochwasserreiche Jahre
3 grösste Hochwasserabflüsse der Messreihe
Jahr mit Abflussmessung

Abb. 2.2 > Die 103 Einzugsgebiete wurden in die dargestellten elf geographischen Regionen aufgeteilt.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606-01 c 2004 swisstopo)

Regionen unterschiedlich betroffen

Wie Abb. 2.1 zeigt, verhalten sich die Regionen unterschiedlich. In einigen Regionen traten nach 1975 deutlich mehr Hochwasserereignisse auf als in den 30 Jahren davor (z. B. östliche und zentrale Alpennordflanke, Thur und Töss). In anderen Regionen trat diese Häufung in den letzten 20 (z. B. Wallis, Tessin) oder 10 Jahren (z. B. Berner Oberland) auf. Andere Regionen wiederum zeigen keine Häufung (Westliche Alpennordflanke, Gotthardgebiet, Nord- und Mittelbünden, Südbünden und Jura).

2.2.3 Historische Hochwasser

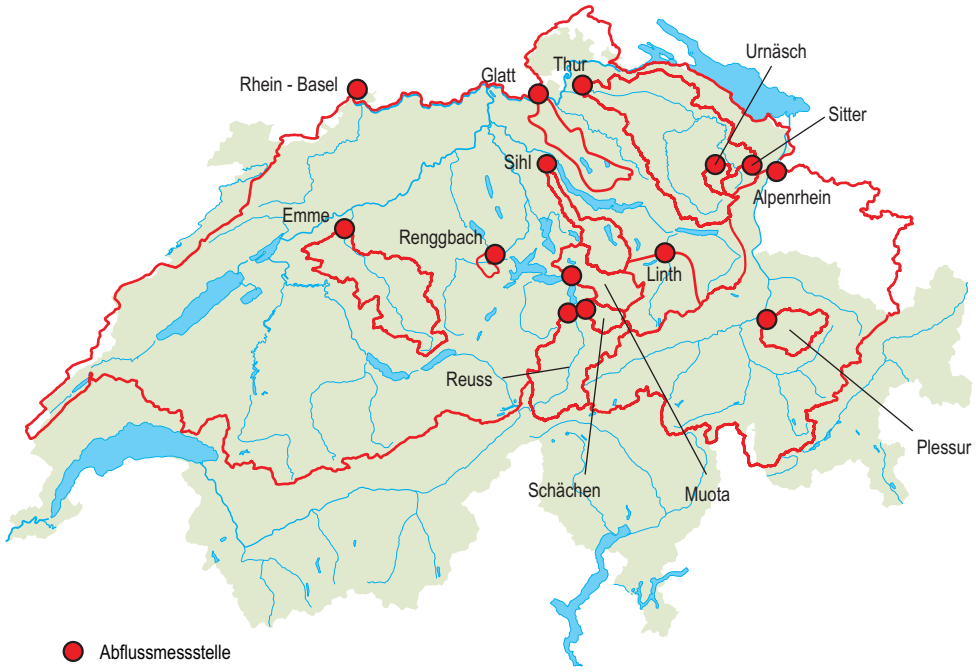
In historischen Berichten (z. B. Chroniken, Tagebüchern, Briefen, Pfarrbüchern) wird oft von Hochwassern und Hochwasserschäden berichtet. Diese Berichte erlauben es, die Hochwasserhäufigkeiten in der Vergangenheit zu untersuchen und Informationen über die Entstehung (z. B. welche Art von Niederschlag führte zu Hochwasser, welche Teileinzugsgebiete trugen besonders bei) und Ablauf von Hochwassern zu gewinnen. Bei den Auswertungen ist zu berücksichtigen, dass historische Berichte über Hochwasser meist subjektiv, unterschiedlich im Informationsgehalt und unvollständig sind. Mit einer sorgfältigen Analyse lässt sich jedoch mit diesen Daten die Hochwassergeschichte über mehrere hundert Jahre rekonstruieren.

Berichte über Hochwasser der letzten 500 Jahre

Für 14 Schweizer Einzugsgebiete (Abb. 2.3) wurden historische Hochwasser aus der Chronik der Unwetterschäden von Röthlisberger (1991), der Weikinn Quellensammlung (Weikinn, 1958 bis 2002) und den Arbeiten von Gees (1997), Pfister (1984, 1998) und Schaub et al. (1990) ausgewertet. Berücksichtigt wurden Ereignisse, die in diesen Quellen als schadensverursachende Hochwasser erwähnt wurden.

Ab welchem Abfluss Schäden auftreten, variiert zwischen den Gebieten und hängt von hydraulischen Gegebenheiten und dem Schadenspotenzial ab. Abhängig von der Höhe des schadensverursachenden Abflusses wurden also mehr oder weniger Hochwasserereignisse überliefert. Deshalb kann die absolute Anzahl der Hochwasser in verschiedenen Gebieten nicht miteinander verglichen werden, wohl aber deren zeitliches Auftreten.

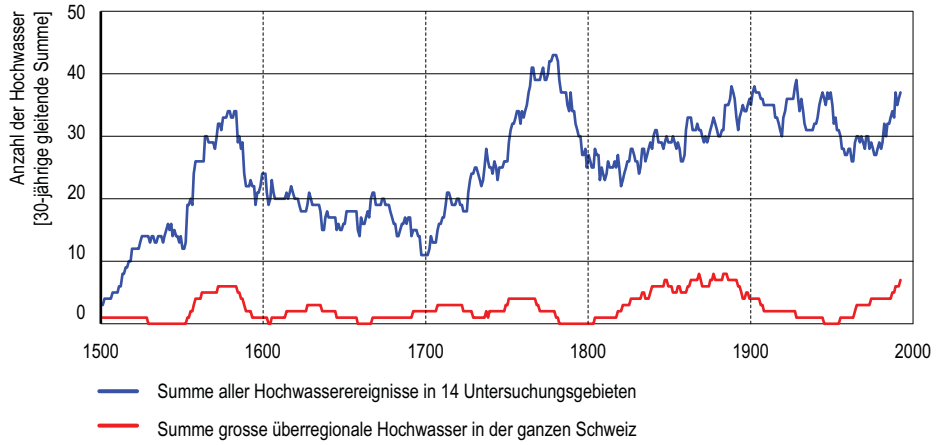
Abb. 2.3 > Einzugsgebiete, für die Daten zu historischen Hochwassern erhoben wurden.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606-01 c 2004 swisstopo)

In Abb. 2.4 ist die Summe aller Hochwasser der 14 Gebiete und grosser überregionaler Hochwasser in der ganzen Schweiz über gleitende 30 Jahresperioden dargestellt. Abb. 2.5 zeigt die Hochwasserhäufigkeiten in ausgewählten Untersuchungsgebieten.

Abb. 2.4 > Summe aller Hochwasserereignisse in den 14 Untersuchungsgebieten und Summe grosser überregionaler Hochwasser in der ganzen Schweiz (jeweils 30-jährige gleitende Häufigkeit).

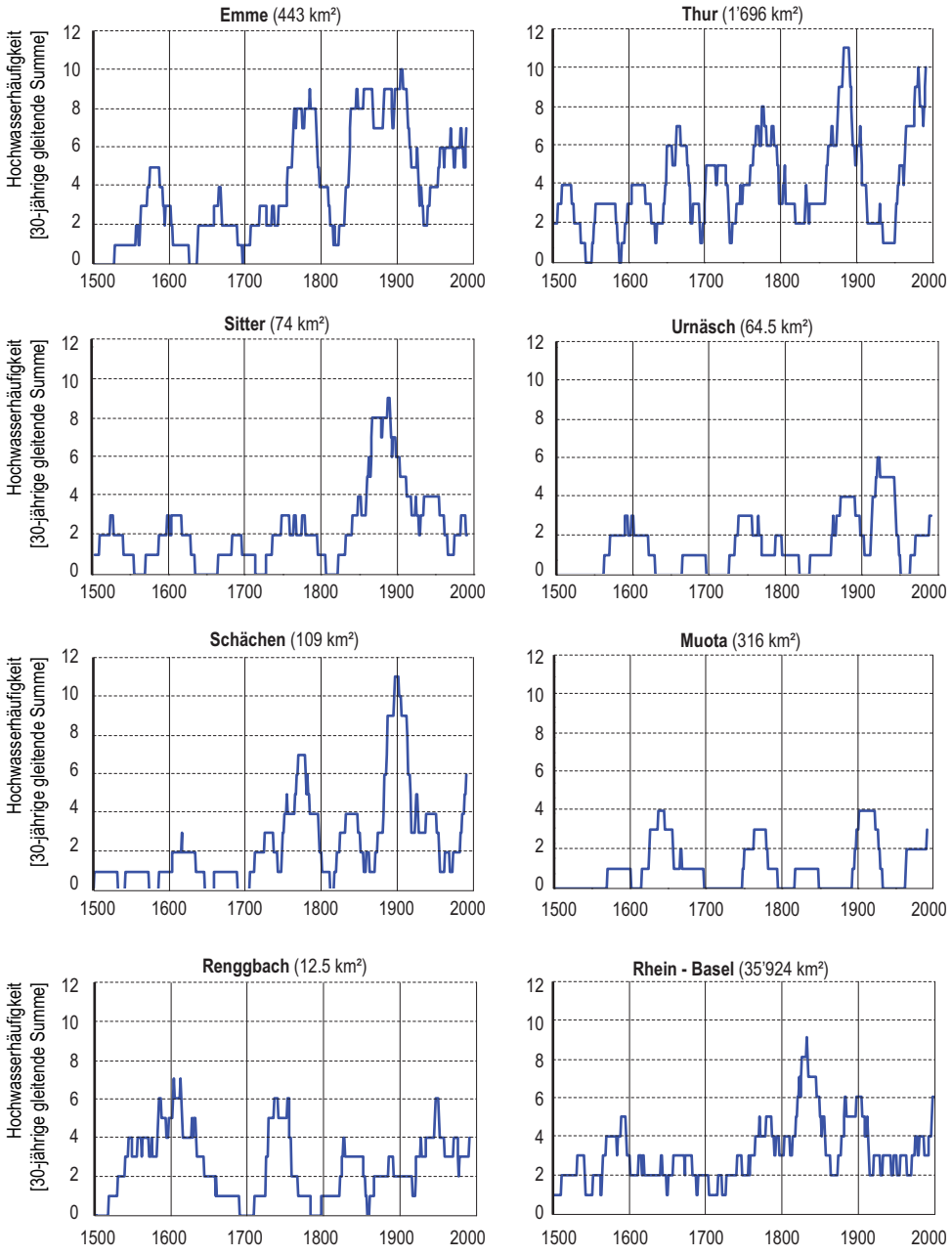


Die geringere Anzahl Hochwasser in Abb. 2.4 vor 1750 dürfte auf Datenlücken zurückzuführen sein und begründet keinen echten Trend. Die Schwankungen der Hochwasserhäufigkeiten innerhalb der Zeitreihe lassen sich jedoch nicht mit Datenlücken erklären.

Zyklischer Verlauf der Hochwasserhäufigkeit

- In allen Gebieten, ob klein oder gross, wechseln hochwasserreiche mit hochwasserarmen Phasen ab. Eine zyklische Komponente der Hochwasserhäufigkeiten ist also in den historischen Daten vorhanden.
- Die Ursachen dieser Schwankungen sind noch nicht geklärt. Verschiedene Autoren lieferten dazu erste Ideen. So postulieren Benito et al. (2003) in Spanien einen Zusammenhang zwischen hochwasserreichen Phasen und den ersten und letzten Jahrzehnten einer globalen Klimaperiode. Sturm et al. (2001) fanden für deutsche Flüsse eine Beziehung zwischen hochwasserreichen Phasen und Veränderungen im grossräumigen Muster der atmosphärischen Zirkulation.
- Hochwasserreiche und ruhige Phasen verlaufen in einigen Gebieten ähnlich (z. B. in Sitter, Thur und Emme oder in Muota und Schächen) in anderen individuell (z. B. Renggbach und Urnäsch). Die Phasen spiegeln also sowohl die grossklimatischen Bedingungen wie auch die unterschiedlichen Prozesse der Hochwasserentstehung in den einzelnen Gebieten wieder. Nicht zuletzt spielt bei der Hochwasserentstehung auch der Zufall eine Rolle.
- Fast alle Gebiete zeigen eine grosse Hochwasserhäufigkeit in den Perioden von 1560–1590, 1740–1790 und 1870–1930. Ruhigere Phasen traten zwischen 1690 und 1740, 1800 und 1830 und in der Mitte des 20. Jahrhunderts auf. In den letzten 30 Jahren stieg die Hochwasserhäufigkeit erneut an.
- Die Zunahme der Hochwasserhäufigkeiten der letzten Jahre liegt immer noch im Bereich früherer hochwasserreicher Phasen.

Abb. 2.5 > Anzahl Hochwasser (30-jährige gleitende Häufigkeit) in ausgewählten Untersuchungsgebieten.



2.2.4 Reaktion der Einzugsgebiete

Nichtlineares Verhalten bei extremen Hochwassern ...

Selbst bei so aussergewöhnlichen Niederschlägen wie im August 2005 ist die Speicherfähigkeit der Böden und des Untergrundes nicht überall erschöpft. Solange wesentliche Flächen in einem Einzugsgebiet noch Wasser zurückhalten können, reagiert es verzögert. Wenn seine Speicher gefüllt sind, reagiert es wesentlich stärker. Extreme Hochwasser können durch dieses nichtlineare Verhalten so stark vergrössert werden, dass sie sich in einer Frequenzanalyse nicht richtig einordnen lassen. Es ist deshalb von Bedeutung zu erkennen, ab welchen Niederschlagsmengen in einem Einzugsgebiet kaum mehr Wasser zurückgehalten werden kann.

... auch in alpinen Gebieten möglich

Allgemein wird angenommen, dass sich diese Problematik in steilen, gebirgigen Einzugsgebieten nicht stellt, da sie nur wenig Wasser speichern können und generell rasch reagieren. Tab. 2.1 zeigt jedoch auf, dass zahlreiche gebirgige Einzugsgebiete gedämpft reagieren.

Tab. 2.1 > Spezifische Abflüsse bei den grössten Hochwassern in gebirgigen Einzugsgebieten.

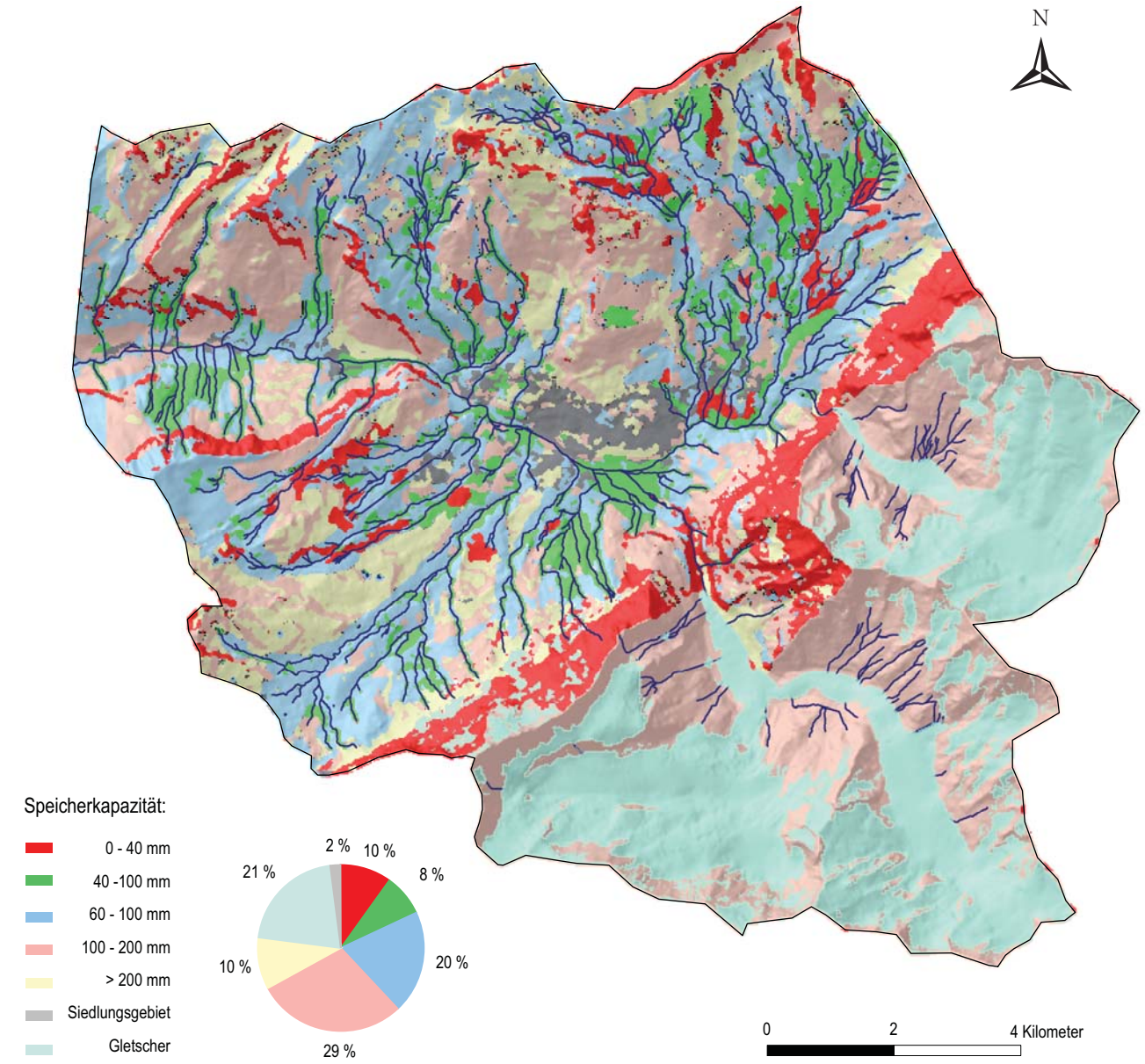
Auf der linken Seite sind rasch reagierende Gebiete aufgeführt, auf der rechten Seite Gebiete vergleichbarer Grösse mit speicherfähigen Böden und durchlässigem Untergrund (Varuna: ohne Murgang 1987; Engelberger Aa: grösstes Hochwasser vor 2005 und Hochwasser 2005).

Einzugsgebiet mit kleinem Speichervermögen	Fläche [km²]	Grösster Abfluss [m³/s km²]	Einzugsgebiet mit grossem Speichervermögen	Fläche [km²]	Grösster Abfluss [m³/s km²]	
Grossbach	9	10	Varuna	5	0.5	
Minster	59	3.5	Dischma	43	0.4	
Necker	88	3.6	Schächen	109	1.3	
Reuss	192	1.5	Engelberger Aa	227	1960	0.6
					2005	1.0
			Weisse Lütschine	164	0.7	
Emme	443	1.1	Vereinigte Lütschine	379	0.6	

Abflussprozesskarten

Abflussprozesskarten sind ein effizientes Werkzeug, um die Speicherfähigkeit und die Abflussbereitschaft eines Gebietes zu erfassen. Unter Verwendung detaillierter digitaler Informationen zu Bodenbeschaffenheit, Geologie, Landnutzung und zum Relief (digitales Höhenmodell) lassen sich diese automatisch im GIS herleiten (Schmocker-Fackel et al, 2007; Naef et al., 2007). Das Verfahren wurde nun erweitert, so dass sich auch Karten für alpine Einzugsgebiete herleiten lassen. Diese neu entwickelte Methodik wurde verwendet, um die unterschiedlichen Reaktionsweisen beim Hochwasser 2005 zu erklären.

Abb. 2.6 > Für das Einzugsgebiet der Schwarzen Lütschine automatisch hergeleitete Abflussprozesskarte, die das Speichervermögen des Bodens und des Untergrundes widerspiegelt.



Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081421)

Abflussprozesskarten erklären Reaktionsweise

So lässt sich anhand der Abflussprozesskarte die gedämpfte Reaktion der Schwarzen Lütschine erklären (Abb. 2.6). Aus der Karte ist ersichtlich, dass 60 % des Einzugsgebietes erst nach 100 mm Niederschlag wesentlich zum Abfluss beitragen. Neben Gletschern und Einzugsgebieten, die in Gletscher entwässern, handelt es sich bei diesen Flächen um Gehängeschutt, Bergsturzablagerungen, locker gelagerte Moränen, Bachschutt und zu Verkarstung neigende Kalksteine. Undurchlässige oder gesättigte

Böden auf Schieferformationen oder dicht gelagerte Moränen mit einer Speicherkapazität von 0 bis 40 mm, die rasch zur Hochwasserbildung beitragen, nehmen nur 10 % der Einzugsgebietsfläche ein. Gebiete mit Speichervolumen von 40–100 mm bzw. 60–100 mm reagieren leicht verzögert und bedecken rund 28 % des Einzugsgebietes an leicht stau-, grund- oder hangwassergeprägten Standorten.

Mit zunehmendem Niederschlag tragen immer grössere Flächen zum Abfluss bei. Abflussprozesskarten erlauben es nun, die Entwicklung des Abflusskoeffizienten in Abhängigkeit des gefallenen Niederschlages darzustellen (Schmocker-Fackel et al., 2007). In Abb. 2.7 sind die auf der Basis der Abflussprozesskarten berechneten Abflusskoeffizienten für die Lütschine und den Schächen dargestellt und den beim Hochwasser 2005 beobachteten gegenübergestellt. Bei der Lütschine stimmen die berechneten und gemessenen Abflusskoeffizienten recht gut überein. Der Schächen reagiert jedoch gedämpfter, als sich aufgrund der oberflächennahen Speicher herleiten lässt. Erst gegen Ende des Ereignisses steigt der Abflusskoeffizient stark an. Dieses Verhalten lässt sich auf unterirdische Entwässerung (SubSurface Flow SSF) zurückführen.

Abb. 2.7 > Aus den Abflussprozesskarten hergeleitete Volumenabflusskoeffizienten (VAK) für die Lütschine und den Schächen als Funktion des gefallenen Niederschlages im Vergleich zu dem beim Hochwasser 2005 beobachteten Verlauf.

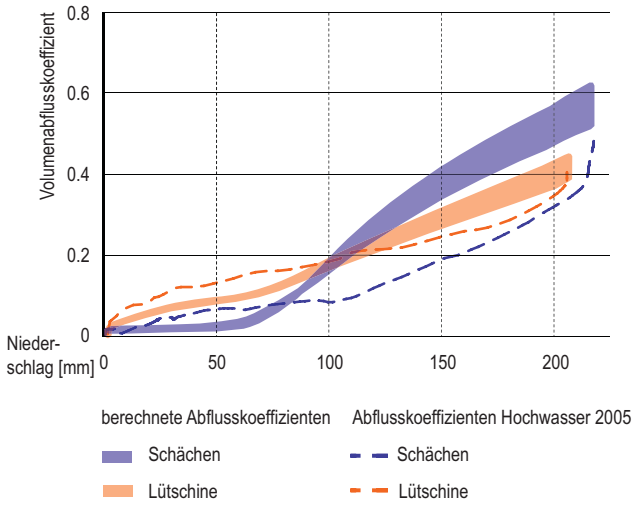
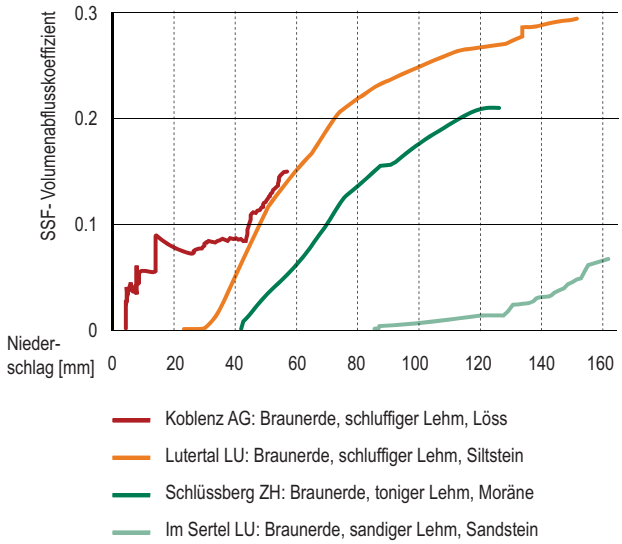


Abb. 2.8 > Exemplarische Beispiele für die Entwicklung des Subsurface Flow (SSF) in Abhängigkeit des Niederschlages. Der Verlauf des SSF wird durch die Beschaffenheit des Bodens und des geologischen Untergrundes bestimmt (aus Kienzler und Naef, 2007).



Subsurface Flow beeinflusst Gebietsverhalten

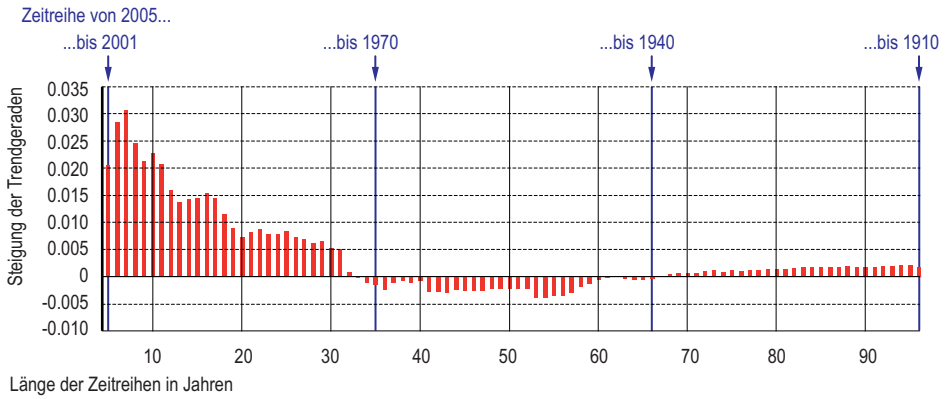
Die Untersuchungen haben gezeigt, dass auch in gebirgigen Einzugsgebieten Hochwasser durch kurzfristige Speicherung des Niederschlages im Boden und im darunter liegenden Gestein gedämpft werden können. Bei grossen Durchlässigkeiten des Untergrundes und grossem Gefälle können sich diese Speicher durch den Subsurface Flow jedoch wieder rasch entleeren. Der Anteil an zerklüftetem Festgestein, das dafür geeignet ist, wird im Schächen auf über 40 % geschätzt, in der Lütschine liegt er mit 18 % deutlich niedriger. Damit lassen sich die Unterschiede in Abb. 2.7 erklären.

Der Subsurface Flow kann, wie Abb. 2.8 zeigt, sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Das Zusammenspiel zwischen Speicherung und Drainage der unterirdischen Speicher bestimmt, wie sich ein Einzugsgebiet bei extremen Niederschlägen in der Zukunft verhalten wird. Beregnungsversuche an unterschiedlichen Testhängen im Schweizerischen Mittelland haben gezeigt, dass der Subsurface Flow nach einer standortspezifischen Niederschlagsmenge einsetzt und eine standortspezifische maximale Abflussrate erreicht (Kienzler und Naef, 2007). Diese Parameter werden durch die Eigenschaften des Bodens und des geologischen Untergrundes gesteuert.

2.2.5 Statistik

Bei der Festlegung von Bemessungsgrössen im Hochwasserschutz sowie bei der Gefahrenbeurteilung kommt der Ermittlung der Eintretenswahrscheinlichkeit (Wiederkehrdauer) eines bestimmten Abflusses eine grosse Bedeutung zu. Die Grösse dieser Abflüsse wird durch statistische Auswertung langjähriger Abflussmessreihen ermittelt. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Hochwasser zufällig über die Zeit verteilt sind und bei extremen Niederschlägen keine grundsätzlichen Änderungen im Abflussverhalten auftreten. Wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt, werden diese Annahmen durch die Ereignisse der letzten Jahre in Frage gestellt.

Abb. 2.9 > Überblick über die Steigungen der Trendgeraden für den Sperbelgraben bei Wasen BE für Zeitreihen mit zunehmender Länge von 5 (2001–2005) bis 95 Jahren (1911–2005). Trendanalysen sind ungeeignet, um einen zyklischen Verlauf der Häufigkeiten aufzudecken. Für kurze Zeitreihen zeigt sich ein starker Trend, der mit zunehmender Länge praktisch verschwindet.



Trendanalyse ungeeignet bei zyklischem Verhalten

Mit Trendanalysen lässt sich untersuchen, ob sich das Abflussverhalten über eine längere Periode kontinuierlich ändert. Zahlreiche Studien haben sich in den letzten Jahren mit dieser Frage beschäftigt, die Resultate dieser Studien sind jedoch widersprüchlich. Ein Grund dafür dürfte das in dieser Untersuchung zutage getretene zyklische Verhalten sein: In einer Phase mit zunehmenden Hochwasserhäufigkeiten ergibt sich bei kurzen Messreihen ein starker Trend. Bei Messreihen, die sich über einen oder mehrere Zyklen erstrecken, wird der Trend immer schwächer (Abb. 2.9), obwohl sich die Häufigkeiten über die Zeit stark ändern.

Frequenzanalyse Reuss verändert sich kaum

Wie sich die Änderungen der Häufigkeiten auf die Frequenzanalysen auswirken, soll an den Beispielen Reuss und Lütschine aufgezeigt werden. Die Reuss bei Andermatt erlebte 1987 ein aussergewöhnliches Ereignis, seither traten jedoch keine extremen Hochwasser mehr auf. Die Frequenzanalysen für die Zeit von Messbeginn im Jahre 1910 bis 1986 und für die Zeit von 1910 bis 2007 unterscheiden sich deshalb kaum und das 100-jährliche Hochwasser bleibt unverändert (Abb. 2.10). Die Reuss steht für die nicht unbedeutende Zahl von Gebieten, die durch die Häufung von Hochwassern der letzten Jahre wenig betroffen war.

Grosse Veränderungen bei der Lütschine

Auf der anderen Seite repräsentiert die Lütschine Gebiete mit grosser Hochwasseraktivität. Dort traten seit 1999 sechs grosse Ereignisse auf, die in der Frequenzanalyse ihre Spuren hinterlassen haben (Lehmann und Naef, 2007). So ergibt die Auswertung der Abflussreihe von 1920 bis 1998 ein 100-jährliches Hochwasser von 190 m³/s; in der gesamten Reihe bis 2007 entspricht dieser Wert nur noch einem 30-jährlichen Ereignis.

Abb. 2.10 > Frequenzanalyse für die Reuss bei Andermatt. Dargestellt sind die Pearson III Auswertungen für die gesamte Messreihe von 1910–2007 und für die Zeit ohne die grossen Hochwasser von 1910–1986.

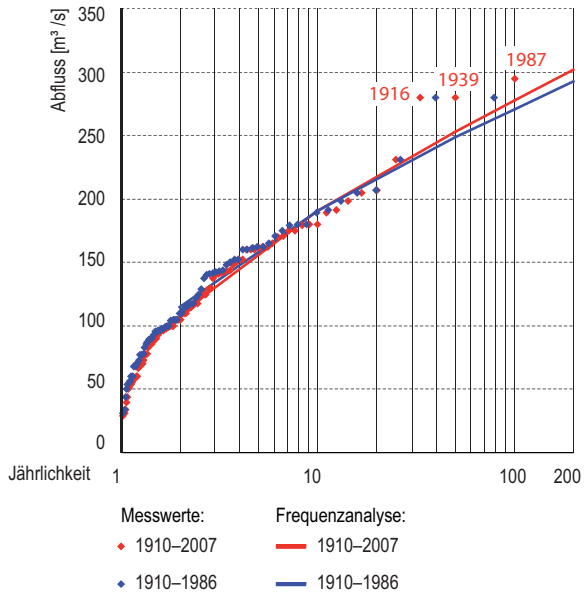
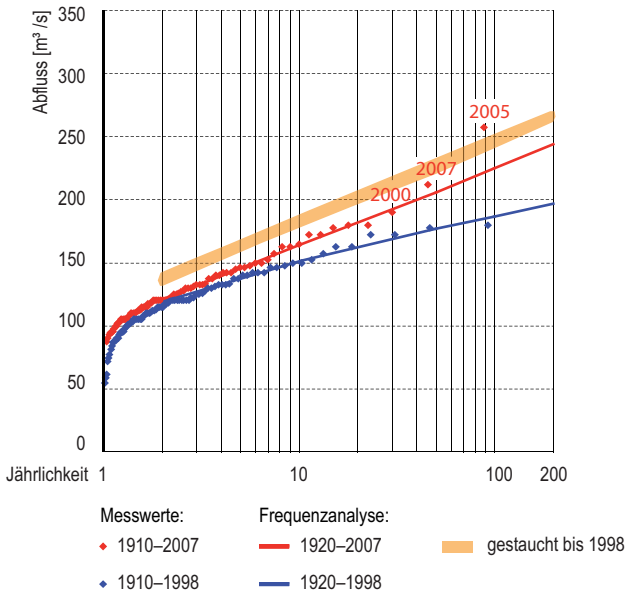


Abb. 2.11 > Frequenzanalyse für die Lütschine bei Gsteig. Dargestellt sind die log-Pearson III Auswertungen für die gesamte Messreihe von 1920–2007 und für die Zeit ohne die grossen Hochwasser von 1920–1998. Der orange Bereich zeigt eine Auswertung, in der die hochwasserarmen Zeiten mit geringerem Gewicht berücksichtigt werden.



Nach verbreiteter Meinung führen lange Messreihen zu zuverlässigeren Schätzungen der Grösse extremer Hochwasser. Die Studie über historische Hochwasser (Kap. 2.2.3) zeigt jedoch, dass sich Hochwasserhäufigkeiten in Perioden von mehreren Jahrzehnten um den Faktor 2 bis 3 unterscheiden können. Da die vorhandenen langen Messreihen zum grossen Teil in die ruhigere Periode Mitte des 20. Jahrhunderts fallen, spiegeln sie die erhöhten Häufigkeiten einer aktiveren Zeit nur gedämpft wieder. Diese erhöhten Häufigkeiten lassen sich berücksichtigen, indem den hochwasserarmen Zeiten durch Stauchung um den Faktor 2 bis 3 ein reduziertes Gewicht zugewiesen wird. Im Fall der Lütschine erhält so das auf der Periode 1920 bis 1998 basierende 100-jährliche Hochwasser nur noch eine Wiederkehrperiode von etwas über 10 Jahren (Abb. 2.11).

Prozessänderungen können Statistik beeinflussen

Wie sind diese unterschiedlichen Häufigkeiten einzuordnen? Diese Frage wird verschärft durch die Erkenntnisse über die Abflussprozesse (Kap. 2.2.4): Die im Gebiet der Lütschine vorhandenen Speicher bewirkten bei den bisherigen Niederschlagsereignissen eine gedämpfte Reaktionsweise, so dass sich Hochwasser mit Jährlichkeiten zwischen 20 und 100 Jahren nur wenig unterscheiden (Abb. 2.11). Wenn jedoch die Kapazität dieser Speicher bei zukünftigen Ereignissen erschöpft wird, werden sich Abflüsse einstellen, die die statistisch ermittelten Werte übersteigen.

2.2.6 Folgerungen

Zahlreiche Einzugsgebiete wurden in den letzten Jahren von schweren Hochwassern heimgesucht, wobei 2005 die grössten Schäden auftraten. Wie lassen sich die Geschehnisse der letzen Jahre in die Hochwassergeschichte einordnen und was lässt sich für die weitere Entwicklung ableiten?

Der Überblick über die Hochwasser im 20. Jahrhundert zeigt die grosse Intensität und Ausdehnung des Ereignisses von 2005. Er zeigt aber auch, dass dieses nicht einzigartig ist. Von seiner Ausdehnung her ist es mit dem Ereignis 1910 vergleichbar.

Gemäss der Zusammenstellung der historischen Hochwasser wechseln sich über die Jahrhunderte Perioden mit erhöhter Hochwasserhäufigkeit mit ruhigeren Perioden ab. Der mittlere Teil des 20. Jahrhunderts war eher ruhig, seit Ende des 20. Jahrhunderts erhöhten sich die Frequenzen stark. Bisher sprengen diese aber nicht den Rahmen früherer intensiver Perioden. Häufungen von Hochwassern sind auch bei rein zufälliger Verteilung zu erwarten. Die Regelmässigkeit mit der dies über die Jahrhunderte geschah deutet jedoch auf zyklische Komponenten hin. Die heutigen Erfahrungen und Messreihen sind wesentlich durch die vorangehende ruhigere Periode in der Mitte des 20. Jahrhunderts geprägt. Auch aus diesem Grund wird die jetzige Häufung als so ungewöhnlich erlebt.

Bei einem zyklischen Verlauf wie er in der Vergangenheit beobachtet wurde, wäre zu erwarten, dass sich die Häufigkeiten in den kommenden Jahren zurückbilden. Wie stark die Zunahme der letzten Jahre jedoch durch die Klimaänderung verschärft wurde und wie sich diese in Zukunft auswirken wird, lässt sind aufgrund der hydrologischen Daten zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht feststellen.

Neue Erkenntnisse ergaben die Untersuchungen über die Abflussprozesse: Hochwasser werden in steilen, gebirgigen Einzugsgebieten oft wesentlich durch kurzfristige Speicherung des Niederschlages im Boden und dem darunter liegenden Gestein gedämpft. Bei grossen Durchlässigkeiten und grossem Gefälle können sich diese Speicher durch unterirdische Drainage (SSF) wieder rasch entleeren. Das Zusammenspiel von Speicherung und Drainage bestimmt die Wirkungsweise dieser Speicher. Es kann dazu führen, dass bei ungünstigen Kombinationen wesentlich grössere Abflüsse entstehen, die sich dann in der Frequenzanalyse als Ausreisser präsentieren. Solche potenziellen Änderungen im Abflussverhalten lassen sich durch die Untersuchung der Abflussprozesse erkennen.

Auswirkungen von Gebiet zu Gebiet verschieden

Die Auswirkungen der erhöhten Hochwasserhäufigkeiten und der Änderungen des Abflussverhaltens bei seltenen Hochwasserereignissen lassen sich mit den hier vorgestellten Methoden bewerten. Sie sind von Gebiet zu Gebiet verschieden. Die Ergänzung von Messreihen mit historischen Informationen ermöglicht eine Eingrenzung der mit jeder statistischen Einordnung verbundenen Unsicherheiten.

2.3 Modellgestützte Sensitivitätsanalysen

Jan Schwanbeck, Daniel Viviroli, Rolf Weingartner, mit Beiträgen von Christoph Frei und Andreas Schumann

2.3.1 Einführung

Nach einem sehr grossen Hochwasserereignis, wie jenem vom August 2005, stellt sich stets die Frage, wie aussergewöhnlich das aufgetretene Ereignis war oder – mit dem Blick in die Zukunft – wie wahrscheinlich eine Wiederkehr eines ähnlich grossen oder eines noch grösseren Hochwassers ist. Die Beantwortung der beiden Aspekte wird in der vorliegenden Untersuchung mit zwei unabhängigen Methoden angegangen.

Differenzierte statistische Analyse

Im ersten Teil werden die Möglichkeiten *saisonal differenzierter extremwertstatistischer Analysen* zur Ermittlung realistischer Jährlichkeiten von Hochwassern auf der Basis von repräsentativen nordalpinen Einzugsgebieten analysiert. Hierbei stehen methodische Aspekte im Vordergrund.

Modellbasierte Sensitivitätsanalyse

Im zweiten Teil gelangt ein *prozessorientiertes hydrologisches Modellsystem* zum Einsatz, um mittels Sensitivitätsuntersuchungen zu ermitteln, ob und in welchem Ausmass noch grössere Hochwasser als jenes vom August 2005 auftreten könnten. Dieser Teil der Untersuchungen ist räumlich auf das Berner Oberland, konkret auf den Pegel Aare-Thun, fokussiert.

2.3.2 Differenzierte statistische Analyse

Statistische Einordnung grosser Hochwasser problematisch

Die statistische Einordnung aussergewöhnlicher Hochwasser, also die Zuweisung von Jährlichkeiten, stellt nach wie vor ein grosses methodisches Problem dar. Solche Ereignisse werden durch relativ seltene meteorologische Ursachen – oftmals in Kombination mit ungünstigen Ausgangsbedingungen im Einzugsgebiet selbst – hervorgerufen und weichen meist deutlich vom statistischen Verhalten der übrigen Jahreshochwasser ab (Schumann, 2005). Dies kann dazu führen, dass diesen Hochwassern unrealistisch hohe Jährlichkeiten zugeordnet werden, weil sie entweder als Ausreisser betrachtet und daher nicht in die statistische Analyse einbezogen werden oder weil bei deren Einbezug in die Hochwasserstatistik eine gute Anpassung einer Verteilungsfunktion kaum mehr möglich ist. Eine korrekte statistische Einordnung grosser Hochwasserereignisse müsste eigentlich von einer statistischen Bewertung der meteorologischen Ursachen ausgehen sowie abflussbestimmende, ereignisspezifische Gebietseigenschaften mit einbeziehen. Dies ist jedoch sehr schwierig. Mit einer saisonalen Unterteilung des hydrologischen Jahres in zwei bis vier Abschnitte wird deshalb versucht, die Hochwasserursachen mit zu berücksichtigen. Jeder dieser saisonalen Abschnitte lässt sich durch einen dominanten Ereignistyp charakterisieren. Anstelle der Jahreshochwasser wird nun für jede Saison eine partielle Serie der saisonalen Höchstwerte bereitgestellt. Dabei muss der saisonale Höchstwert mindestens das Zweieinhalbfache des mittleren Jahresabflusses betragen. An jede partielle Serie wird dann eine Verteilungsfunktion – im vorliegenden Fall die Allgemeine Extremalverteilung (AE) – angepasst. Die Gesamtverteilungsfunktion ergibt sich letztlich durch Kombination der saisonalen Verteilungsfunktionen unter Verwendung des Produktsatzes der Wahrscheinlichkeitsrechnung (Schumann, 2007).

Saisonal differenzierte Statistik im Vergleich zur Jahreshochwasserstatistik

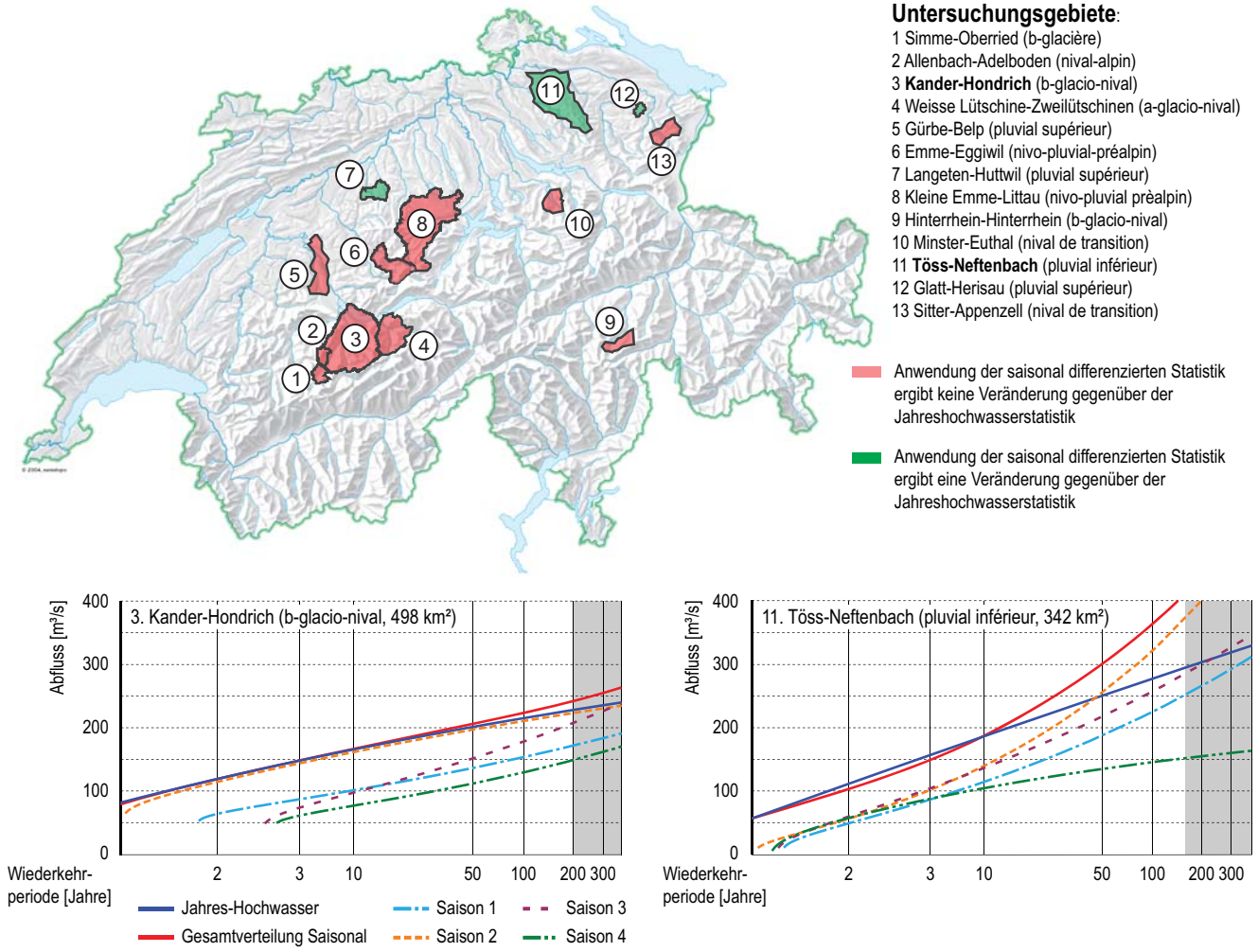
Die differenzierte saisonale Hochwasserstatistik wurde auf die 13 in Abb. 2.12 gezeigten, mittelgrossen Einzugsgebiete angewandt. Die Gebiete decken eine Vielzahl alpiner und mittelländischer Regimetypen ab. Untersucht wurde insbesondere, ob sich zwischen der «klassischen» Jahreshochwasserstatistik und der saisonal differenzierten Hochwasserstatistik entscheidende Unterschiede ergeben. Als Indikatoren hierzu dienen die 30-, 100- und 300-jährlichen Hochwasserspitzen (HQ_{30}, HQ_{100} und HQ_{300}).

Unterschiede zwischen Alpen und Voralpen sowie Mittelland

Die Ergebnisse lassen deutlich zwei Gruppen erkennen (Abb. 2.12): In einer ersten Gruppe mit alpinen und voralpinen Einzugsgebieten bestehen keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Statistik der Jahres-Hochwasser und der Gesamtverteilung aus der saisonalen Analyse. Die berechneten x-jährlichen Hochwasserspitzenabflüsse sind nahezu gleich. Ursächlich hierfür ist die Dominanz eines Prozesstyps, der für grosse und kleine Hochwasser gleichermassen wirksam ist und somit in der Statistik der Jahreshöchstwerte repräsentiert wird. Hingegen führt die saisonal differenzierte Hochwasserstatistik bei den mittelländischen, pluvial geprägten Einzugsgebieten für einen gegebenen Spitzenabfluss zu einer kleineren Jährlichkeit, da hier die Hochwasserscheitel durch mehrere unterschiedliche Ereignistypen bestimmt werden. Mit anderen Worten: Die mit der klassischen Statistik abgeschätzten Wiederkehrperioden der Spitzenabflüsse liegen teilweise deutlich über jenen der saisonal differenzierten Hochwasserstatistik.

Abb. 2.12 > Untersuchungsgebiete, für welche die differenzierte statistische Analyse angewandt wurde, und die Verteilungsfunktionen mit saisonaler Differenzierung für zwei Beispieleinzugsgebiete.

Der zulässige Extrapolationsbereich entspricht gemäss DVWK (1999) jeweils der zweifachen Länge der Messdatenreihe.



Die saisonal differenzierte Statistik kann dazu beitragen, extreme Hochwasser besser einzuordnen. Dies ist v. a. dann der Fall, wenn die Hochwasser relativ gleichmässig über das Jahr verteilt sind, häufige kleinere Ereignisse und seltene grosse Ereignisse jedoch auf unterschiedliche Prozesstypen zurückzuführen sind. Treten hingegen die Hochwasser überwiegend in einer Saison auf, unterscheidet sich die kombinierte Verteilungsfunktion der saisonal differenzierten Analyse kaum von derjenigen der Jahreshochwasserstatistik. In den vom Hochwasser 2005 hauptsächlich betroffenen Regionen besteht eine deutlich ausgeprägte Saisonalität der Hochwasser: Grosse Hochwasser treten vorwiegend in den Sommermonaten auf. Damit zeigen die Analysen klar, dass in diesen Regionen die klassischen, auf den Jahreshochwasserspitzen beruhenden statistischen Verfahren zur Einordnung der Jährlichkeit in der Regel genügen. In den anderen Regionen (Mittelland) hingegen können sich die Verteilungsfunktionen

Folgerungen aus der saisonal differenzierten Statistik

«Jahreshochwasser» und «Saisonal» beträchtlich unterscheiden. Hier besteht Klärungsbedarf, der in Folgeprojekten angegangen werden muss.

2.3.3 Modellbasierte Sensitivitätsanalyse

2.3.3.1 Einleitung und Zielsetzung

Sensitivitätsanalyse zur Einordnung des Hochwassers 2005

Das Berner Oberland war vom Hochwasserereignis 2005 besonders schwer betroffen. So registrierte man am Pegel Aare-Thun einen Spitzenabfluss von 557 m³/s, den zweitgrössten Wert der 100-jährigen Messperiode. Einzig im Mai 1999 wurde dieser Abfluss knapp übertroffen (BAFU, 2007). Im Folgenden soll nun das Ereignis von 2005 in einen grösseren Kontext eingeordnet werden. Dazu werden in einer modellbasierten Sensitivitätsanalyse verschiedene Hochwasserszenarien berechnet und mit dem August-Hochwasser 2005 verglichen.

Abb. 2.13 > Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes.

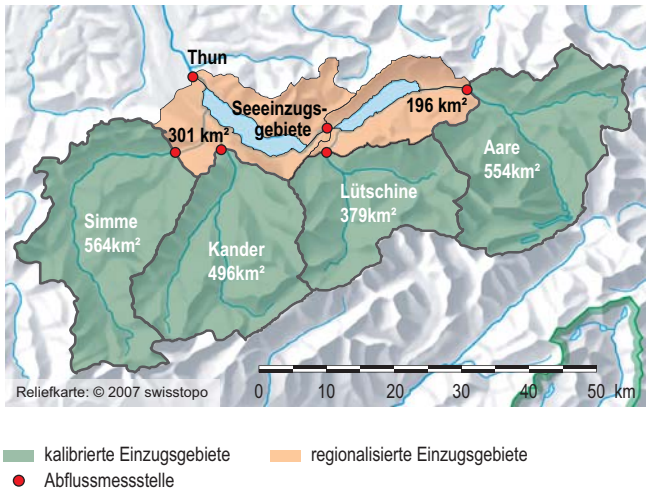
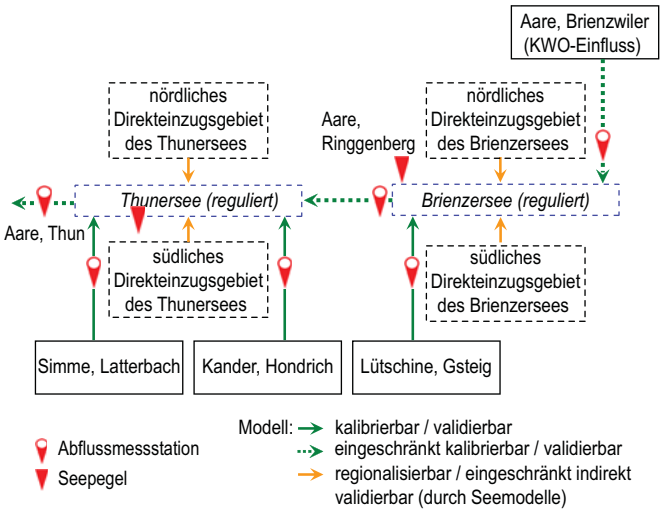


Abb. 2.14 > Systemskizze des Untersuchungsgebietes.



Untersuchungsgebiet Aare-Thun

Das untersuchte Gebiet Aare-Thun erstreckt sich über eine Fläche von 2490 km². Im Hinblick auf die hydrologische Modellierung ist es sinnvoll, das Gesamtsystem in vier mittelgrosse, jeweils durch einen Abflusspegel abgeschlossene Teileinzugsgebiete zu unterteilen (Abb. 2.13 und Abb. 2.14). Zusätzlich ergeben sich aus dieser Konfiguration insgesamt vier an den Brienzer- bzw. Thunersee angrenzende Direkteinzugsgebiete. In der vorliegenden Untersuchung werden primär Aussagen zum Pegel Aare-Thun und zu den Teileinzugsgebieten Aare-Brienzwiler, Lütschine, Kander und Simme gemacht. Im Vordergrund steht eine möglichst gute Simulation des Hochwasserverhaltens dieser mesoskaligen Einzugsgebiete. Dazu wird hier das hydrologische Modellsystem PREVAH (**P**recipitation **R**unoff **EVA**potranspiration **H**ydrotop Model) eingesetzt. Ausführliche Untersuchungen von Viviroli (2007) belegen dessen Eignung für schweizerische mesoskalige Einzugsgebiete.

Ereignisphasen und Prozesstyp

Bei der Sensitivitätsanalyse wird zwischen der Vorphase, dem eigentlichen Hochwasserereignis (Kernphase) sowie der Nachphase (Abb. 2.15) unterschieden. Für jede dieser Phasen werden realistische Annahmen getroffen, die dann in ihrer Kombination zu den einzelnen Szenarien führen. Sämtliche Szenarien sind für den Prozesstyp «Dauerregenhochwasser» (Diezig und Weingartner, 2007) relevant, welcher für das Ereignis 2005 ausschlaggebend war.

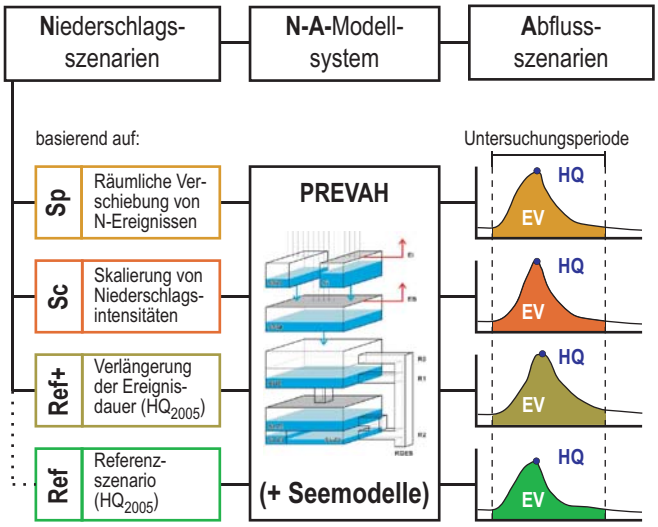
Szenarien

Um den Einfluss der Vorfeuchte auf den Hochwasserverlauf abzuschätzen, wird neben der nassen Periode im August 2005 auch die trockene Periode im August des Hitzesommers 2003 mitberücksichtigt (Abb. 2.15). Für die Kernphase werden verschiedene Niederschlagsszenarien untersucht. Zudem wird die Möglichkeit einer verlängerten Ereignisdauer [Ref+] in Betracht gezogen.

Abb. 2.15 > Übersicht zu den Szenarienblöcken innerhalb der drei Ereignisphasen.

Vorphase	Kernphase	Nachphase
Ausgangsbedingungen	intensivste Ereignisphase	nach dem Ereignis
sm1 Vorfeuchte August 2005 **sm2** Vorfeuchte August 2003	**Ref** Referenzszenario HQ August 2005 **Sp** Räumliche Verschiebung von Niederschlagsereignissen **Sc** Skalierung von Niederschlagsintensitäten grosser Starkregenereignisse	**Ref** Dauer des Originalereignisses August 2005 **+12 h** Verlängerung der Niederschlagsdauer um 12 h **+24 h** Verlängerung der Niederschlagsdauer um 24 h
Sensitivität der Vorgeschichte	Sensitivität des Ereignisverlaufs	Sensitivität der Ereignisdauer

Abb. 2.16 > Ablauf bei der Umsetzung der Niederschlagsszenarien zu Abflussszenarien.



2.3.3.2 Ableitung von Niederschlagsszenarien

Niederschlagsszenarien

Der Niederschlag steht als massgeblicher, Hochwasser auslösender Faktor im Mittelpunkt der Szenarienbildung. In Absprache mit einem Spezialisten der MeteoSchweiz wurden für die Kernphase, also für den Zeitraum vom 20.8., 7:00 Uhr, bis 23.8., 7:00 Uhr, verschiedene Niederschlagsszenarien generiert, und zwar durch:

- räumliche Verschiebung von Niederschlagsereignissen [Sp],
- Skalierung von Niederschlagsintensitäten [Sc] und
- Verlängerung der Ereignisdauer [Ref+].

Räumliche Verschiebung von Niederschlagsfeldern entlang des Alpenkamms [Sp]

Im August 2005 traten über dem Raum Meiringen-Engelberg sehr intensive Dauerregen auf. Diese werden unter Berücksichtigung von topographischen und meteorologischen Gesichtpunkten entlang des Alpenkammes über die benachbarten Einzugsgebiete verschoben. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass die räumliche Übertragung von Niederschlagsereignissen im Alpenraum nicht unproblematisch ist, da die Niederschlagsverteilung in starkem Masse von der Anströmungsrichtung und der Orographie abhängt. Deshalb ist die zweite vorgenommene Verschiebung des grossflächigeren Niederschlagsfeldes aus der voralpinen Region Entlebuch besonders kritisch zu beurteilen.

Skalierung von Niederschlagsintensitäten [Sc]

Die Niederschlagsszenarien der zweiten Gruppe [Sc] gehen von den grössten, im Untersuchungsgebiet aufgetretenen advektiven Niederschlagsereignissen aus. Letztere wurden aus einer 13-jährigen Reihe (1992–2005) hoch aufgelöster stündlicher Niederschlagskarten entnommen (Frei und Schär, 1998; Litschi, 2005). Diesem Datensatz entstammen auch alle anderen in dieser Studie verwendeten Niederschlagsdaten. Parallel dazu wird das von der MeteoSchweiz erstellte Frequenzdiagramm für den maximalen 3-Tages-Gebietsniederschlag über dem Einzugsgebiet Aare-Thun verwendet, um die 100- und 500-jährlichen Niederschlagssummen zu ermitteln. Schliesslich werden die ausgewählten grössten realen Niederschlagsereignisse so skaliert, dass die ursprüngliche Niederschlagssumme auf eine solche mit 100- bzw. 500-jährlicher Wiederkehrperiode angehoben wird. Dabei wird die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung beibehalten.

Die Auswahl der zu skalierenden realen Ereignisse erfolgt mit Hilfe der Alpenwetterstatistik (SMA, 1985; Wanner et al., 1998), um ausschliesslich advektive Niederschläge zu verwenden. Dies ist wichtig, da die Skalierung von lokal auftretenden kurzen, aber sehr intensiven Gewitterniederschlägen meistens zu unrealistisch hohen Niederschlagsintensitäten führt.

Verlängerung der Niederschlagsdauer [Ref+]

Zur Untersuchung der Sensitivität der Hochwasser auf die Ereignisdauer wird die intensivste Phase des auslösenden Niederschlagsgeschehens vom August 2005 um 12 bzw. 24 Stunden verlängert, indem dieser Ereignisabschnitt zweimal nacheinander abläuft. Die abklingende Phase verschiebt sich um den jeweiligen Zeitraum nach hinten.

Diese unterschiedlichen Annahmen führen schliesslich zu 31 Szenarien. Sie sind in Tab. 2.2 zusammengestellt: Die farbliche Hinterlegung zeigt die Auftretenswahrscheinlichkeit der entsprechenden Niederschlagssumme an. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die zugrunde liegenden Extremwertanalysen der MeteoSchweiz relativ grosse Konfidenzintervalle aufweisen (Kap. 1.5 und BAFU, 2007).

Niederschlagsszenarien im Überblick

Tab. 2.2 > Summen und Auftretenswahrscheinlichkeiten der Gebietsniederschläge (NS) für die grossen Einzugsgebiete im Berner Oberland (Referenz und alle Szenarien).

Niederschlagssummen (NS) [mm/72h]

	Referenz	SpA2	SpA3	SpA4	SpB1	SpB2	SpB3	SpB4	Sc1a	Sc1b	Sc1c	Sc1d	Sc1e	Sc1f	Sc1g	Sc1h	Sc1i	Sc1j	Sc1k	Sc2a	Sc2b	Sc2c	Sc2d	Sc2e	Sc2f	Sc2g	Sc2h	Sc2i	Sc2j	Sc2k	Ref+12h	Ref+24h
Aare – Brienzwiler	205	151	149	74.2	220	149	185	107	225	216	252	248	229	218	261	261	213	209	204	302	290	338	334	308	292	351	351	286	280	274	271	315
Lütschine – Gsteig	201	156	208	122	226	182	222	140	222	131	247	224	215	201	197	230	192	175	229	298	176	332	301	289	270	265	310	258	235	307	272	317
Kander – Hondrich	167	210	217	117	187	221	226	155	183	207	173	174	213	178	189	174	214	214	184	246	277	233	233	286	239	254	234	287	287	247	224	277
Simme – Latterbach	147	230	186	199	165	221	217	217	162	270	170	183	222	203	195	187	222	254	222	218	363	229	246	298	273	262	251	299	341	298	201	250
Aare – Thun	183	193	198	141	203	194	213	161	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	244	295

Jährlichkeiten der Niederschläge:
< 10 | 10–49 | 50–99 | 100–199 | 200–499 | ≥ 500

2.3.3.3 Modellsystem PREVAH und Seemodell

In Abb. 2.16 zeigt das Konzept zur Umsetzung der zuvor beschriebenen Niederschlagsszenarien in den Abfluss. Dabei steht das konzeptionelle hydrologische Modellsystem PREVAH (Gurtz et al., 1997; Zappa, 2002; Viviroli et al., 2007) im Mittelpunkt. Es simuliert die Wasserflüsse und den Wasserhaushalt flächendifferenziert. Für diese Studie wird PREVAH mit einem diskreten Zeitschritt von einer Stunde und in einer räumlichen Auflösung von 500 × 500 m² betrieben. Limitierend auf die Qualität der Modellresultate wirken dabei v. a. die meteorologischen Datengrundlagen, wie Analysen von Viviroli (2007) zeigen.

Das hydrologische Modellsystem PREVAH

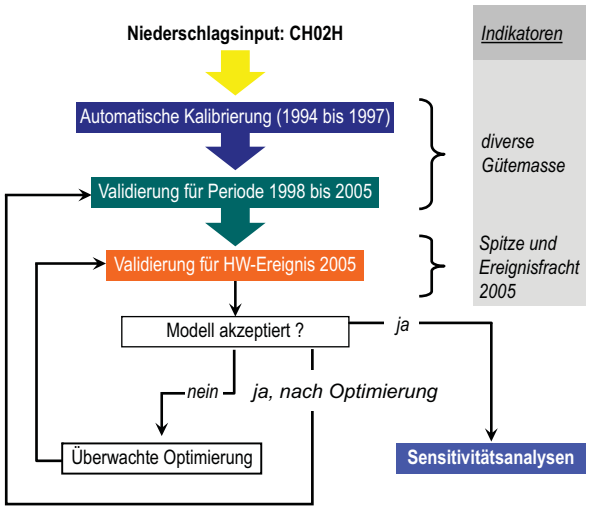
Für die mittelgrossen, durch einen Pegel abgeschlossenen Teileinzugsgebiete konnte PREVAH im Zeitraum von 1994 bis 1997 mit einem halbautomatischen Verfahren kalibriert werden. Bei der Kalibrierung des Modells für das Einzugsgebiet Aare-Brienzwiler wurde die starke Beeinflussung durch die Speicherkraftwerke der KWO berücksichtigt. Die nördlich und südlich von Brienzer- und Thunersee gelegenen Direkteinzugsgebiete konnten hingegen nicht kalibriert werden, weil Beobachtungen des Abflusses weitgehend fehlen. Deshalb wurden die Modellparameter dieser Teilgebiete mit einem für PREVAH entwickelten Regionalisierungsmodul (Viviroli, 2007) bestimmt.

Kalibrierung und Regionalisierung

Validierung und Optimierung

Obwohl alle automatisch kalibrierten Teilgebietsmodelle sowohl für den Kalibrierungs- als auch für den Validierungszeitraum gute bis sehr gute Modellgüten aufwiesen, war die Nachbildung des originalen August-Hochwassers problematisch. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass im extremen Hochwasserbereich Schwellenprozesse auftreten (Kap. 2.2.4), welche bei einer Kalibrierung des Modells in der Regel nicht erfasst werden. Durch eine zusätzliche gezielte manuelle Optimierung der für die schnellen Abflüsse massgeblichen Modellparameter (Abb. 2.17) konnte aber für jedes Einzugsgebiet ein Parametersatz gefunden werden, welcher sowohl die gesamte Simulationsperiode 1993 bis 2005 als auch den Ereignisverlauf 2005 sehr gut wiedergibt. Das verwendete Seemodell für Brienzer- und Thunersee (Schwanbeck et al., 2008) löst im stündlichen Zeitschritt die Seebilanzgleichung.

Abb. 2.17 > Vorgehen bei Modellkalibrierung, Validierung und iterativer Optimierung.



2.3.3.4 Resultate

An dieser Stelle werden nur die wichtigsten Resultate der Studie zusammengefasst. Umfassende Ausführungen sind in Schwanbeck et al. (2008) enthalten.

Modellierte Spitzenabflüsse

Abb. 2.18 zeigt die modellierten Spitzenabflüsse für die grossen Einzugsgebiete des Berner Oberlands in Form von Box-Whisker-Plots. Die in hellgrau dargestellten Plots beinhalten sämtliche Spitzenabflüsse, also auch jene, die auf Szenarien mit extrem grossen Niederschlagsmengen (mit Wiederkehrperioden von über 500 Jahren) beruhen. Allerdings sind Letztere mit Vorsicht zu betrachten, da die Gebietsreaktion im Extrembereich – nicht zuletzt wegen der zuvor erwähnten Schwellenprozesse – noch zu wenig bekannt ist. In den farbigen Box-Whisker-Plots sind diese Spitzenabflüsse deshalb nicht mehr enthalten.

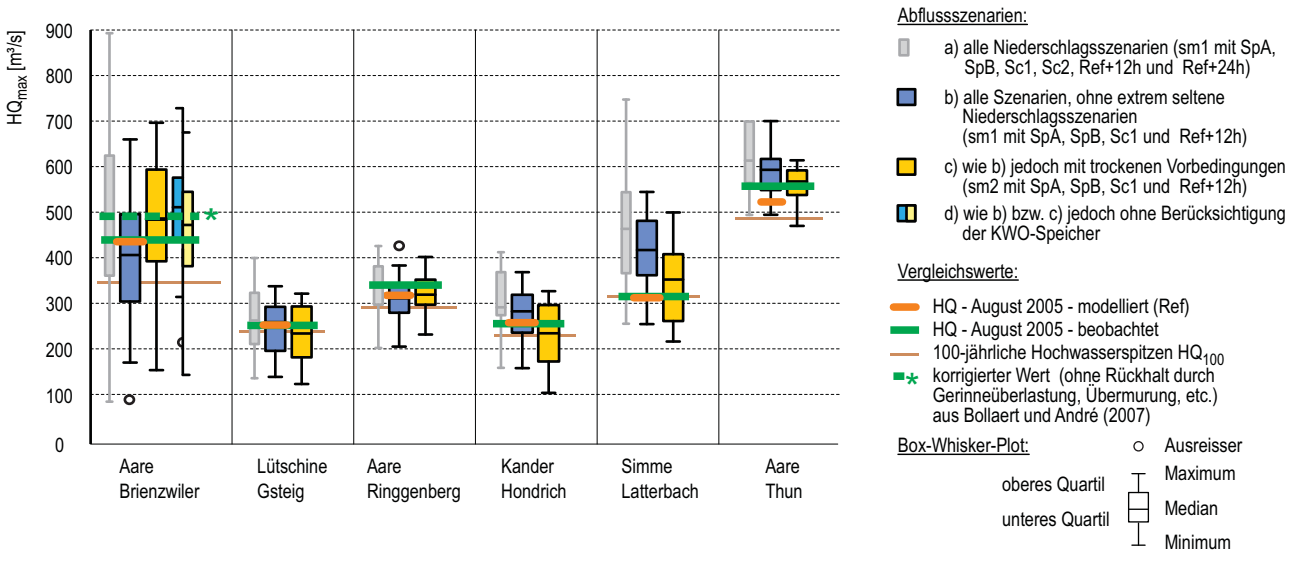
Grössere Hochwasser als im August 2005 sind zu erwarten

Die Resultate zeigen deutlich, dass die während des Augusthochwassers aufgetretenen Spitzenabflüsse z. T. beträchtlich übertroffen werden können. Die Modellierungen ergeben für einzelne Szenarien aber auch Spitzenabflüsse, welche die im August 2005 gemessenen Höchstwerte unterschreiten, weil die Gebietsniederschläge kleiner sind als die originalen, im August beobachteten. Zusätzlich beruht eine gewisse Variabilität der Spitzenabflusswerte bei ähnlichen Gebietsniederschlägen auf der unterschiedlichen räumlichen Verteilung der Niederschläge über dem Untersuchungsgebiet, wobei sich dieser Effekt durch die ausgleichende Wirkung der Seen bis zum Pegel Aare-Thun wieder abschwächt.

Obere Grenzwerte

Bei den Abflussspitzen, welche die bisher beobachteten Werte überschreiten, ist zu beachten, dass in einzelnen Abschnitten des Gerinnes eventuell Ausuferungen stattfinden, welche zu einer Abflachung des Hydrographen führen. In diesem Sinne sind die hier angegebenen Werte als obere Grenzwerte zu verstehen. Weitere, kaum vorhersagbare Prozesse (z. B. Aufstau von Fliessgewässerabschnitten infolge von Übermurungen, Verklausungen an Durchlässen und Brücken) können die Abflussspitze am Gebietsauslass zusätzlich beeinflussen.

Abb. 2.18 > Modellierte Abflussspitzen als Resultate der Sensitivitätsanalysen für die grossen Einzugsgebiete des Berner Oberlandes im Vergleich zum modellierten und beobachteten Referenzszenario sowie zum HQ100 (Abkürzungen siehe Abb. 2.15).



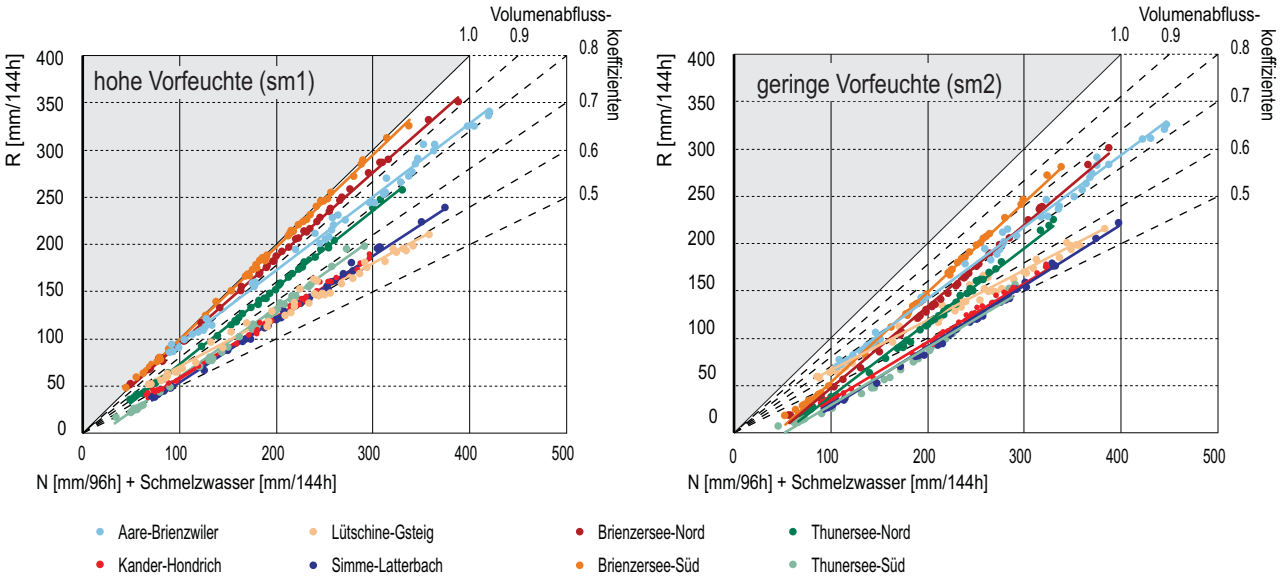
Einfluss der Vorfeuchte

Des Weiteren zeigt Abb. 2.18 den Einfluss der Vorfeuchte auf die Spitzenabflüsse, wobei direkte Rückschlüsse nur für die Lütschine, die Kander und die Simme sinnvoll sind. Bei den anderen Pegeln beeinflussen die Wasserstände in den Kraftwerksspeichern und Seen zu Ereignisbeginn den Hochwasserverlauf massgeblich. Die Simulation der Abflussganglinie Aare-Brienzwiler mit und ohne Berücksichtigung der KWO-Speicher verdeutlicht den Einfluss der Kraftwerksspeicher beim Hochwasser 2005. Insgesamt zeigt sich, dass bei einer geringen Vorfeuchte etwas kleinere Spitzenabflüsse zu erwarten sind. Dieser Einfluss ist jedoch bei sehr intensiven Dauerregen eher von untergeordneter Bedeutung.

Ereignisspezifische Volumenabflusskoeffizienten

In den beiden Diagrammen in Abb. 2.19 sind für alle Teileinzugsgebiete Ereignisniederschlag und -abfluss gegeneinander aufgetragen, wodurch sich als Resultierende der ereignisspezifische Volumenabflusskoeffizient (VAK) ergibt. Das linke Diagramm zeigt die Modellierungsresultate bei hoher Vorfeuchte, wie sie im August 2005 auftrat. Im Gegensatz dau stellt das rechte Diagramm die modellierten Niederschlags-Abfluss-Beziehungen bei zu Ereignisbeginn weniger feuchten Böden dar. Ein Vergleich beider Diagramme veranschaulicht den Einfluss der Vorbedingungen auf den Niederschlags-Abfluss-Prozess. Bei einer hohen Vorfeuchte zu Ereignisbeginn steigen die schon sehr hohen VAK bei zunehmendem Niederschlagsvolumen nicht weiter an. Hingegen führt die fortschreitende Aufsättigung der Böden bei grösseren Ereignisniederschlagshöhen (Abb. 2.19, rechts) in der Regel zu einem Anstieg der VAK. Bei hoch gelegenen Gebieten verringert sich der VAK mit zunehmendem Niederschlag, weil hier der Anteil des oberhalb der Nullgradgrenze in Form von Schnee zurückgehaltenen Wassers überdurchschnittlich stark ansteigt und daher der Abflussanteil am Niederschlag abnimmt. Besonders deutlich wird dieser Effekt bei den Einzugsgebieten Lütschine-Gsteig und Aare-Brienzwiler: Während des August-Hochwassers 2005 wurden hier mehr als ein Fünftel des Niederschlags in Form von Schnee zurückgehalten. Die Mobilisierung zusätzlicher Wassermengen aufgrund einer höheren Nullgradgrenze erscheint bei diesen Gebieten in begrenztem Masse möglich, was zu einer weiteren Verschärfung der Hochwassersituation führen würde.

Abb. 2.19 > Niederschlag-Abfluss-Beziehung und Volumenabflusskoeffizienten (VAK) für alle modellierten Teileinzugsgebiete und Szenarien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Vorfeuchten.



Seestände

Bezüglich der beiden Seen resultieren aus den Untersuchungen aufgrund der grösseren Zuflussmengen für den Thunersee Wasserstände, welche die Hochwasser- bzw. Schadensgrenze von 558.3 m für das extremste Szenario – ohne Berücksichtigung der 500-jährlichen Niederschläge – um ca. 1.5 m (und somit den Höchststand vom August 2005 um etwa 50–60 cm) übersteigen. Der höchste modellierte Wasserstand des Brienzersees übertrifft den Höchststand vom August 2005 ebenfalls, allerdings wird hier aufgrund gewisser Unsicherheiten bei der Modellierung von einer quantitativen Aussage abgesehen. Zu beachten ist ausserdem, dass der aussergewöhnliche Rückhalt im Oberlauf der Aare durch die KWO (vgl. Bollaert und André, 2007) bei allen Szenarien beibehalten wurde.

Folgerungen aus der modellgestützten Sensitivitätsanalyse

Die Resultate der Sensitivitätsanalysen stellen realistische Worst-Case-Szenarien dar, welche wichtige Grundlagen für den so genannten Überlastfall bereitstellen. Weil Schwellenprozesse auftreten können, die in den zur Kalibrierung verwendeten Daten nicht abgebildet sind, sollten die Ergebnisse nicht unmittelbar als Bemessungsgrundlage verwendet werden.

2.4 Volumenstatistik der Alpenrandseen

Armin Petrascheck

2.4.1 Einführung

Häufung von Seehöchstständen

Meldungen zu extremen Wasserständen an den Alpenrandseen häufen sich. So erreichten 2007 der Bielersee, 2005 Thuner-, Brienzer- und Sarnersee, 2000 der Lago Maggiore, 1999 der Boden-, Walen-, Zuger- und Zürichsee die höchsten Wasserstände seit Messbeginn. Einzig beim Vierwaldstättersee gilt noch der Höchststand von 1910, aber 2005 fehlten nur 2 cm, um diesen zu erreichen. Diese Häufung beunruhigt. Die Ursachen dem Klimawandel zuzuschreiben, hiesse aber, sich die Sache etwas einfach zu machen.

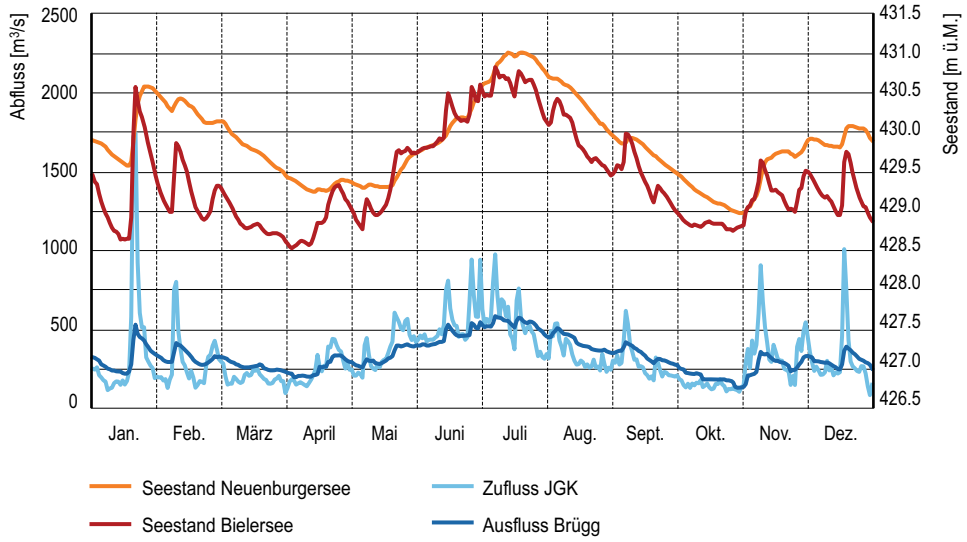
Hohe Seestände sind das Ergebnis eines Zusammenspiels zwischen der Vorgeschichte, die den Ausgangswasserspiegel bestimmt, den Zuflussvolumina und den Ausflussbedingungen. Von diesen drei Komponenten ist das Zuflussvolumen am wenigsten beeinflussbar und bestimmend für eine eventuelle Bewirtschaftung.

Ziele der Studie

Um dafür eine objektive Grundlage zu schaffen, werden die Zuflüsse der 2005 betroffenen Seen über die gesamte Beobachtungsperiode untersucht und statistisch eingeordnet. Ziel dieser Untersuchung ist es, allgemein gültige und dadurch auf andere Situationen übertragbare Parameter zu finden, so dass die gefundenen Erkenntnisse gleichermassen für das Hochwassermanagement von Seen, Rückhaltebecken und anderen Speicheranlagen angewandt werden können.

Dass bei Seen nicht die Zuflussspitze sondern die Zuflussvolumina entscheidend sind, kann am Beispiel des Jahres 1910 für die Juragewässerkorrektion (JGK) gezeigt werden (Abb. 2.20). Extrem hohe Zuflüsse liessen im Januar den Bielersee in drei Tagen um nahezu 2 m ansteigen. Die Zuflüsse im Juni waren dagegen nur halb so gross, hielten jedoch etwa 14 Tage an, so dass ein noch höherer Seestand eintrat. Entscheidend ist letztlich die Differenz zwischen Zu- und Abfluss über eine bestimmte Periode. Der Ausfluss kann, infolge der sich einstellenden höheren Seestände, zunehmen bis sich ein Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss ergibt, das heisst der maximale Seestand des Ereignisses erreicht ist.

Abb. 2.20 > Jahresverlauf des Gesamtzuflusses in die JGK, des Ausflusses bei Brügg und der Wasserstände von Bieler- und Neuenburgersee für das Jahr 1910.



2.4.2 Methodisches Vorgehen

Ermittlung der Zuflüsse durch Bilanzierung

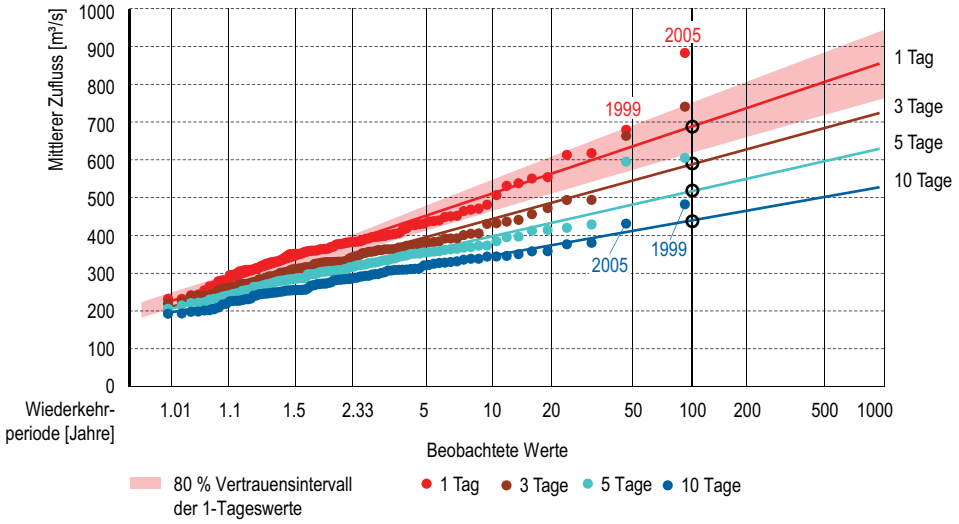
Die Berechnung der Zuflüsse erfolgte aus der Bilanzierung von Zu- und Abflüssen, sowie der aus den Seespiegeln ermittelten Speicheränderung. Als Zeitschritt wurden Tageswerte verwendet. Dieser Zeitschritt ist für viele Fliessgewässer sicher zu gross, genügt jedoch für die untersuchten Seen und hat den Vorteil, dass die benötigten Daten direkt zur Verfügung stehen.

Bildung von Dauerstufen und Ermittlung der Jahreshöchstwerte für jede Dauerstufe

Um aus den Zeitreihen der Tageswerte die Zuflüsse für unterschiedliche Dauerstufen zu erhalten, wurden gleitende Mittel über 2, 3, 4, 5, 7, 10 und 14 Tage gebildet. Analog zum Vorgehen bei der statistischen Analyse von Spitzenabflüssen wurden für jede Dauerstufe die höchsten Werte eines Kalenderjahrs herausgesucht, wobei der grösste Tageswert und der grösste 14-Tageswert eines Jahres nicht unbedingt zum gleichen Ereignis gehören. Aus den so erhaltenen Jahresreihen wurde mittels der Verteilung von Gumbel die rechnerischen Wiederkehrperioden verschiedener Dauerstufen bestimmt, wie dies in Abb. 2.21 für die Zuflüsse des Thunersees dargestellt ist. Deutlich zeigt sich, dass bei den 1-Tageswerten 2005 ein Extremereignis ist, dessen Wahrscheinlichkeit nicht wirklich zu bestimmen ist. Bei den 10-Tageswerten ist jedoch der Zufluss von 1999 grösser. Je nach Dauerstufe kann somit ein anderes Ereignis als 100-jährlich bezeichnet werden.

Abb. 2.21 > Frequenzdiagramm nach Gumbel der mittleren Zuflüsse unterschiedlicher Dauerstufen zum Thunersee.

Die für das 100-jährliche Ereignis durch Kreise markierten Werte bilden die Grundlage für die in Abb. 2.22 b) und Abb. 2.23 b) gezeigten Kurven des Thunersees.



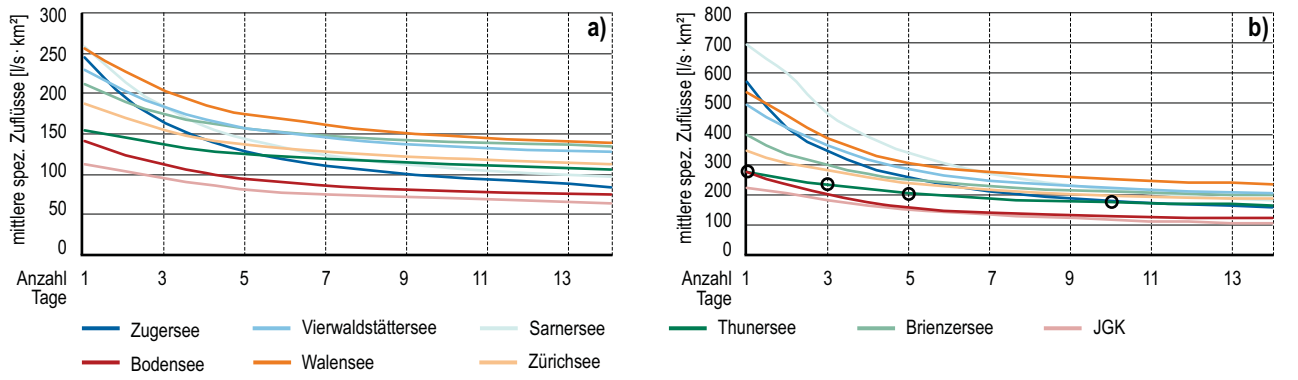
2.4.3 Zufluss in Abhängigkeit der Ereignisdauer

Mittlerer Zufluss in Abhängigkeit der Ereignisdauer

Im nächsten Schritt wurden, wie anhand von Abb. 2.21 exemplarisch für den Thunersee gezeigt, für ausgewählte Wiederkehrperioden die mittleren Zuflüsse als Funktion der Dauer für alle Seen bestimmt. Um die Vergleichbarkeit über die verschiedenen Seen zu gewährleisten, werden in Abb. 2.22 nicht absolute, sondern die auf das Einzugsgebiet bezogenen spezifischen Zuflüsse dargestellt. Die resultierenden Kurven zeigen, wie bei zunehmender Länge des Ereignisses der über die Ereignisdauer gemittelte Zufluss abnimmt. Je nach Einzugsgebiet – insbesondere je nach Grösse des Einzugsgebiets – unterscheiden sich die Abminderungskurven sowohl bezüglich Grösse der spezifischen Zuflüsse als auch hinsichtlich Art der Abminderung mit zunehmender Dauer.

Abb. 2.22 > Mittlere spezifische Zuflüsse in Abhängigkeit der Dauer für a) eine Wiederkehrperiode von 2 Jahren und b) eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren.

Die Kreise in der rechten Graphik beziehen sich auf Abb. 2.21.



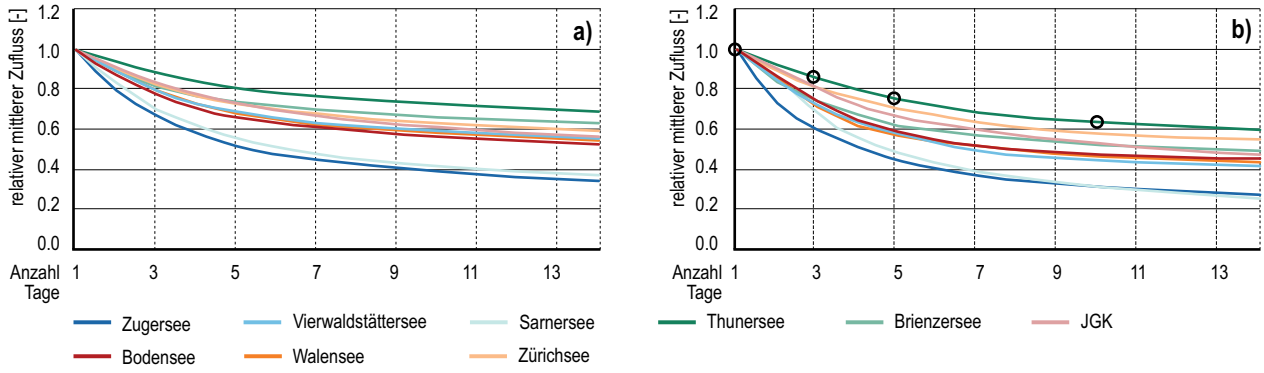
Deutlich geringere mittlere Zuflüsse bei längeren Ereignissen

Um die relative Abminderung besser aufzuzeigen, wurden in Abb. 2.23 die Werte von Abb. 2.22 als Verhältnis zum jeweiligen 1-Tageswert aufgetragen. Über eine Periode von 5 Tagen sinkt der mittlere Zufluss auf 50 bis 80 % des grössten Tageszuflusses, nach 10 Tagen auf 40 bis 70 %. Wie Abb. 2.23 zeigt, ist die Abminderung bei selteneren Ereignissen, d. h. für mittlere Zuflüsse mit grösseren Wiederkehrperioden, deutlicher ausgeprägt. Wegen der ausgleichenden Wirkung der oberhalb liegenden Seen haben der Thunersee, der Zürichsee und die JGK die geringste Abminderung. Nicht unerwartet nehmen die Zuflüsse bei den kleinen Einzugsgebieten am stärksten ab.

Die Abnahme der Zuflüsse für Perioden länger als 7 Tage beträgt nur noch wenige Prozent. Liegt also die Abflusskapazität eines Sees unter dem mittleren 7-Tageszufluss, müssen sehr grosse Speichervolumina zur Verfügung stehen, um die resultierenden Seestände zu begrenzen.

Abb. 2.23 > Relative mittlere Zuflüsse in Abhängigkeit der Dauer für a) eine Wiederkehrperiode von 2 Jahren und b) eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren.

Die relativen mittleren Zuflüsse entsprechen den mittleren Zuflüssen im Verhältnis zum jeweiligen 1-Tageswert. Die Kreise in der rechten Graphik beziehen sich auf Abb. 2.21.



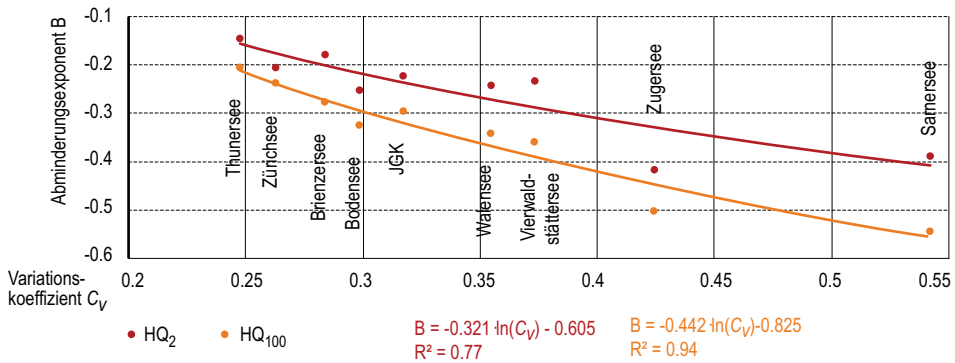
Die Abminderungskurven aus Abb. 2.23 lassen sich durch eine Funktion von der Form

$$r = \alpha\, d^{B}$$

annähern, wobei r den relativen mittleren Zufluss und d die Anzahl Tage der betrachteten Dauerstufe bezeichnen. Die Variable α hat einen Wert nahe bei 1 und der Exponent B weist einen deutlichen Zusammenhang mit dem aus den Zuflussreihen der 1-Tagesmittel bestimmten Variationskoeffizienten C_V auf (Abb. 2.24). Dass die Beziehung für Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren sehr eng ist, erstaunt nicht weiter, wird doch der Variationskoeffizient zur Berechnung des mittleren 100-jährlichen Zuflusses verwendet. Bei Ereignissen mit anderen Wiederkehrperioden (z. B. dem in Abb. 2.24 gezeigten 2-jährlichen Ereignis) ist jedoch kein innerer Autokorrelationsanteil vorhanden und die Abhängigkeit ist trotz einzelner Abweichungen (Zugersee, Vierwaldstättersee) auch in diesem Fall deutlich. Nicht berücksichtigt ist, dass für jede Dauerstufe Mittelwert und Streuung getrennt berechnet werden. Zwischen diesen und den 1-Tageswerten besteht jedoch ein enger Zusammenhang. Anstelle der logarithmischen Anpassung gemäss Abb. 2.24 kann auch vereinfachend mit B = –0.74 C_V für das 2-jährliche Ereignis und B = –1.0 C_V für das 100-jährliche Ereignis gerechnet werden.

Quantitative Beschreibung des mittleren Zuflusses mittels einer Exponentialfunktion

Abb. 2.24 > Abhängigkeit des Abminderungskoeffizienten B vom Variationskoeffizienten C_V der 1-Tageswerte der Zuflüsse.



2.4.4 Speicherbedarf Thunersee

Für jeden See sind die Randbedingungen wie Abflusskapazität und Speicherraum bis zur Hochwassergrenze gegeben. Damit und unter Berücksichtigung, dass die Ein- und Mehrtageszuflüsse voneinander abhängige Variablen sind, kann für jeden See die kritische Ereignisdauer für unterschiedliche Wiederkehrperioden bestimmt werden.

Berechnung des Speicherbedarfs für unterschiedliche Wiederkehrperioden

Die Ausgangslage bilden die in Abb. 2.21 gezeigten mittleren Seezuflüsse. Um den Speicherbedarf für eine bestimmte Wiederkehrperiode zu ermitteln, wird der Seeausfluss von den mittleren Zuflüssen für die verschiedenen Dauerstufen abgezogen und die resultierende Differenz über die Länge der jeweiligen Dauerstufe integriert. Abb. 2.25 zeigt am Beispiel des Thunersees den Speicherbedarf für ein 20- und ein 100-jährliches Hochwasser bei unterschiedlichen Annahmen bezüglich des Seeausflusses. Betrachtet werden Seeausflüsse von

- 300 m³/s, entsprechend der aktuellen Ausflusskapazität bei der Reguliergrenze von 558.0 m ü. M.
- 350 m³/s, entsprechend der aktuellen Ausflusskapazität bei der Hochwassergrenze von 558.3 m ü. M.
- 450 m³/s unter Berücksichtigung der Zusatzkapazität des neuen Stollens (Ingenieurgemeinschaft Thunersee Aare, 2004).

Bleibt der Abfluss auf 300 m³/s begrenzt, kann selbst ein 20-jährliches Ereignis etwa 60 Mio. m³ Speicherraum beanspruchen (dies entspricht einem Seeanstieg von rund 1.2 m). Wird der Abfluss auf 350 m³/s gesteigert, sinkt der Speicherbedarf auf 25 Mio. m³ (0.5 m Seeanstieg). Für ein 100-jährliches Ereignis muss der Abfluss bis auf 450 m³/s gesteigert werden, um mit dem gleichen Speicherbedarf auszukommen. Das Beispiel zeigt die starke Sensitivität des Speicherbedarfs bezüglich des Ausflusses, der beim Thunersee besonders deutlich ist, weil dieser bei längerer Ereignisdauer die geringste Abminderung aufweist (Abb. 2.23 b).

Volumina der Ereignisse 1999 und 2005 deutlich grösser als 100-jährlich

In Abb. 2.25 ist die unter der Annahme eines konstanten Ausflusses von 350 m³/s (Ausflusskapazität bei der Hochwassergrenze) berechnete Speicherbeanspruchung der Hochwasser 1999 und 2005 eingetragen. Der Vergleich der Kurve des Ereignisses 2005 mit den theoretischen Kurven zeigt, dass – über die ersten 9 Tage des Ereignisses betrachtet – das Speichervolumen des Jahres 2005 eine Jährlichkeit von deutlich mehr als 100 Jahren aufweist. Dies steht im Einklang mit den in Abb. 2.21 gezeigten Frequenzdiagrammen, gemäss denen erst ab einer Dauerstufe von 10 Tagen der Zufluss in etwa dem 100-jährlichen Zufluss entspricht. Deshalb schneidet sich in Abb. 2.25 die Kurve des Ereignisses 2005 mit der theoretischen Kurve des 100-jährlichen Ereignisses in diesem Bereich. Das Ereignis von 1999 ist über die gesamte in Abb. 2.25 dargestellte Dauer deutlich seltener als 100-jährlich.

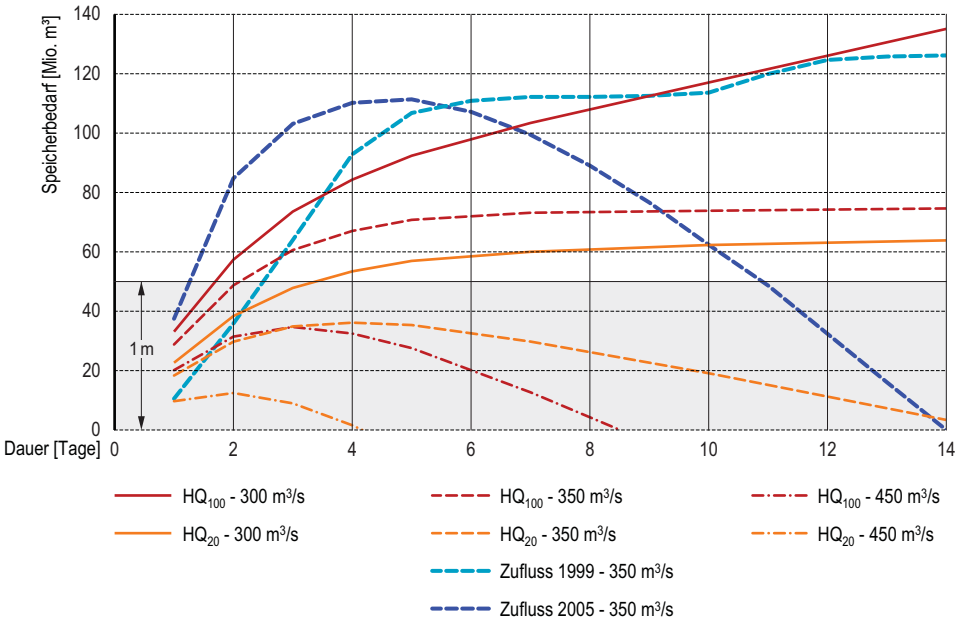
Wert der Speicherbedarfskurven

Diese Betrachtung verdeutlicht den Wert der Speicherbedarfs-Kurven. Sie zeigen was wäre, wenn ein bestimmter Ausfluss eingehalten würde, um wie viel der See steigen würde, bzw. wie weit der Ausfluss gesteigert werden muss, um eine bestimmte Seekote einzuhalten. Auf Grund der Speicherbedarfskurven ist es offensichtlich, dass am

Thunersee für Hochwasser wie 2005 oder 1999 ohne Kapazitätssteigerung die Systemgrenzen erreicht oder überschritten werden.

Abb. 2.25 > Speicherbedarf am Thunersee für ein 100-jährliches und ein 20-jährliches Hochwasser in Abhängigkeit der Dauer für konstante Seeausflüsse von 300, 350 und 450 m³/s.

Gezeigt werden neben den theoretischen Speicherbedarfskurven auch die entsprechenden Kurven für die Ereignisse 1999 und 2005, berechnet aus den realen Zuflüssen und unter Annahme eines konstanten Ausflusses von 350 m³/s (Ausflusskapazität bei einem Seestand entsprechend der Hochwassergrenze).



In Realität ist der Ausfluss jedoch nicht konstant sondern nimmt mit steigendem Seestand zu. Deshalb stellen die in Abb. 2.25 dargestellten theoretischen Kurven Umhüllende für Ereignisse einer bestimmten Wahrscheinlichkeit dar. 2005 und 1999 war die Speicherung jeweils deutlich geringer, da die Ausflussspitzen in Folge Überschreitens der Hochwassergrenze Werte von 570 bzw. 560 m³/s erreichten. Im Interesse der Seeanstösser und der Unterlieger soll die erforderliche grosse Ausflusskapazität jedoch nicht durch massiven Seeanstieg und nicht während der Spitze des Ereignisses erreicht werden. Die erforderliche Abflusskapazität ist deshalb primär im Vorfeld des Ereignisses sicher zu stellen, was im Fall des Thunersees durch den geplanten regulierbaren Stollen erfolgen sollte.

Grössere Abflusskapazitäten zur Vermeidung extremer Anstiege des Thunersees nötig

2.4.5 Speicherbedarf übrige Seen

Sarnersee und Thunersee sind anfällig auf kurze intensive Ereignisse

Analoge Untersuchungen wurden für alle betrachteten Seen durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich aus Tab. 2.3 ablesen. Ist die Summe von Speicherung und Ausfluss bei mittlerem Seestand kleiner als der Tageszufluss bei einem 100-jährlichen Ereignis, ist ein Überschreiten der Hochwassergrenze bei kurzen, intensiven Ereignissen zu erwarten. Dies ist beim Sarner- und Thunersee der Fall.

Bodensee und Zugersee erreichen nur bei lang anhaltenden Ereignissen Höchststände

Ist hingegen die Summe von Speicherung und dem 10-fachen Mittelwert des Ausflusses bei der Hochwassergrenze kleiner als der 10-Tageszufluss bei einem 100-jährlichen Ereignis, so führen lang dauernde Hochwasser zum Überschreiten der Hochwassergrenze. Dies trifft für alle Seen ausser dem Bodensee und Zugersee zu, bei denen die Hochwassergrenze erst bei noch längeren Perioden überschritten wird.

Tab. 2.3 > Zu- und Ausflüsse, sowie Speichermöglichkeiten der Seen.

Seename	Einzugsgebiet [km²]	Seefläche [km²]	Speicherung[1] [mm]	Ausfluss bei mittlerem Seestand [mm/Tag]	Ausfluss bei der Hochwassergrenze [mm/Tag]	Tageszufluss bei 100-jährlichem Ereignis [mm]	10-Tageszufluss bei 100-jährlichem Ereignis [mm]
Bodensee	11'887	541.2	69	3.3	6.5	24	113
Walensee	1061	24.1	66	3.3	22.8	47	216
Zürichsee	1840	90.1	32	10.3	14.1	30	172
Vierwaldstättersee	2251	113.6	44	7.7	13.4	43	191
Sarnersee	267	7.5	30	3.2	11.6	60	188
Zugersee	259	38.3	151	4.0	10.0	49	157
Brienzersee	1129	29.8	40	3.1	18.4	35	182
Thunersee	2490	48.4	12	10.4	13.2	24	151
JGK[2]	8217	280.7	41	4.7	7.8	19	103

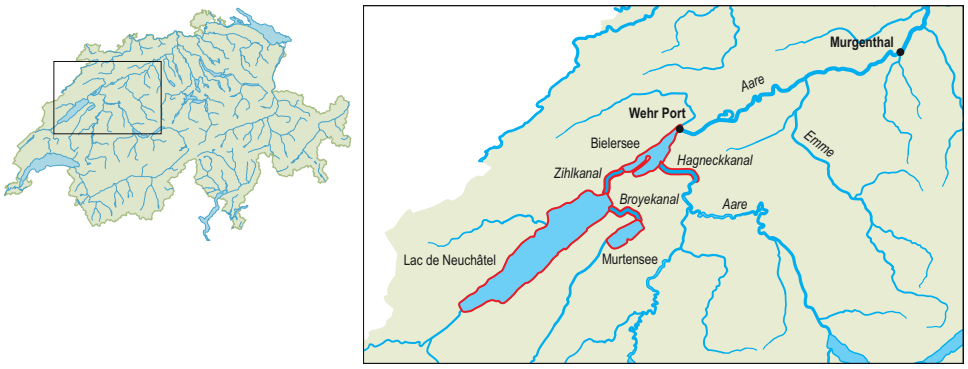
[1] Volumen zwischen der Reguliergrenze (bzw. dem mittleren Seestand) und der Hochwassergrenze, bezogen auf die Fläche des Einzugsgebietes.
[2] Juragewässerkorrektion bestehend aus dem Murten-, Neuenburger- und Bielersee, die als eine zu bewirtschaftende Einheit zu betrachten sind.

2.4.6 Der Sonderfall Juragewässerkorrektion (JGK)

2007 und 2005 wurde die Hochwassergrenze überschritten

Der Bielersee hatte im August 2005 zum ersten Mal seit der 1972 abgeschlossenen zweiten Juragewässerkorrektion (Abb. 2.26) mit einem Höchststand von 430.58 m ü. M. die Hochwassergrenze von 430.35 m ü. M. überschritten. Noch deutlicher wurde die Hochwassergrenze im August 2007 mit 430.69 m ü. M. gleich ein zweites Mal übertroffen. 2007 konnte an der Aare in Murgenthal der Abfluss von 850 m³/s («Murgenthal-Bedingung») nicht eingehalten werden. Die Häufung der Ereignisse und die grossen Schäden, sowohl entlang der Seeufer als auch entlang der unterliegenden Aare, führten zu intensiven Diskussionen, weshalb diese Seegruppe ausführlicher behandelt wird.

Abb. 2.26 > Übersicht über die JGK.



Leistungsfähiges Reguliersystem

Im Rahmen der ersten Juragewässerkorrektion wurden die Aare durch den Hagneckkanal in den Bielersee umgeleitet, bei dessen Ausfluss das Wehr Port errichtet und der Bieler-, Neuenburger- und Murtensee durch Kanäle verbunden. Bei der zweiten Juragewässerkorrektion wurden v. a. die verbindenden Kanäle vergrössert, so dass ein leistungsfähiges hydraulisches System entstand. Das zentrale Element ist der Zihlkanal, der in beide Richtungen durchflossen werden kann und den Bielersee, welcher durch die Aare die grössten Zuflüsse erhält, mit dem Neuenburgersee verbindet. Dessen 220 km² grosse Oberfläche bietet grosse Speichermöglichkeiten. Der Broyekanal zwischen dem Neuenburgersee und dem Murtensee ist zwar für lokale Überschwemmungen im Raum Murten sehr wichtig, beeinflusst aber das gesamte System nicht entscheidend. Die wichtigsten Kenndaten der drei Seen sind in Tab. 2.4 zusammengefasst.

Tab. 2.4 > Kennzahlen der Seen der Juragewässerkorrektion.

	Teilgebiet pro See [km²]	Seefläche [km²]	Mittlerer Seestand [m ü.M.]	Hochwassergrenze [m ü.M.]	Hochwasserrückhalt [cm]	Hochwasserrückhalt [Mio. m³]	Mittlerer Zufluss [m³/s]	Tageszufluss bei 2-jährlichem Ereignis [m³/s]	Tageszufluss bei 100-jährlichem Ereignis [m³/s]
Murtensee	697	23	429.51	430.85	119	27	11	117[1]	242[1]
Neuenburgersee	1975	217.9	429.50	430.5	85	185	38	410[2]	883[2]
Bielersee	5645	39.8	429.43	430.35	107	33	296	648	1240
JGK gesamt	8317	280.7				245	348	927[3]	1845[3]

[1] Daten für den Murtensee erst ab 1979 verfügbar (für die anderen Seen ab 1904)
[2] Inklusive Zufluss aus dem Murtensee
[3] Da die Spitzenzuflüsse an den einzelnen Seen nicht gleichzeitig auftreten, entspricht die Spitze des Gesamtzuflusses nicht der Summe der Zuflussspitzen zu den einzelnen Seen.

Unterschiedliche Hochwassertypen

Die unterschiedlichen Typen von Hochwasser an der Juragewässerkorrektion werden beispielhaft in Abb. 2.27 gezeigt. 1916 bewegten sich die Zuflüsse zum Neuenburgersee und jene zum Bielersee in der gleichen Grössenordnung. 1918 konnte der bisher grösste Tageszufluss beobachtet werden. Die Zuflüsse zum Bielersee waren gleich gross wie 2005, aber damals flossen dem Neuenburger- und Murtensee zusätzlich ca. 800 m³/s zu.

Besonderheiten der Hochwasser 2005 und 2007

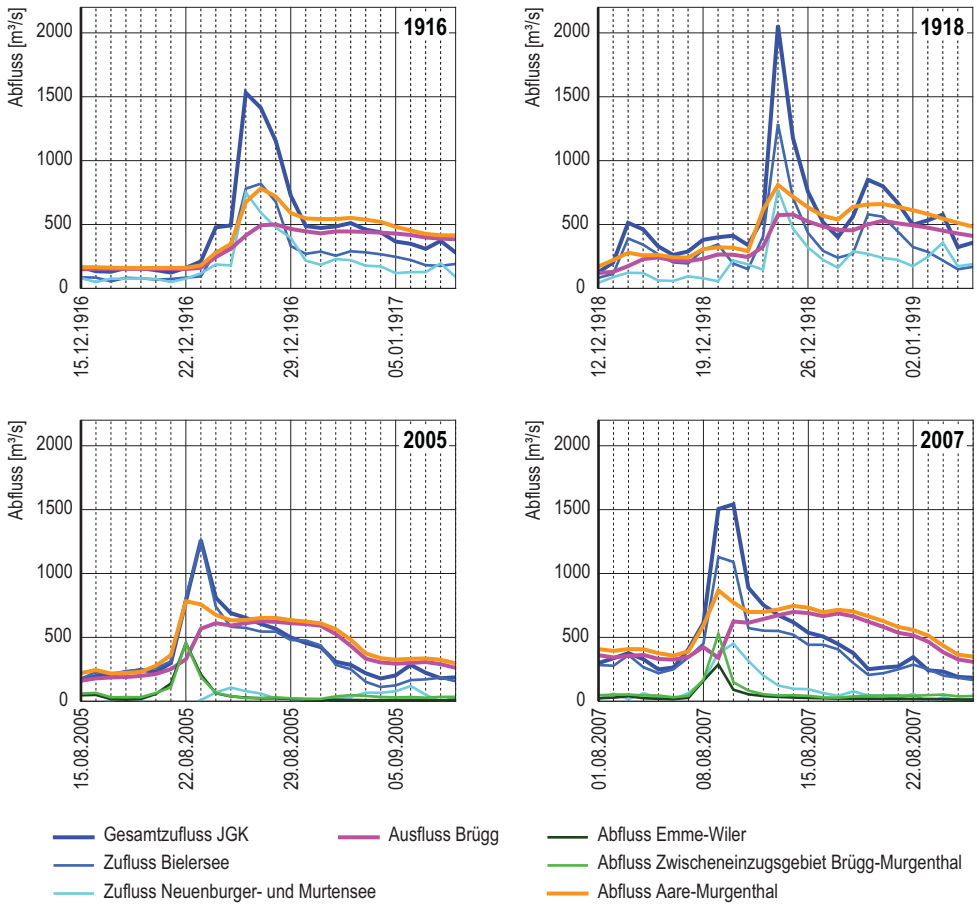
Aussergewöhnlich am Hochwasser 2005 war das fast vollständige Fehlen von Zuflüssen zum Neuenburgersee. Die Besonderheiten von 2007 liegen in den grossen Zuflüssen unterhalb des Bielersees und dem ungewöhnlichen zeitlichen Zusammentreffen der Spitzenabflüsse der Emme und des restlichen Zwischeneinzugsgebietes unterhalb des Bielersees. Bei Massnahmen der Juragewässerkorrektion muss daher die räumliche und zeitliche Verteilung der Zuflüsse beachtet werden.

Einfluss der zweiten Juragewässerkorrektion

Die Ereignisse vor 1972 fanden u. a., seither veränderten geometrischen Randbedingungen statt. Der Zihlkanal war noch nicht so leistungsfähig wie heute. Es wurden deshalb verschiedene historische Hochwasser mit den aktuellen Bedingungen nachgerechnet (TK Consult AG, 2007).

Abb. 2.27 > Ganglinien der Tagesmittelwerte verschiedener historischer Hochwasser an der Juragewässerkorrektion.

Die in der Abbildung gezeigten Tagesmittelwerte weichen teilweise deutlich von den gemessenen Abflussspitzen ab. Die Spitzenwerte der Aare bei Murgenthal für die gezeigten Ereignisse betrugen: 1916: 800 m³/s; 1918: 876 m³/s; 2005: 937 m³/s und 2007: 1259 m³/s.

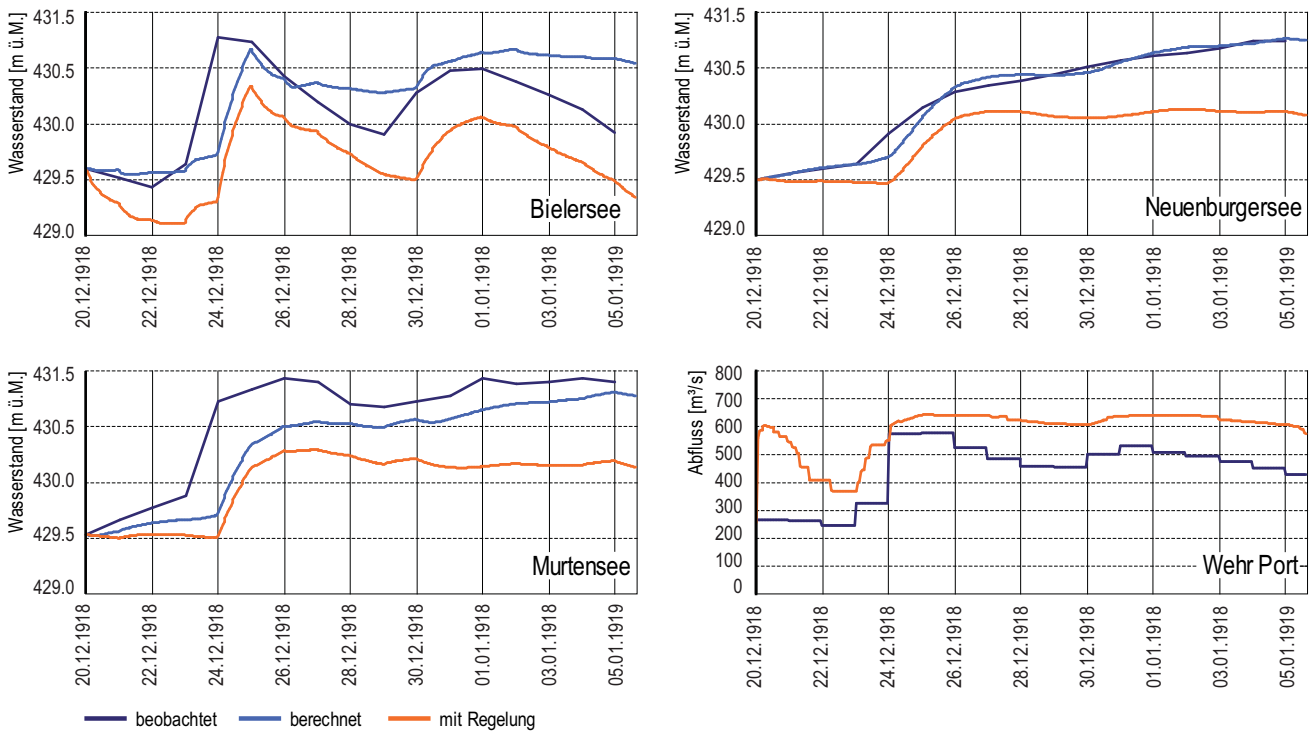


Wirkung der 2. JGK am Beispiel des Hochwassers von 1918

Aus Abb. 2.28 ist die Wirkung der zweiten Juragewässerkorrektion am Beispiel des Hochwassers 1918 ersichtlich. Es zeigt sich eine deutliche Absenkung des Murtensees, da dieser nun über den ausgebauten Broyekanal besser in den Neuenburgersee entlasten kann. Bei gleich bleibendem Abfluss in Port ist bei den Wasserständen im Neuenburgersee nur eine unbedeutende Zeitverschiebung festzustellen. Der Bielersee steigt deutlich später an, da er am Morgen des 24.12.1918 stärker in den Neuenburgersee entlasten kann und erreicht auch nicht ganz den historischen Höchststand. Allerdings sinkt er auch nicht zwischen dem 26.12.1918 und 30.12.1918, denn nun erhält er grössere Zuflüsse vom Neuenburgersee. Die zweite Welle der Zuflüsse aus dem Hagneckkanal trifft nun auf einen höheren Seestand am Bielersee und, obwohl dieser Zufluss nur halb so gross wie die erste Welle ist, steigt der Bielerseee über das historische Niveau und erreicht den gleichen Höchststand wie bei der ersten Spitze. Erst wenn der Ausfluss aus dem Bielersee nach dem heutigen Reglement gesteuert wird, also deutlich höhere Seeausflüsse zugelassen sind, können die Wasserspiegel merkbar gesenkt werden.

Abb. 2.28 > Nachrechnung des Hochwassers 1918: Seestände des Bieler-, Neuenburger und Murtensees sowie Ausfluss beim Wehr Port.

beobachtet: Seestände 1918 und gemessener Ausfluss,
berechnet: Simulation mit heutiger Geometrie des Zihlkanals und dem 1918 gemessenen Ausfluss,
mit Regelung: Simulation mit heutiger Geometrie des Zihlkanals und Betrieb des Wehrs Port nach heutigem Reglement.



Quelle: TK Consult AG, 2007

Seezuflüsse sind bestimmend

Das obige Beispiel zeigt, dass für die Seestände im Neuenburgersee – und dieser ist für das Gesamtsystem umso wichtiger, je effektiver die hydraulische Verbindung mit dem Bielersee ist – die Bilanz zwischen Zu- und Seeausflüssen über längere Perioden entscheidend ist. Da Ausflüsse beeinflussbar sind, Zuflüsse jedoch nicht, sind in Tab. 2.5 die 10 grössten beobachteten Zuflüsse für verschiedene Dauerstufen aufgeführt.

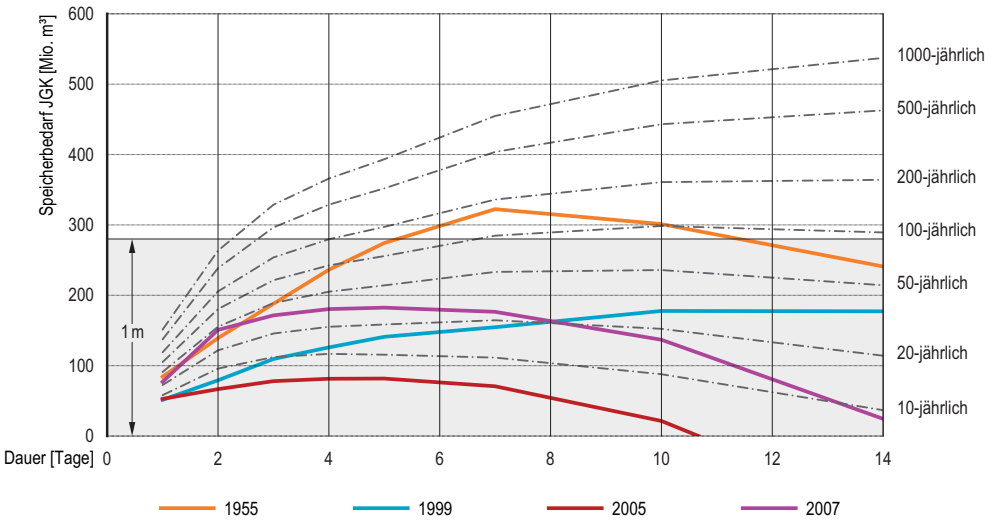
Tab. 2.5 > Grösste beobachtete mittlere Zuflüsse für verschiedene Dauerstufen.

Rang	1 Tag		3 Tage		5 Tage		10 Tage		14 Tage	
	Jahr	[m³/s]	Jahr	[m³/s]	Jahr	[m³/s]	Jahr	[m³/s]	Jahr	[m³/s]
1	1918	2057.0	1944	1491.2	1955	1284.9	1955	998.6	1955	849.2
2	1910	1740.0	1910	1460.0	1944	1243.2	1944	943.0	1999	796.5
3	1944	1659.1	1955	1375.2	1910	1112.3	1999	855.7	1950	794.2
4	1955	1626.0	1916	1366.0	2007	1072.3	1919	833.9	1944	774.2
5	2007	1541.4	1918	1330.0	1916	1063.4	2007	808.3	2006	743.6
6	1916	1530.9	2007	1311.6	1918	1011.7	1950	804.5	1919	734.8
7	1990	1329.1	1950	1084.5	1999	976.4	1918	801.0	1987	732.2
8	1950	1278.9	1990	1084.1	1950	895.3	1987	794.8	1910	696.6
9	1946	1273.2	1999	1072.4	1990	895.0	1952	778.2	1924	692.5
10	2005	1261.5	1939	1026.0	1952	890.4	1917	775.2	1992	686.3

Die statistische Auswertung von Tab. 2.5 und der sich daraus ergebende Speicherbedarf sind in Abb. 2.29 dargestellt. Der grösste Speicherbedarf entsteht im Bereich der Dauerstufen von 7 bis 14 Tagen.

Abb. 2.29 > Erforderliche Speichervolumina bei Zuflüssen verschiedener Dauerstufen und Eintretenswahrscheinlichkeiten, wenn ein Abfluss in Port von 650 m³/s eingehalten wird.

Gezeigt werden neben den theoretischen Speicherbedarfskurven (strich-punktiert) auch die entsprechenden Kurven für die Ereignisse 1955, 1999, 2005 und 2007, berechnet aus den realen Zuflüssen und unter Annahme eines konstanten Ausflusses von 650 m³/s.



Massnahmen wirken je nach Hochwassertyp unterschiedlich

Durch die Massnahmen bei der JGK lassen sich folgende Wirkungen erkennen: Eine hydraulisch leistungsfähigere Verbindung zwischen Neuenburger- und Bielersee kann bei einem Hochwasser wie 2005 Verbesserungen bringen, macht aber das ganze System träger, da die Wasserstände des Neuenburgersees – bei alleiniger Anwendung dieser Massnahme – kaum verändert werden. Diese Trägheit kann bei mehreren Abflusswellen Nachteile haben, da ein rasches Absenken des Bielersees nicht mehr möglich ist. Wirksam sind v. a. grosse Abgaben beim Wehr Port, die das zu speichernde Volumen verringern. Dabei sind aber die Abflüsse entlang der gesamten Aare zu beachten. Zur Einhaltung der Murgenthal-Bedingung sind Feinregulierungen über Zeitspannen von 24 bis 48 Stunden notwendig, die einen zusätzlichen Speicherbedarf in der Grössenordnung von 20 bis 30 Mio. m³ bedingen können. Da bei einer Ereignisdauer zwischen 7 und 14 Tagen das Seesystem um bis zu 2 m ansteigen könnte, sind auch Überlegungen zu machen, in welchen Fällen die Murgenthal-Bedingung nicht mehr einzuhalten ist.

2.4.7 Folgerungen

Die ausgleichende Wirkung der Seen erschöpft sich in der Regel bei einer Ereignisdauer über 7 Tage. Für diese Dauerstufe vermindern sich die Zuflüsse auf 40 und 70 % des 100-jährlichen Tageszuflusses. Die Ausflusskapazitäten der Seen sollen daher diese Grössenordnung erreichen, sofern nicht aussergewöhnlich hohe Speichermöglichkeiten bestehen. Die Entwicklung des mittleren Zuflusses in Abhängigkeit der Ereignisdauer lässt sich gut über den Variationskoeffizienten der langjährigen Zuflussmessreihen beschreiben. Demzufolge nimmt der Zufluss in kleinen und rasch reagierenden Gewässern rascher ab, als in den grossen Flüssen. Die Zuordnung der Wiederkehrperiode ist eine Notwendigkeit, um Abflüsse vergleichen zu können. Wie weit sie von der Realität entfernt sein kann, zeigt sich am Sarnersee mit drei «100-jährlichen» Hochwassern innerhalb von 10 Jahren (1999, 2004 und 2005) oder ähnlich bei der JGK mit den grossen Hochwassern von 1910, 1916 und 1918.

Hochwassermanagement an Seen kann grundsätzlich durch Bereitstellung einer hohen Ausflusskapazität und/oder eines grossen Rückhaltevolumens erfolgen. Mit den in diesem Kapitel aufgezeigten Volumenstatistiken lassen sich erstmals mögliche Massnahmen und Massnahmenkombinationen beurteilen und bewerten.

2.5 Grundwasser

Michael Sinreich, Marc Schürch, Ronald Kozel

2.5.1 Einführung

Relevanz des Grundwassers

Das Hochwasserereignis von 2005 hat in vielfältiger Weise auf Mensch und Umwelt eingewirkt. Meist werden aber nur die sich an der Oberfläche abspielenden und damit unmittelbar sichtbaren Komponenten eines solchen Ereignisses wahrgenommen. Jedoch spielen sich auch im Untergrund wichtige Prozesse ab, die in direktem Zusammenhang mit einem Hochwasserereignis an der Oberfläche stehen. So stellt die Grundwassersituation vor, während und nach einer Hochwasserwelle eine nicht zu vernachlässigende Grösse in Bezug auf den Verlauf des Ereignisses, seine Intensität und die damit verbundenen Schäden dar. Auch kann das Grundwasser selbst sehr empfindlich auf Schadstoffeintrag während Starkniederschlägen und in Hochwassersituationen reagieren.

Zielsetzung

Ausgehend vom Hochwasser 2005 sollen in diesem Beitrag die Phänomene, welche in einer solchen Situation durch und auf das Grundwasser wirken, beispielhaft dargestellt werden. Das Ziel ist, die Relevanz oberflächennahen Grundwassers sowohl hinsichtlich seines Schadenspotenzials als auch hinsichtlich einer qualitativen Beeinträchtigung während Hochwasserereignissen aufzuzeigen. Ein weiterer wichtiger Aspekt, nämlich die Rolle des Wassers im Untergrund als auslösendes Moment von Massenbewegungen, soll hier nicht weiter behandelt werden.

2.5.2 Grundlagen

Grundwasserneubildung

Grundwasserneubildung geschieht einerseits durch die Versickerung von Niederschlag und andererseits durch die Infiltration von Wasser aus fliessenden und stehenden Oberflächengewässern in den Untergrund. Diese Vorgänge laufen bei Starkniederschlägen und Hochwasser verstärkt ab. Besonders in den grossen Flusstälern der Schweiz sind die dortigen Lockergesteins-Grundwasserleiter aus mächtigen Schotterablagerungen hydraulisch eng an die entsprechenden Flüsse gebunden. Dabei werden in räumlich und zeitlich oft variabler Wechselwirkung sowohl das Grundwasser durch den Oberflächenabfluss, als auch der Oberflächenabfluss durch die Situation im Grundwasser beeinflusst.

Beeinträchtigungen durch das Grundwasser

Bei Hochwasserereignissen stehen zum einen die quantitativen Aspekte des Grundwassers und die damit einhergehenden Auswirkungen im Vordergrund (Tab. 2.6). Stark erhöhte Wasserstände in Oberflächengewässern können zu rasch ansteigenden und extrem hohen Grundwasserständen mit Überflutung von tiefliegendem Kultur- und Siedlungsraum führen. Kellergeschosse werden überschwemmt bzw. durch den äusseren Wasserdruck beschädigt. Durch extreme Grundwasserhochstände können so auch Gebiete überschwemmt werden, die dank ausreichendem Hochwasserschutz (Dämme, Deiche) vor einer direkten Überschwemmung durch Oberflächenwasser

geschützt sind. Eine hohe Ausgangssättigung des Untergrundes wiederum kann Hochwasserereignisse noch verstärken, indem kurzfristig anfallende Wassermengen bei Starkniederschlägen nur z. T. ins Grundwasser versickern können und daher verstärkt oberflächlich abfliessen. Letztlich kann eine hohe Wassersättigung infolge intensiver Niederschlagsereignisse auch Auslöser von oberflächennahen Rutschungen und Murgängen sein.

Tab. 2.6 > Mögliche Beeinträchtigungen durch das Grundwasser (Quantität) bei Hochwasserereignissen.

Phänomen	Prozess	Auswirkungen	Schäden	Schadens-potenzial	Konsequenzen/Massnahmen
Verringerte Infiltration, erhöhter Oberflächen-abfluss	Reduziertes Wasseraufnahme- und -rückhaltevermögen des Untergrundes	Begünstigung von Hochwasser in Oberflächengewässern	Indirekt; Verstärkung der Hochwassersituation	regional/ hoch	Indirekt; Massnahmen zum Hochwasserschutz, Berücksichtigung des Wasseraufnahme- und -rückhaltevermögens bei der Hochwasservorhersage
Hohe Grundwasser-stände	Verstärkte Infiltration aus Niederschlag und Oberflächengewässern	Hochwassersituation im Grundwasser über normalem Schwankungs-bereich	Flutung von tiefliegenden Gebäudeteilen und Infrastruktur, Beeinträchtigung der Gebäudestatik	lokal/mittel	Thematische Karten mit Restriktionen für die Bebauung, technische Gebäudemassnahmen, situatives Grundwasser-Monitoring
Grundwasserstände über Geländeoberkante	Vertikale Exfiltration von Grundwasser	Überschwemmungen ohne direkte Einwirkung von Oberflächengewässern	Flutung von Kulturland, Siedlungen und Infrastruktur	lokal bis regional/ mittel	Thematische Karten mit Restriktionen für die Bodennutzung und Bebauung
Wasser(über)sättigung des Untergrundes in Hangbereichen	Erhöhung der hangtreibenden Kräfte, Verringerung der Scherfestigkeit	Auslösen von Massenbewegungen (Rutschungen und Hangmuren)	Zerstörung von Bauten und Infrastruktur	lokal/mittel bis hoch	Gefahrenkarten für Massenbewegungen, technische Massnahmen (z. B. Drainage)

Beeinträchtigungen des Grundwassers

Zum anderen kann es in Hochwassersituationen zu Beeinträchtigungen der Qualität des Grundwassers kommen, der wichtigsten Trinkwasserressource der Schweiz (Tab. 2.7). Die am stärksten genutzten Grundwasservorkommen befinden sich in den Lockergesteins-Grundwasserleitern entlang der grossen mittelländischen Flusstäler und sind in der Regel aufgrund ihrer hydraulischen Flussanbindung den Einflüssen eines Hochwassers besonders unterworfen. Zusätzlich handelt es sich dabei auch um die am dichtesten besiedelten und intensivsten genutzten Landesteile, in welchen das Potenzial für Schadstoffemissionen am höchsten ist. Eine verstärkte Belastung der Oberflächengewässer durch persistente und mobile Schadstoffe sowie pathogene Mikroorganismen kann bei Hochwasser auch im flussnahen Grundwasser zu Problemen führen. Mögliche Prozesse sind dabei die verstärkte Infiltration von verunreinigtem Flusswasser, die Überschwemmung von Fassungseinzugsgebieten sowie die Mobilisierung von Schadstoffen aus normalerweise ungesättigten Untergrundbereichen. Bei Starkniederschlägen und Hochwasser müssen an flussnahen Pumpbrunnen, aber auch an schnell reagierenden Quellen, spezifische Monitoring- und Aufbereitungsmassnahmen ergriffen oder das Wasser dieser Fassungen mitunter vorübergehend verworfen werden.

Tab. 2.7 > Mögliche Beeinträchtigungen des Grundwassers (Qualität) bei Starkniederschlägen und Hochwasserereignissen.

Phänomen	Prozess	Auswirkungen	Schäden	Schadens-potenzial	Konsequenzen/Massnahmen
Verstärkte Infiltration aus Fliessgewässern	Erhöhung des Fliessgradienten, Dekolmatierung der Flusssohle, Überschwemmung nicht kolmatierter Bereiche des Flussbetts	Eintrag von Schadstoffen durch in Hochwassersituationen verstärkt verunreinigtes Flusswasser	Beeinträchtigung flussnaher Grundwasserfassungen, potenzieller Ausfall der Wasserversorgung	lokal/mittel	Messung von Indikatorparametern, Behandlung oder Verwerfen des Rohwassers, alternative Wasserversorgung, Berücksichtigung bei Revitalisierungsmassnahmen
Versickerung von Oberflächenwasser in Einzugsgebieten von Grundwasserfassungen	Überschwemmung durch Oberflächengewässer ausserhalb des Flussbetts, Überschwemmung von Fassungsanlagen	Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund und allenfalls sogar direkt in Grundwasserfassungen	Beeinträchtigung von Trinkwasserfassungen, potenzieller Ausfall der Wasserversorgung, technische Schäden an Fassungseinrichtungen	lokal/mittel	Messung von Indikatorparametern, Behandlung oder Verwerfen des Rohwassers, alternative Wasserversorgung, technische Schutzmassnahmen an Fassungen
Hohe Grundwasserstände über normalem Schwankungsbereich	Starke Infiltration aus Niederschlag und/oder Oberflächengewässern	Freisetzung von Schadstoffen in das Grundwasser durch Flutung tiefliegender Gebäudeteile	Aufschwimmen und Leckschlagen von Öltanks, Verunreinigung des Grundwassers	lokal/mittel	Thematische Karten mit Restriktionen für die Bebauung, technische Massnahmen
Hoher Sickerwasserfluss	Verstärkte Infiltration aus Niederschlag und Oberflächengewässern	Eintrag von verunreinigtem Sickerwasser in das Grundwasser und Auswaschung von Schadstoffen	Verunreinigung des Grundwassers durch persistente Schadstoffe und pathogene Keime	lokal bis regional/ mittel	Angepasste Bodenbewirtschaftung im Einzugsgebiet, Sanierung von Altlasten

Untersuchungsbedarf

Die mit einem Hochwasser einhergehenden Grundwasserphänomene treten nur selten ins Bewusstsein der Öffentlichkeit. Dies gilt erst recht für Ereignisse mit hoher Wiederkehrperiode. Auch sind die zugrundeliegenden Prozesse und die Auswirkungen nicht immer ersichtlich oder messbar, zumal sie in den meisten Fällen von der Komponente des Oberflächenabflusses überdeckt werden. Dennoch kann eine zunehmende Sensibilisierung der interessierten Öffentlichkeit, der Medien, der Wirtschaft (u. a. Versicherungen) und der Fachwelt für den Aspekt der Interaktion von Grundwasser und Hochwasser festgestellt werden (z. B. Hoehn et al., 2007). Eine umfassende Fallanalyse zu diesem Thema wurde von der Landeshauptstadt Dresden des Freistaates Sachsen für das dortige Hochwasserereignis 2002 kürzlich herausgegeben (Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2005). Weiterer Untersuchungsbedarf ist sicherlich gegeben. Nicht zuletzt die Starkniederschläge und das Hochwasser vom August 2005 haben das bedeutende Schadenspotenzial und die erhebliche Verletzlichkeit von oberflächennahen Grundwasservorkommen in der Schweiz aufgezeigt (Schürch et al., 2008).

2.5.3 Grundwasserquantität in Hochwassersituationen

Neue Höchststände

Das Hochwasser vom August 2005 hat in der Schweiz nicht nur zu neuen Rekordwerten für den Abfluss einiger Flüsse geführt, es hatte auch deutlichen Einfluss auf den Zustand des Grundwassers. An mehreren Messstellen im Messnetz zur Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA wurden neue Höchstmarken für die Grundwasserstände gemessen; teilweise ergaben sich ereignisbezogene Grundwasserstandsschwankungen im Meter-Bereich. Dabei waren naturgemäss hauptsächlich diejenigen

Grundwassermessstellen betroffen, welche sich nahe der hochwasserführenden Flüsse befinden, so etwa im Aare- und Reusstal und in der Innerschweiz. Ebenso wurden an einigen Quellen extreme Schüttungswerte beobachtet, v. a. bei unmittelbar auf Niederschlagsereignisse reagierenden Karstquellen. So erreichte die Quelle der NAQUA-Messstelle Schlichenden Brünnen (SZ), welche den Karst-Grundwasserleiter des Hölloch-Systems entwässert, im Zuge der Starkniederschläge einen neuen Höchstwert für die Schüttung von über 20 m³/s, wogegen in den vorangegangenen 15 Jahren bis maximal 15 m³/s gemessen worden waren (Abb. 2.30 und Abb. 2.31). Dass in diesem Fall innerhalb kürzester Zeit enorme Niederschlagsmengen vom Untergrund aufgenommen wurden, verdeutlichen auch Auswertungen des Schweizerischen Erdbebendienstes für dieses Gebiet (Husen et al., 2007). Während des Hochwassers wurde eine zwar völlig unbedenkliche, jedoch eindeutig erhöhte Mikroseismizität im Bereich des Karstmassivs festgestellt, welche auf einen extremen Wasserdruck in den tieferen Klüften des Systems hinweist.

Abb. 2.30 > Karstquelle und NAQUA-Messstelle Schlichenden Brünnen in Muotathal (SZ) in einer Hochwassersituation.

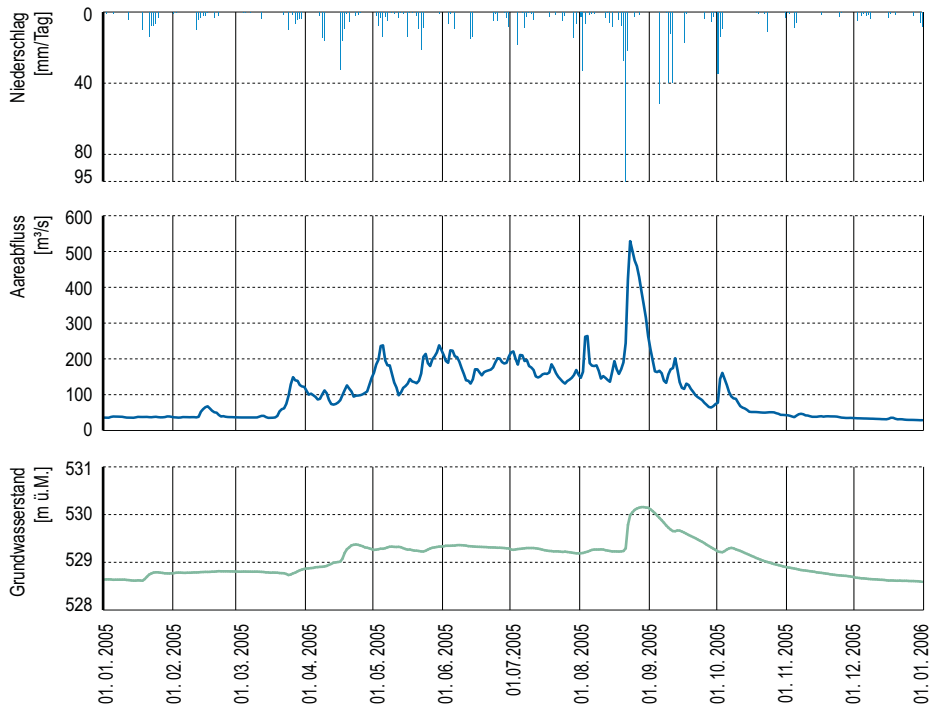
Abb. 2.31 > Die starke Quellschüttung führte im Zuge der Starkniederschläge vom August 2005 zu entsprechenden Schäden an der Messstelle.

Foto: AG Höllochforschung

Gedämpfte Reaktion im Grundwasser

Ein typisches Beispiel für die Reaktion von an Flüsse gebundenen Lockergesteins-Grundwasserleitern auf das Hochwasser 2005 zeigt Abb. 2.32. Für die NAQUA-Messstelle Oberwichtrach (BE) im Aaretal ist der Gang des Grundwasserstandes in Abhängigkeit des Flusspegels und der lokalen Niederschlagsverteilung aufgezeigt. Infolge des Starkregens und des Hochwassers der Aare stieg auch der Grundwasserspiegel an der Messstelle rapide und übermässig hoch an, und erreichte einen neuen Höchststand für den Monat August innerhalb der letzten 20 Jahre. Auffallend ist die deutliche, jedoch leicht verzögerte Reaktion des Grundwasserstandes auf das Flusshochwasser. Diese Trägheit des Systems äussert sich auch in der längeren Dauer erhöhter Grundwasserstände im Vergleich zum schnellen Rückgang des Flusspegels. Beeinträchtigungen durch hohe Grundwasserstände müssen also zeitlich nicht immer mit einer oberflächlichen Überflutung einhergehen, was mit zusätzlichen Problemen bei der Bewältigung eines solchen Ereignisses verbunden sein kann.

Abb. 2.32 > Jahresgang des Abflusses der Aare bei Thun und des Grundwasserstandes an der flussnahen NAQUA-Messstelle Oberwichtrach (BE) für das Jahr 2005 (Niederschlagsdaten Station Thun, MeteoSchweiz).



Bedeutung des Wasseraufnahme- und -rückhaltevermögens

Die Ausserordentlichkeit des Ereignisses wird noch deutlicher, wenn man bedenkt, dass der Grundwasserstand an der Messstelle Oberwichtrach in den Monaten vor dem Hochwasser 2005 stets unterhalb des langjährigen Mittels lag. Unter diesen Bedingungen besitzt der Untergrund noch ein relativ hohes Wasserrückhaltevermögen. Liegen dagegen erhöhte initiale Grundwasserstände bzw. eine hohe Bodenfeuchte vor, können bereits deutlich geringere Niederschläge ähnliche Hochwasserspitzen hervorrufen. So wurden an derselben Messstelle für das Hochwasser 1999 vergleichbare Werte für Abfluss und Grundwasseranstieg gemessen, obwohl es sich nur um ein Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrperiode von < 3 Jahre handelte (Schürch et al., 2008). Damals waren dem Hochwasser deutlich erhöhte Grundwasserstände vorausgegangen, wodurch das Aufnahmevermögen des Untergrundes offenbar merklich herabgesetzt war, was wiederum zu erhöhtem Oberflächenabfluss führte.

Hohe Grundwasserstände begünstigen Hochwasser

Im Extremfall kann der Grundwasserspiegel bis zur oder mitunter sogar über die Geländeoberkante ansteigen. In einem solchen Fall verfügt der Untergrund über kein weiteres Wasseraufnahmevermögen und damit auch keine Kapazität zur Dämpfung von Hochwasserspitzen mehr. Hohe Grundwasserstände können demnach als ein das Hochwasser begünstigender Faktor angesehen werden. Wie Ereigniskarten für das Hochwasser in Dresden aus dem Jahr 2002 zeigen, ergaben sich für weite Überschwemmungsbereiche Grundwasserstände nur knapp unter der Oberfläche, wogegen

sie für mittleres Hochwasser stets in einer Tiefe von bis zu 3 m gelegen hatten (Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2005).

2.5.4 Grundwasserqualität bei Starkniederschlägen und Hochwasser

Erhöhter Stoffeintrag

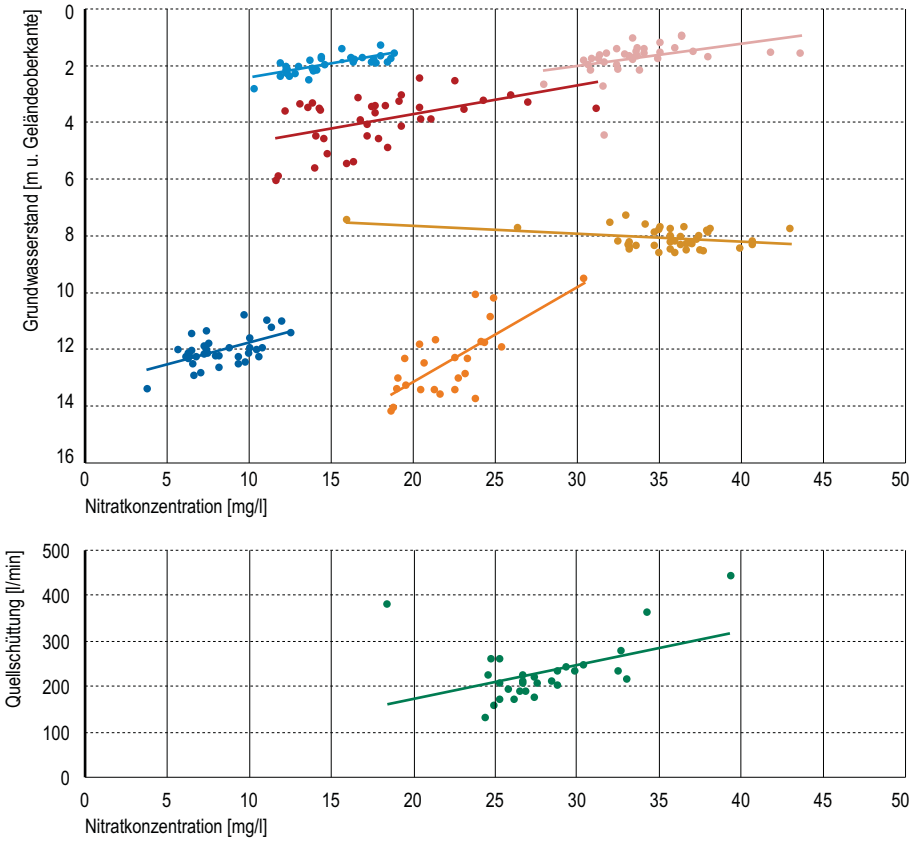
Grundwasser ist im Zuge von Starkniederschlägen und während Hochwasserereignissen generell anfälliger auf Schadstoffeintrag als in Normalsituationen. In diesen Phasen können Schadstoffe in grösseren Mengen mobilisiert werden und in die gesättigte Zone des Grundwasserleiters gelangen. Dies gilt sowohl für die Versickerung von Niederschlagswasser in den Untergrund, für ansteigende Grundwasserspiegel, als auch für die Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter, wie dies bei flussgebundenen Lockergesteins-Grundwasserleitern der Fall ist. Normalerweise führt Flussinfiltration bei schweizerischen Verhältnissen zur Anreicherung flussnahen Grundwassers mit geringer mineralisiertem Oberflächenwasser und damit zu einem Rückgang der Stoffkonzentrationen im Grundwasser. Im Hochwasserfall weist das Flusswasser jedoch oft eine erhöhte Schadstofffracht auf, wodurch es trotz Verdünnung zu einem Anstieg der Konzentrationen, v. a. von pathogenen Mikroorganismen, im Grundwasser kommen kann. Aus diesem Grund muss bei Hochwasser immer wieder die Wassergewinnung an ufernahen Pumpbrunnen unterbrochen werden. Auch Quellen, v. a. diejenigen mit einer schnellen Abflusskomponente in Kluft- und Karst-Grundwasserleitern, weisen regelmässig Beeinträchtigungen der Wasserqualität mit ansteigender Quellschüttung auf.

Beispiel Nitrat

Abb. 2.33 zeigt, ausgehend von den Grundwasserflurabständen, den Zusammenhang zwischen Grundwasserstand und Nitratgehalt an einigen NAQUA-Messstellen, an denen ein solcher Zusammenhang etabliert werden kann. Für diskrete Probenahmezeitpunkte über mehrere Jahre zeigt sich hier, dass je höher der jeweilige Grundwasserstand bzw. je grösser die Quellschüttung ist, desto höher liegt auch der Nitratgehalt im Grundwasser. Dieser Zusammenhang, welcher sich an den aufgeführten Messstellen auch für gelöstes organisches Material feststellen lässt, zeigt mögliche Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität während Perioden erhöhter Grundwasserneubildung auf. Nitrat kann hier als Indikatorparameter für persistente, diffus an der Oberfläche ausgebrachte Stoffe angesehen werden. Diese werden in Niederschlagsperioden vermehrt in den Untergrund eingetragen, bzw. werden zunächst während Trockenphasen in der ungesättigten Zone angereichert und dann durch erhöhten Sickerwasserfluss und ansteigende Grundwasserspiegel remobilisiert.

Abb. 2.33 > Beziehung zwischen Grundwasserflurabstand bzw. Quellschüttung und dem Gehalt an Nitrat im Grundwasser an ausgewählten NAQUA-Messstellen einschliesslich linearer Korrelation.

Unterschiedliche Farben zeigen unterschiedliche Messstellen.



Verdünnungseffekt vs. verstärkter Stoffeintrag

Die aufgeführten Daten verdeutlichen, dass in Situationen hoher Grundwasserstände bzw. verstärkter Grundwasserneubildung der Oberflächeneinfluss erhöht und das Grundwasser anfälliger gegenüber natürlichem und anthropogenem Stoffeintrag sein kann. Die durch eine erhöhte Infiltration meist zeitgleich einsetzende Verdünnung im Grundwasserleiter reicht in diesen Beispielen nicht aus, den Konzentrationsanstieg durch die mit dem Niederschlag zusätzlich eingetragenen Schadstoffmengen zu kompensieren. Andererseits gibt es auch Beispiele, bei denen der Verdünnungseffekt dominiert (Abb. 2.33). Schadstoffe mit spezifischem Transportverhalten (z. B. Adsorption, Abbau) können noch komplexere Zusammenhänge nach sich ziehen.

Beeinträchtigung flussnaher Pumpbrunnen

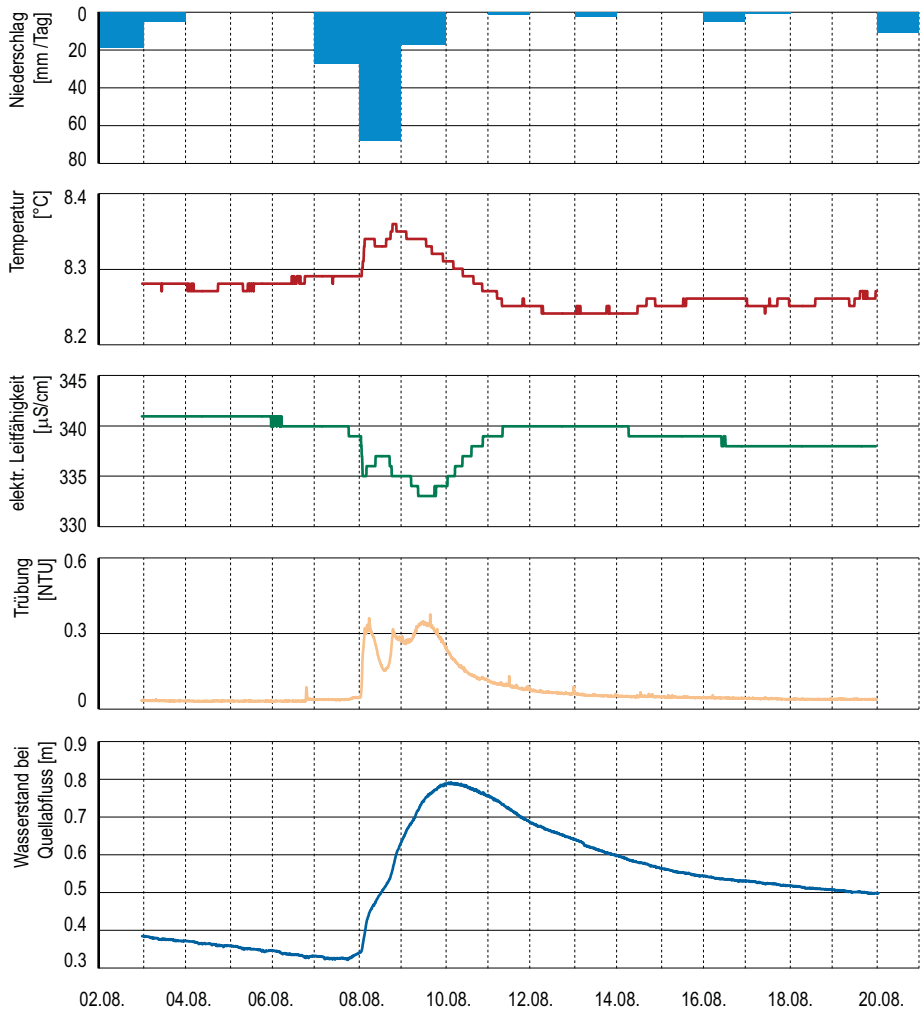
Durch erhöhte Flusswasserinfiltration in Hochwassersituationen kann es ebenfalls zu einem Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser kommen. Flussnahe Grundwasserfassungen können dann durch Schadstoffe betroffen sein, welche sich zu diesem Zeitpunkt in grossen Konzentrationen im Oberflächenwasser befinden können (v. a. Partikelstoffe, pathogene Mikroorganismen, organische Substanzen). So mussten während des Hochwassers 2005 mehrere der Wasserversorgung dienende Pumpbrunnen in der Schweiz ausser Betrieb genommen werden. Meist werden dabei die Trübungswerte

des geförderten Wassers als Indikator für eine mögliche mikrobielle Belastung herangezogen.

Beeinträchtigte Quellen

In ähnlicher Weise sind auch Quellfassungen vom Auftreten pathogener Mikroorganismen im Zuge von Starkniederschlägen betroffen. Abb. 2.34 zeigt das Hydrogramm einer alpinen Karstquelle im Zuge eines Niederschlagsereignisses mit unmittelbarem Ansprechen der Quellschüttung und der physikalisch-chemischen Wasserparameter. Dabei ist ein signifikanter Anstieg der Trübung des Quellwassers zu verzeichnen, welcher als Indikator für das Auftreten pathogener Mikroorganismen verwendet wird. In der Tat wurden an dieser Messstelle bei Hochwasserbeprobungen deutlich erhöhte Keimzahlen im austretenden Grundwasser festgestellt (Greber et al., 2005).

Abb. 2.34 > Hydrogramm einer alpinen Karstquelle (NAQUA-Messstelle) während eines Niederschlagsereignisses mit unmittelbarem Ansprechen der unterschiedlichen Quellparameter.



Niederschlagsdaten MeteoSchweiz

2.5.5 Grundwasserbedingte Schäden

Relevanz im Versicherungsfall

Eine Unterscheidung zwischen Hochwasserschäden, die durch Oberflächenwasser verursacht sind, und solchen, welche primär auf Grundwasser zurückgehen, ist nicht immer abschliessend möglich. Allerdings wird in Versicherungspolicen bei der Frage der Schadensursache oft auf diese Unterscheidung verwiesen, wobei in der Gebäudeversicherung im Regelfall Schäden durch Grundwasser nicht abgedeckt sind. Insofern ist die Kenntnis um den Einfluss des Grundwassers und die Abgrenzung zum Oberflächenwasser auch von realem ökonomischem Interesse.

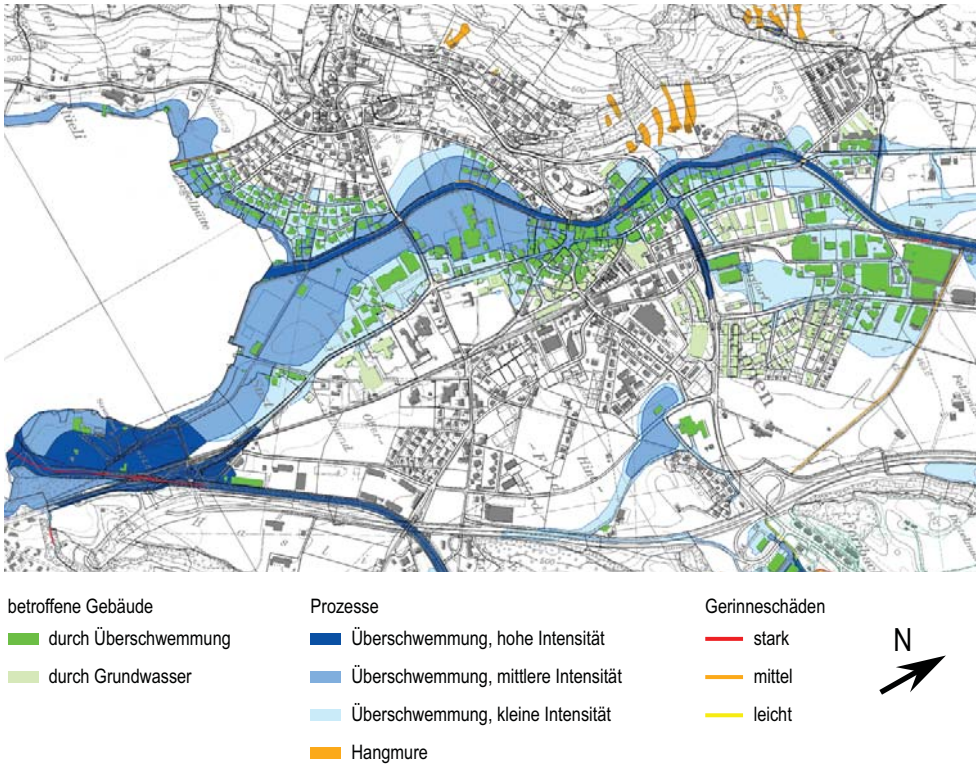
Erhebliches Schadenspotenzial

Abschätzende Angaben von Schweizer Gebäude- und Sachversicherern ergaben, dass zwischen 1 % und 5 % der Überschwemmungsschäden während des Hochwassers 2005 allein auf das Grundwasser zurückzuführen sind. Weitaus höher ist zudem die Anzahl der Mischfälle, bei denen es zu einem mehr oder minder gleichzeitigen Zusammenspiel von oberflächlicher Überschwemmung und aufsteigendem Grundwasser kommt. Dieser Anteil kann laut Angaben durchaus ein Drittel der Schäden ausmachen. Fundiertere Daten liegen für das Hochwasser 2002 im Freistaat Sachsen vor (Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2005). Im Zuge des verheerenden Ereignisses wurden dort für landeseigene Liegenschaften rund 16 % der Schadenssumme auf die Wirkung von hohem Grundwasser zurückgeführt. Würde dies auf die Gesamtschadenssumme im Freistaat Sachsen hochgerechnet, entspräche es einem Betrag von umgerechnet etwa 2 Mrd. CHF.

Schadenskarte Kanton Obwalden

Die Ereignisdokumentation des Kantons Obwalden für das Hochwasser 2005 enthält u. a. eine Karte des Sarneraatals mit erfassten Schäden, welche durch Oberflächen- bzw. Grundwasser hervorgerufen wurden (Abb. 2.35, Kanton Obwalden, Amt für Wald und Raumentwicklung, 2006). Diese Region war eines der vom Hochwasser 2005 am stärksten betroffenen Gebiete der Schweiz. Neben den Überschwemmungsgebieten und damit verbundenen Gebäudeschäden (dunkelgrün in Abb. 2.35) sind auf der Karte auch jene Bereiche dargestellt, in denen Schäden ausschliesslich von hohen Grundwasserständen herrühren (hellgrün). Diese Schadensbereiche durch das Grundwasser schliessen meist randlich an die eigentlichen Überschwemmungsbereiche an. Dies veranschaulicht das hohe regionale Schadenspotenzial von hohen Grundwasserständen, aber auch die Begünstigung oberflächlicher Überflutungen durch fehlende Wasseraufnahmekapazitäten im Untergrund.

Abb. 2.35 > Ausschnitt für das Ortsgebiet Sarnen aus der Schadenskarte des Kantons Obwalden für das Hochwasser 2005 an der Sarner Aa. In den hellgrün dargestellten Bereichen traten Schäden ausschliesslich durch Grundwasser auf.



Quelle: Amt für Wald und Raumentwicklung, Abt. Naturgefahren, Kanton Obwalden, belop GmbH

2.5.6 Folgerungen

Gefahrenbeurteilung

Aufgrund der hohen Relevanz von quantitativen und qualitativen Auswirkungen durch und auf das Grundwasser ist dieser Aspekt in die Gefahrenbeurteilung von Hochwasserereignissen einzubeziehen. Negative Auswirkungen durch und auf das Grundwasser in Hochwassersituationen können dabei durch geeignete Überwachungsmethoden, Präventivmassnahmen und die Entwicklung von Schadensfallszenarien limitiert werden. Dazu gehören thematische Karten, technische Massnahmen oder auch ein situatives Grundwasser-Monitoring hinsichtlich Grundwasserquantität und Grundwasserqualität.

Überwachungsmethoden

Für die Wasserqualität an Grundwasserfassungen ist die Messung von Indikatorwerten während eines Hochwassers eine übliche Vorgehensweise und von grosser Wichtigkeit. So kann das Grundwasser beim Erreichen eines vordefinierten Schwellenwerts des Indikators rechtzeitig verworfen bzw. einer zusätzlichen Behandlung unterzogen werden. Auch kann das Schadenspotenzial für die Grundwasserqualität erheblich reduziert werden, indem der langjährige Schwankungsbereich der Grundwasserstände in Nutzungsgebieten gut dokumentiert ist. Damit lässt sich verhindern, dass neu

errichtete Installationen mit wassergefährdenden Stoffen, wie z. B. Heizöltanks, bei Hochwassersituationen unterhalb des maximalen Grundwasserspiegels zu liegen kommen. Für bestehende Installationen, bekannte Altlasten und Deponien können aufgrund dieser Kenntnisse gegebenenfalls angepasste Sanierungs- oder Schutzmassnahmen ergriffen werden.

Präventivmassnahmen

Technische Massnahmen beinhalten z. B. spezielle Konstruktionen von Gebäuden und Infrastrukturbauten in Gebieten hoher Grundwasserstände, um Schäden durch das Grundwasser zu verhindern. Mitunter kann die vorsorgliche Flutung von Gebäuden (Einbau von Druckausgleichsrohren) oder eine kurzfristig aufgebrachte Gegenbelastung grundlegenden Schäden an der Gebäudestatik infolge Grundwasserauftriebs entgegenwirken.

Schadensfallszenarien

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben vermehrt zur Erkenntnis geführt, dass zuverlässige Planungsgrundlagen einen wichtigen Bestandteil von Hochwasserschutzkonzepten darstellen. Mit Hilfe thematischer Karten (z. B. historische Grundwasserhöchststände, Ereigniskarten usw.) kann das Schadenspotenzial an Gebäuden und Kulturland durch das Grundwasser bestimmt werden. Daraus können Massnahmen zur Anpassung der Bauzonen und Bodennutzung abgeleitet werden, wodurch letztendlich Schäden reduziert oder sogar verhindert werden können. So hat die Stadt Dresden basierend auf den Erfahrungen von 2002 diverse Karten für die Abschätzung zu erwartender Hochwasserstände im Grundwasser erstellt und einhergehend Einschränkungen der Tiefbaupotenziale oder auch der Regenwasserversickerung ausgewiesen. Ausserdem sind die Auswirkungen von Hochwasserschutzmassnahmen auf das Grundwasser dargestellt (Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, 2005). Auch die Schadenskarte des Kantons Obwalden ermöglicht eine Abschätzung zukünftig zu erwartender Schäden und damit z. B. die Umsetzung entsprechender Vorsorgemassnahmen oder das Setzen von Prioritäten bei der Ereignisbewältigung.

Minimierung von Schäden

Schliesslich ist zu beachten, dass Strategien zur Minimierung von Schäden durch hohes Grundwasser spezifisch angelegt sein müssen. Anders als bei einer Überschwemmung durch Oberflächenwasser muss z. B. bei durch Grundwasser gefluteten Kellern, bevor diese ausgepumpt werden können, zunächst der Rückgang des Grundwasserspiegels unterhalb des Gebäudefundaments abgewartet werden, um so nachhaltige Gebäudeschäden durch Grundwasserauftrieb zu verhindern. Wie sich gezeigt hat, kann sich dies jedoch über einen längeren Zeitraum hinziehen, während das oberflächliche Hochwasser schon längst zurückgegangen ist. Insofern ist die Beobachtung der lokalen Grundwasserstände an geeigneten Messstellen ebenfalls von Bedeutung.

Handlungsbedarf

Insgesamt sind die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Grundwasser und Hochwasser bekannt und das Ereignis 2005 hat insofern keine wesentlichen neuen Erkenntnisse hervorgebracht. Allerdings hat es dazu beigetragen, die Multikausalität von Hochwasser mitsamt dem Einfluss des Grundwassers besser im öffentlichen Bewusstsein zu verankern. Trotz der aussergewöhnlichen Gesamtschadenssummen beschränkten sich die Grundwasserschäden aber eher auf lokale Beeinträchtigungen, wie etwa durch Grundwasser überflutete Keller oder die vorübergehende Stilllegung flussnaher Grundwasserfassungen. Letzteres konnte im Allgemeinen durch Verbundsysteme bei

der Wasserversorgung aufgefangen werden, wodurch die Versorgungssicherheit mit Trinkwasser in der Schweiz auch im Zuge des Hochwassers 2005 überall gewährleistet war. Im Hinblick auf zukünftige Ereignisse ist somit bezüglich des Grundwassers als Trinkwasserressource kein genereller Handlungsbedarf gegeben; vielmehr sind lokale und regionale Vorkehrungen zu treffen. Um Schäden durch hohe Grundwasserstände zukünftig zu begrenzen, ist deren Berücksichtigung in der Gefahrenbeurteilung angezeigt.

2.6 Schadensentwicklung im Kanton Aargau

Dörte Aller, Armin Petrascheck

2.6.1 Einführung

Als Gründe für die Zunahme der Gebäudeschäden durch Naturgefahren werden neben häufigeren und intensiveren Ereignissen oft auch die Erhöhung der Werte in gefährdeten Gebieten und die höhere Empfindlichkeit von Gebäuden genannt. Der Kanton Aargau war zuletzt 1994, 1999 und 2005 von Überschwemmungen betroffen. Die Ereignisse im Abstand von jeweils rund fünf Jahren haben Schäden in ähnlicher Grössenordung verursacht. Anhand der durch die Gebäudeversicherung des Kantons Aargau gut dokumentierten Gebäudeschäden wird deren Entwicklung im Hinblick auf die relevanten Prozesse näher untersucht. Charakteristische Kennwerte (Tab. 2.8) bilden die Basis für die Diskussion der Schadensentwicklung zwischen 1994 und 2005. Die für den Kanton Aargau abgeleiteten Aussagen können für Gebiete im Schweizer Mittelland als repräsentativ betrachtet werden.

Nach Abschluss der Analysen führte das Hochwasserereignis vom 8./9. August 2007 zum grössten Hochwasserschadensereignis, welches die Aargauische Gebäudeversicherung zu bewältigen hatte. 1200 gemeldete Schadensfälle führten zu rund 30 Mio. CHF Schadenssumme. Dieses Ereignis wurde in die Analyse nicht einbezogen, da die Schadenserledigung zum damaligen Zeitpunkt noch nicht weit genug fortgeschritten war.

2.6.2 Kennwerte der verschiedenen Schadensereignisse

Höhe der Schäden nicht allein durch Intensität bestimmt

Zwischen der Tiefe einer Überschwemmung bzw. der Wassermenge und der Höhe eines Schadens besteht grundsätzlich eine Abhängigkeit, die jedoch oft durch verschiedene zusätzliche Faktoren maskiert ist. Aus Sicht der Versicherung ist primär die Gesamtschadenssumme des Ereignisses entscheidend.

Indexierung der Schäden

Für die betrachteten Ereignisse wurden zunächst die wichtigsten Kennwerte der in der obligatorischen Elementarschadenversicherung verzeichneten Gebäudeschäden ermittelt. Um vergleichen zu können, wurden die Schadenszahlen mit dem Zürcher Baukostenindex auf Werte von 2005 indexiert.

Tab. 2.8 > Kennwerte der Gebäudeschäden bei den untersuchten Ereignissen im Kanton Aargau.

Die Schadensdaten sind auf Werte von 2005 indexiert.

Ereignis	Anzahl	Gesamtschadens-summe [Mio. CHF]	Durchschnittlicher Gebäudeschaden [CHF]	Median der Gebäudeschäden [CHF]
Mai 1994	1'677	24.8	14'800	3'150
Feb 1999	735	6.4	8'700	2'600
Mai 1999	1'502	27.7	18'500	3'800
Aug 2005	614	20.4	33'200	5'250

Datenquelle: Aargauische Gebäudeversicherung

Anzahl der Schadensfälle und Schadenssummen unterschiedlich

Die Kennwerte der vier Überschwemmungsereignisse sind in Tab. 2.8 dargestellt. Die Schadenssumme der Ereignisse vom Mai 1994, Mai 1999 und August 2005 bewegen sich mit 20 bis 28 Mio. CHF in einer ähnlichen Grössenordnung. Einzig das Ereignis im Februar 1999 weist mit rund 6 Mio. CHF eine deutlich geringere Schadenssumme auf. Bezüglich der Anzahl Schadensfälle lassen sich die Ereignisse in jeweils zwei Gruppen einteilen. Die Hochwasser vom Mai 1994 und Mai 1999 verursachten rund 1500 Schadensfälle, während im Februar 1999 und August 2005 mit jeweils rund 700 nur etwa halb so viele Schadensfälle resultierten.

Zunahme der durchschnittlichen Schäden – deutlich kleinerer Schadensmedian

Das Ereignis von Februar 1999 weist nicht nur eine geringe Anzahl Schadensfälle auf, sondern mit 8700 CHF auch einen deutlich geringeren Durchschnittsschaden als die übrigen Ereignisse. Die durchschnittlichen Schäden der Ereignisse von Mai 1994 und Mai 1999 sind demgegenüber mit 14'800 CHF und 18'500 CHF etwa doppelt so hoch, diejenigen des Ereignisses vom August 2005 sind mit 33'200 CHF sehr hoch und fast viermal grösser als im Februar 1999. Der Median der Schäden beträgt nur 15–30 % des durchschnittlichen Schadens. Dies bedeutet, dass der Durchschnittsschaden durch wenige grosse Schäden bestimmt wird.

Grösste Schäden

In Tab. 2.9 sind für die vier Ereignisse die Summen der jeweils 10 grössten Schäden und ihr Anteil an der Gesamtschadenssumme zusammengestellt. Weiter ist auch die Anzahl der Schäden über 100'000 CHF der vier Ereignisse angegeben. Im August 2005 war sowohl der Anteil als auch die Summe der 10 grössten Schäden (also 1.6 % der Schadensfälle) am höchsten, da sie 37 % des Gesamtschadens verursachten. Die drei anderen Ereignisse sind bezüglich des Anteils der 10 grössten Schäden am Gesamtschaden vergleichbar. Vor 2005 trugen die 10 grössten Schadensfälle jeweils mit 22 bis 24 % zur Gesamtschadenssumme bei. Wegen der geringeren Anzahl Schadensfälle ist im Februar 1999 die Summe der 10 grössten Schäden jedoch deutlich geringer als im Mai 1994 und Mai 1999. Im Februar 1999 sind zudem auch deutlich weniger Schäden von mehr als 100'000 CHF aufgetreten als bei den anderen Ereignissen. Bei den drei grösseren Ereignissen waren jeweils 40 bis 50 Schäden über 100'000 CHF.

Tab. 2.9 > Schäden für die untersuchten Ereignisse 1994, 1999 und 2005 im Kanton Aargau.

Die Schadensdaten sind auf Werte von 2005 indexiert.

Ereignis	Summe der 10 grössten Schäden [Mio. CHF]	Anteil der 10 grössten Schäden an der Gesamtschadenssumme	Anzahl der Schadensfälle über 100'000 CHF
Mai 1994	5.6	24 %	38
Feb 1999	1.3	22 %	6
Mai 1999	5.9	22 %	52
Aug 2005	7.6	37 %	42

Datenquelle: Aargauische Gebäudeversicherung

Zunehmende Schäden durch Rückstau und Grundwasser

Die Aargauische Gebäudeversicherung bietet neben der obligatorischen Gebäudeversicherung auch eine freiwillige Gebäudewasserversicherung an. Die obligatorische *Gebäudeversicherung* deckt Schäden von oberflächlich eindringendem Wasser auf Grund eines Naturereignisses (Elementarschaden). Die *Gebäudewasserversicherung* deckt u. a. auch Schäden durch Rückstau aus der Kanalisation und Grundwasser (Wasserschaden). 1994 waren 44 % der obligatorisch versicherten Gebäude auch gegen Wasserschäden versichert. 2005 waren es 53 %. Zusätzlich zu den durch die Elementarschadenversicherung gedeckten Gebäudeschäden wurden im August 2005 rund 150 Grundwasser- und Rückstauschäden mit einer Schadenssumme von 1.4 Mio. CHF verzeichnet. Im Mai 1999 waren es über 500 Schadensfälle, die zu Gesamtschäden von 4 Mio. CHF führten. Im Mai 1994 verursachten 330 Schadensfälle einen Schaden von 2 Mio. CHF. Es fällt auf, dass der Durchschnittsschaden auch in dieser Versicherungssparte im Laufe der Zeit von 6000 CHF (Mai 1994) über 7500 CHF (Mai 1999) auf 9000 CHF (August 2005) angestiegen ist.

2.6.3 Schadenswirkung verschiedener Ereignistypen

Schadenshöhe von der Art des Prozesses abhängig

Schäden können nicht nur durch *Überschwemmungen* infolge der Ausuferung von Gewässern entstehen, sondern auch durch das Eindringen von Wasser, das bei intensiven Niederschlägen flächig abfliesst, also durch *Oberflächenabflüsse*. Die Schadenshöhe durch eine Überschwemmung ist in der Regel deutlich höher als jene durch den Oberflächenabfluss. Die Schadenskennwerte hängen somit wesentlich davon ab, welcher dieser beiden Prozesse dominant ist.

Die vier untersuchten Ereignisse unterschieden sich und erlauben dadurch einen Vergleich hinsichtlich der Schadenswirkung der beiden Prozesse. Im Folgenden werden daher die betrachteten Ereignisse bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung sowie der Niederschlags- und Abflusscharakteristik beschrieben. Abb. 2.36 und Abb. 2.37 illustrieren die räumliche Ausdehnung der Schäden sowie die Niederschlagsverhältnisse.

Mai 1994:
Mittelgrosse Gewässer führten zu hohen Einzelschäden in lokalen Zentren

Das Ereignis vom Mai 1994 war ein Starkniederschlagsereignis, das v. a. über dem Kanton Aargau zentriert war. An fast allen Stationen des Kantons wurden Tagesniederschlagsummen von über 50 mm gemessen. Die Hälfte der Stationen registrierte Tageswerte von über 70 mm, einige sogar bis zu 100 mm. Als Folge führten v. a. die mittelgrossen Gewässer südlich der Aare Hochwasser, was Überschwemmungen und dadurch in zahlreichen lokalen Zentren hohe Einzelschäden verursachte. Aare, Rhein und Reuss führten Hochwasser, erreichten aber nicht die Spitzenwerte von 1999. Das Schadensbild stimmt mit der Niederschlagsverteilung (Stationen mit mehr als 70 mm) überein. Die grössten Schäden traten im Süden und Osten des Kantons auf, v. a. im Zusammenhang mit den Seitenzuflüssen der Aare. Insgesamt führte die grosse Anzahl der betroffenen Gebäude zu der hohen Gesamtschadenssumme.

Februar 1999:
Niederschläge im Winter kombiniert mit Schneeschmelze

Das Hochwasser vom Februar 1999 war ein typisch lokales Hochwasser im Norden des Aargaus. Die Ursachen waren Regenfälle kombiniert mit Schneeschmelze. Es wurden Tagesniederschläge von 25–65 mm gemessen, wobei nur etwa die Hälfte der Stationen Werte über 40 mm registrierte. Das Zentrum des Niederschlags lag im Nordwesten. Dementsprechend zeigten sich dort grossflächige, aber im Durchschnitt geringe Schäden. Die Niederschlagsmenge, ab welcher Schäden auftraten, war mit 40–55 mm eher tief, was auf die Verbindung mit Schneeschmelze und die erhöhte Abflussbereitschaft im Winter zurück zu führen ist.

Mai 1999:
Grossflächige Niederschläge und hohe Wasserführung der grossen Flüsse

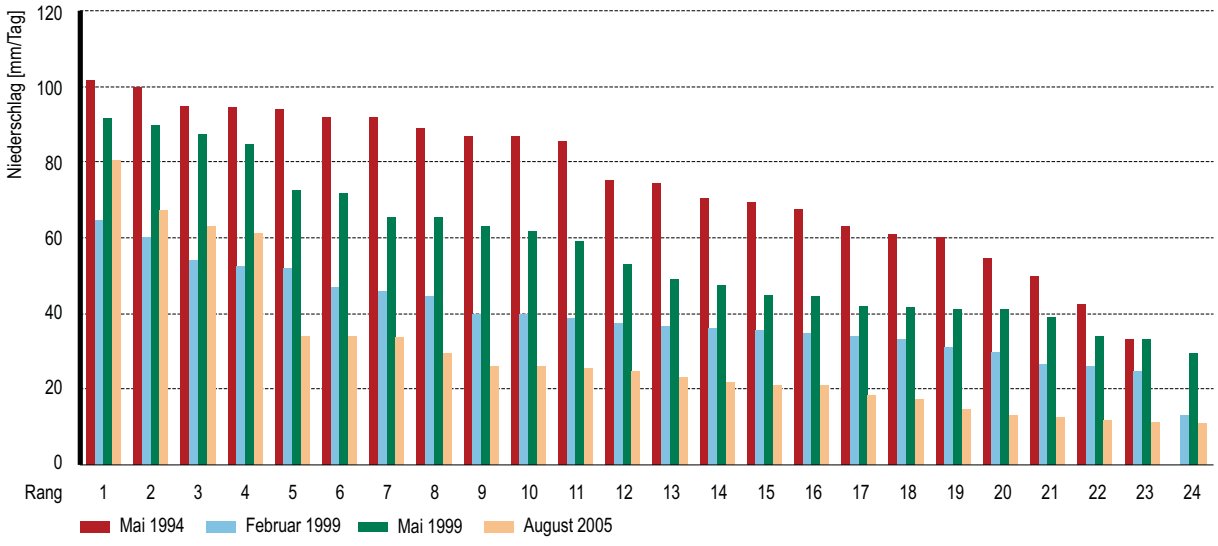
Die Ursachen des Hochwassers vom Mai 1999 waren grossflächige Niederschläge in der Schweiz, welche zu extremen Wasserführungen in den grossen Flüssen führten. Die Niederschläge im Aargau selbst waren etwas geringer als im Mai 1994 und erreichten Tageswerte zwischen 30 und 90 mm. Rund die Hälfte der registrierten Tagesniederschläge lag über 50 mm. Die höchsten Werte lagen innerhalb eines von West nach Ost verlaufenden Bandes südlich der Aare. Die Wasserführung der südlichen Zuflüsse zur Aare war mit dem vom Mai 1994 vergleichbar, wenn auch leicht geringer. Dementsprechend zeigte sich eine Konzentration der Schäden südlich der Aare im Bereich der Tagesniederschläge über 70 mm. Im Vergleich zu 1994 war der nördliche Kantonsteil weniger betroffen. Eine Ausnahme bildeten die Gemeinden entlang des Rheins. Hier verursachten die Überschwemmungen durch den bisher höchsten Abfluss dieses Flusses örtlich ausserordentlich hohe Schäden. So führte in Rheinfelden im Vergleich zu 1994 ein rund 40 cm höherer Pegelstand des Rheins zu einer Zunahme der Anzahl Schadensfälle von 20 auf 62 und zu einem Anstieg des durchschnittlichen Schadens von 16’000 auf 86’000 CHF pro Gebäude. Die ausserordentlich hohen Schäden in Rheinfelden erklären sich auch durch den grossen Anteil von kommerziell genutzten Gebäuden, die 1999 betroffen waren. Deshalb ist der Vergleich mit einer benachbarten Gemeinde interessant, in der v. a. Wohn- und Einfamilienhäuser betroffen waren. In dieser Gemeinde stieg die Anzahl von 20 auf 52 und der durchschnittliche Schaden von 17’500 auf 35’600 CHF. In den 14 von beiden Ereignissen betroffenen Gebäuden stieg der mittlere Schaden von 19’000 auf 93’000 CHF. Diese Beispiele zeigen die hohe Empfindlichkeit gegenüber der Überschwemmungstiefe. In den überschwemmten Gebieten nahmen mit steigendem Wasserstand sowohl die Anzahl der betroffenen Gebäude als auch der durchschnittliche Schaden überproportional zu. Am Gesamtschaden des Hochwassers vom Mai 1999 wurde ein wesentlicher Anteil der Schäden durch den ansteigenden

Wasserspiegel des Rheins verursacht, also durch die Abflüsse, die ihren Ursprung v. a. ausserhalb des Kantons Aargau hatten.

August 2005: «importiertes Hochwasser» mit gewässernahen Schäden

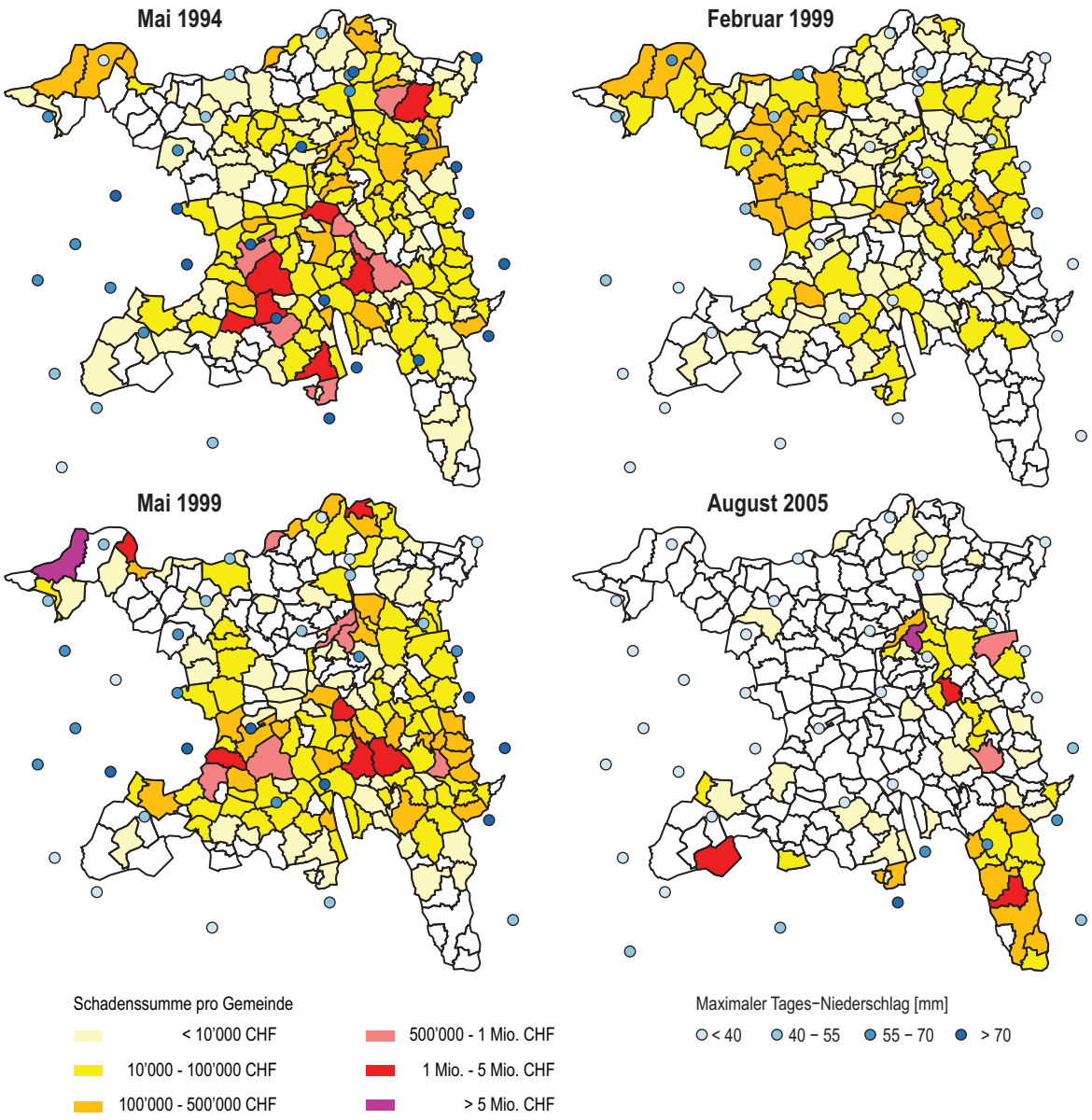
Im August 2005 verursachten die ausserordentlich grossflächigen Niederschläge neue Rekordschäden in der Schweiz. Der Kanton Aargau war weniger stark betroffen, da er am nördlichen Rand des Niederschlagsfeldes lag. Die Tagesniederschläge lagen mehrheitlich unter 30–40 mm und somit deutlich unter den Werten vom Mai 1994 oder Mai 1999. Lediglich im Süden des Kantons wurden Niederschläge mit Werten von 60–80 mm verzeichnet. Dementsprechend sind nur in diesem Teil des Kantons Schäden aufgetreten, die auf Oberflächenabfluss und ausufernde Kleingewässer zurückzuführen sind. Die übrigen Schäden sind eine Folge der hohen Abflüsse in der Aare, der Reuss und der Limmat. Ein besonderer Schadensschwerpunkt lag in Brittnau, wo die Verklausung einer Brücke zur Ausuferung der Wigger führte. Die Folge davon waren 116 Schadensfälle mit einem Gesamtschaden von 4.4 Mio. CHF. Der zweite Schadensschwerpunkt war Windisch mit 98 Schadensfällen und 9.5 Mio. CHF Gesamtschaden. Rund 70 % aller Schäden entstanden somit in diesen beiden Gemeinden. Werden noch die Schäden dazu gezählt, die von der Reuss in Bremgarten und Mellingen, von der Limmat im Raum Baden-Wettingen und von der Aare im Raum Brugg verursacht wurden, so sind 90 % aller Schäden auf die hohe Wasserführung, bzw. das Ausufern der grossen Flüsse zurückzuführen. Dies erklärt auch den hohen Durchschnittsschaden, der bei Überschwemmungen deutlich höher ist als bei Oberflächenabfluss. Für den Kanton Aargau stellte das Ereignis von 2005 ein «importiertes» Hochwasser mit Entstehungsgebieten ausserhalb des Kantons dar. Von den Ursachen und den Schadensbildern ist es somit genau das Gegenteil des Hochwassers vom Februar 1999.

Abb. 2.36 > Der Grösse nach sortierte Tagesniederschläge an den im Aargau gelegenen Stationen von MeteoSchweiz am 18. Mai 1994, 19./21. Februar und 12. Mai 1999 sowie am 21. August 2005.



Datenquelle: MeteoSchweiz

Abb. 2.37 > Räumliche Verteilung der Schäden (Schadenssumme pro Gemeinde in CHF) und Niederschläge (Tagesniederschläge in mm an Stationen von MeteoSchweiz) für die Ereignisse vom Mai 1994, Februar und Mai 1999 sowie August 2005.



Datenquellen: Aargauische Gebäudeversicherung und MeteoSchweiz

2.6.4 Schäden durch Überschwemmung und Oberflächenabfluss

Unterscheidung von Schäden infolge Überschwemmung und Oberflächenabfluss

Wie die Beschreibung der betrachteten Ereignisse zeigt, entstehen Schäden einerseits durch Überschwemmung infolge ausufernder Gewässer und andererseits als Folge von Oberflächenabfluss bei intensiven Niederschlägen. Bei der Analyse der Schadensdossiers kann nicht immer klar unterschieden werden, welcher der beiden Prozesse zum Schaden geführt hat. Auch die Zuordnung eines Schadens zu einer bestimmten Wassertiefe oder Wassermenge ist im Nachhinein oft nicht mehr möglich. Grundsätzlich kann jedes Gebäude im Niederschlagsgebiet durch Oberflächenabfluss betroffen werden. Es ist daher bei intensiveren Niederschlägen auch mit zahlreichen, verstreut und abseits der Gewässer liegenden Schadensfällen zu rechnen. Die bei Oberflächenabfluss begrenzte Wassertiefe und -menge führt in der Regel nur zu Schäden in den Untergeschossen. Die Betroffenheit eines Gebäudes ist in diesem Fall primär von seiner Anordnung und der Bauweise abhängig. Ein typisches Beispiel für Schäden, die primär durch Oberflächenabfluss verursacht wurden, ist das Ereignis vom Februar 1999. Die Ereignisse vom Mai 1994, Mai 1999 und August 2005 sind Mischformen, wobei im Mai 1999 und besonders 2005 der Einfluss der Überschwemmung durch Ausuferung grosser Flüsse deutlich grösser ist.

Oberflächenabfluss – Ursache für rund 50 % der Schäden

Die Ereignisse von 1994 und 1999 zeigen, dass die Schäden durch Oberflächenabfluss einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an der Schadenssumme haben können. Exemplarisch sind in Abb. 2.38 die gemeldeten Gebäudeschäden in ausgewählten Regionen vom Mai 1999 (links) und August 2005 (rechts) sowie die jeweils kartierten Überschwemmungsflächen dargestellt. Beim Beispiel vom Mai 1999 liegt rund die Hälfte der Schäden ausserhalb der kartierten Überschwemmungsfläche. Die Summe dieser Schäden beläuft sich hingegen nur auf 20 % der Gesamtschadenssumme in der gezeigten Region. Der durchschnittliche Schaden infolge Oberflächenabfluss beträgt rund 5000 CHF, während der Durchschnitt der Schäden innerhalb der Überflutungsfläche mehr als 15’000 CHF beträgt. Beim Beispiel vom August 2005 liegt kein Schaden innerhalb der Überschwemmungsfläche. Die in der gezeigten Region entstandenen Schäden sind somit ausschliesslich auf Oberflächenabfluss zurückzuführen; der durchschnittliche Schaden beträgt rund 3000 CHF.

Betrachtet über den ganzen Kanton ist eine klare Zuordnung der Ursache kaum möglich. Im Mittel über alle Ereignisse dürfte mindestens die Hälfte der Schadensfälle auf Oberflächenabfluss zurückzuführen sein. Im Februar 1999 waren die Oberflächenabflussschäden zu 80 % und im August 2005 zu 10 % an der Gesamtschadenssumme beteiligt.

Mittlerer Gebäudeschaden bei Oberflächenabfluss 3000 CHF, bei niedriger Überschwemmung 15'000 CHF, bei hoher Überschwemmung 60’000 CHF.

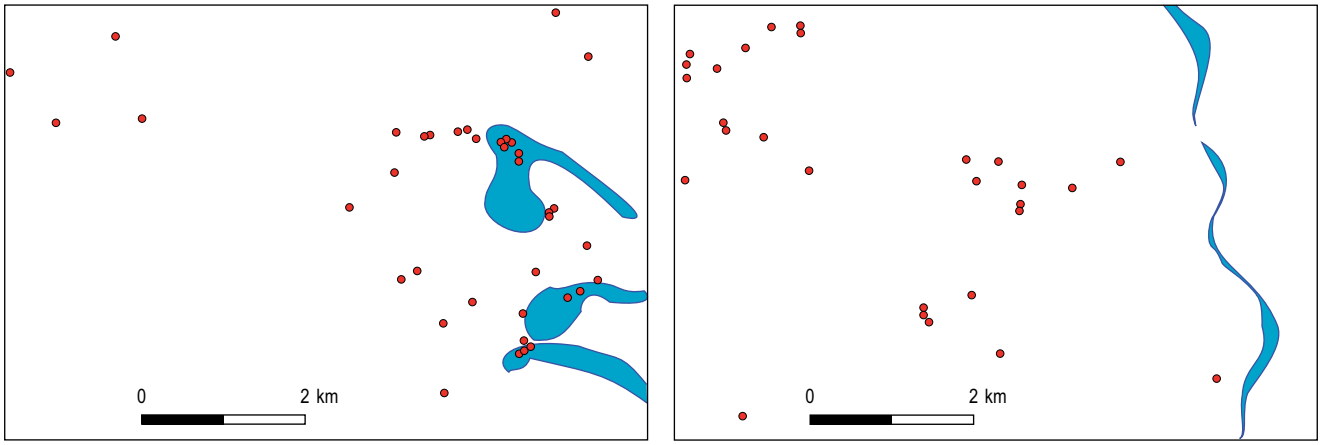
Folgende Kennwerte lassen sich auf Grund der Analysen angeben:

- Bei Oberflächenabfluss liegt der durchschnittliche Schaden bei 3000 CHF.
- Bei Überschwemmung infolge Ausuferung von Gewässern ist der durchschnittliche Schaden deutlich höher und beträgt
  - rund 15’000 CHF bei niedriger Überschwemmung (wenige Dezimeter) und
  - bis 60’000 CHF bei hoher Überschwemmung.

Nachdem diese Werte bei allen untersuchten Ereignissen im Kanton Aargau sehr ähnlich sind, kann davon ausgegangen werden, dass sie für das ganze Schweizer Mittelland repräsentativ sind.

Abb. 2.38 > Karte der Gebäudeschäden (Punkte) und kartierte Überschwemmungsflächen für zwei ausgewählte Regionen im Mai 1999 (links) und August 2005 (rechts). Aus Gründen des Datenschutzes ist der Kartenhintergrund ausgeblendet.

Im Mai 1999 sind einige Schäden aufgrund von Ausuferung entstanden (Schäden innerhalb der kartierten Überschwemmungsfläche), während im August 2005 nur Schäden durch Oberflächenabfluss zu sehen sind (Schäden nur ausserhalb der kartierten Überschwemmungsfläche).



Quelle: Aargauische Gebäudeversicherung, Abteilung Landschaft und Gewässer und Abteilung Raumentwicklung des Kantons Aargau

2.6.5 Weitere Einflüsse

Detaillierte Analyse mehrfach betroffener Gebäude

Um weitere Ursachen des Anstiegs der Schäden zu untersuchen, wurden ausgewählte Schadensdossiers analysiert. Das Ziel war dabei die Schäden mehrfach betroffener Gebäude zu vergleichen, um deren Veränderungen erklären zu können. Vom Ereignis im August 2005 waren nur wenige Gebiete betroffen, die auch 1994 oder 1999 betroffen waren. Daher ist die Zahl der mehrfach betroffenen Gebäude relativ klein. Trotzdem konnten 80 Schadensdossiers von Gebäuden, die sowohl 2005 als auch 1999 oder 1994 einen Schaden erlitten, detailliert analysiert werden.

Umnutzung und Wertsteigerung können zu deutlich höheren Schäden führen.

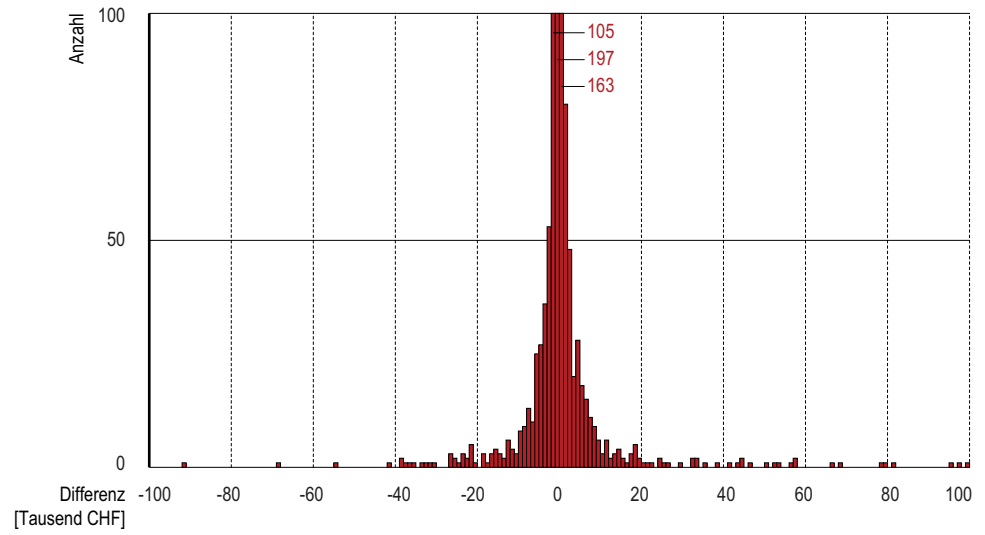
Bei der Studie der Schadensdossiers ist aufgefallen, dass es Gebäude gibt, die in früheren Ereignissen kleine Schäden und beim folgenden Ereignis sehr grosse Schäden hatten, obwohl die Unterschiede in der Ereignisintensität hierfür keine Erklärung sein konnte. Mehrere Fälle konnten nachgewiesen werden, bei denen 1994 und 1999 der Schaden verhältnismässig klein, 2005 jedoch ausserordentlich war. Es ist also davon auszugehen, dass in vielen Fällen zwischen den Schadensereignissen eine Wertsteigerung oder Umnutzung von Gebäuden stattfand, wodurch sich die Schadensempfindlichkeit erhöhte. Die Wertsteigerung zeigt sich auch in einer deutlichen Zunahme der Versicherungssumme zwischen 1999 und 2005. Parallel dazu wurden jedoch keine Objektschutzmassnahmen ergriffen, obwohl zwei Schadensereignisse innerhalb der vorangegangenen 10 Jahre einen ausreichenden Hinweis auf die bestehende Gefähr-

dung geben. Demgegenüber steht der Rückgang der Grossschäden bei Verwaltungsgebäuden zwischen 1994 und 1999. Auch 2005 gab es Gebäude mit deutlich geringerem Schaden als in den vorangegangenen Ereignissen.

Zunahme und Reduktion des Schadens kompensieren sich

Abb. 2.39 zeigt einen Vergleich der Schäden an Gebäuden, die sowohl 1999 wie auch 2005 einen Schaden verzeichneten. Positive Änderungen bedeuten eine Zunahme des Schadens von 1999 zu 2005. Die einerseits teilweise massive Zunahme des Schadens wird andererseits durch die in vielen Fällen festgestellte Reduktion des Schadens wieder kompensiert.

Abb. 2.39 > Änderung der Gebäudeschäden zwischen 1999 und 2005 bei Gebäuden, die bei beiden Ereignissen einen Schaden erlitten haben. Dargestellt ist die Anzahl der Gebäude mit einer nominellen Schadensänderung in Tausend CHF.

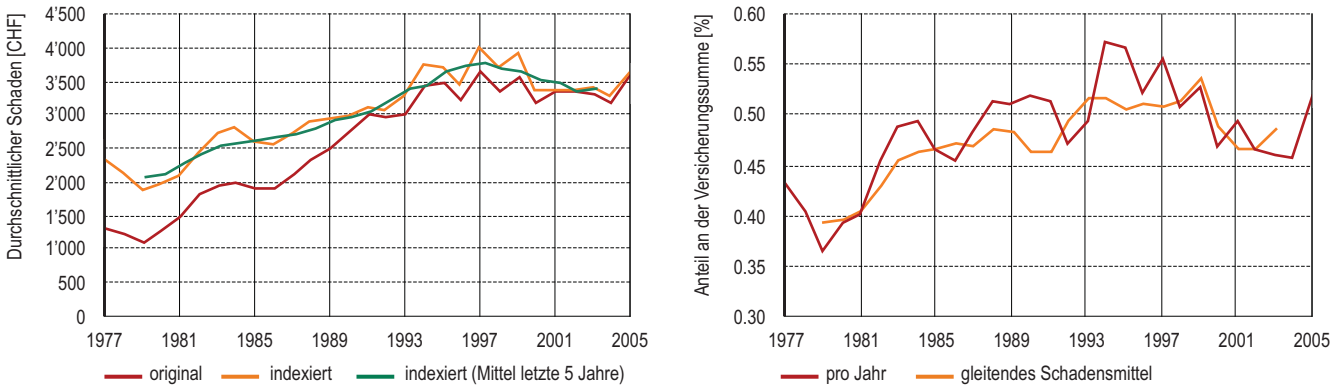


Quelle: Aargauische Gebäudeversicherung

Wasserschäden als Indikator zur Beurteilung der Ursachen gesteigerter Verletzlichkeit

Um die Entwicklung der Werte und der Schadensempfindlichkeit vertieft zu untersuchen, wurde ein zusätzlicher Weg gewählt – die Analyse der durch die Gebäudewasserversicherung abgedeckten *Wasserschäden*. In weiten Teilen sind die Schadensbilder infolge Wasserschäden mit den Schäden durch Überschwemmung oder Oberflächenabfluss (Elementarschäden) vergleichbar. Im Gegensatz zu den Elementarschäden treten jedoch jedes Jahr ähnlich viele Wasserschäden auf. Ausserdem ist ihre Anzahl höher und unabhängig von äusseren Faktoren, wie beispielsweise der Ereignisintensität. Daher kann anhand der zeitlichen Entwicklung der Wasserschäden beurteilt werden, ob sich der bei den Elementarschäden abzeichnende Trend einer erhöhten Verletzlichkeit in Folge einer erhöhten Empfindlichkeit der Werte im Gebäude oder aber der Ansprüche der Eigentümer ist.

Abb. 2.40 > Entwicklung der Wasserschäden absolut (links) und im Verhältnis zur Versicherungssumme (rechts) zwischen 1977 und 2006.



Quelle: Aargauische Gebäudeversicherung

Vergleichbare Versicherungs-Sparte deutet auf unveränderte Schadensempfindlichkeit

Zwischen 1977 und 1994 zeigt sich sowohl absolut als auch im Verhältnis zur Versicherungssumme (Abb. 2.40) ein deutlicher Anstieg der durchschnittlichen Schäden. Ab 1994 zeigen die Daten keine signifikante Veränderung mehr. Eindeutig zugenommen haben aber im Zeitraum 1994–2006 sowohl die Anzahl der versicherten Gebäude in der Gebäudewasserversicherung (von 90'000 auf 110'000) als auch die Anzahl Schadensfälle. Da diese Entwicklung parallel verläuft, lässt sich aus diesen Daten keine generelle Zunahme der Verletzlichkeit ableiten. Dies steht in einem gewissen Gegensatz zum Eindruck, der aus dem Studium der Dossiers der Elementarschäden hervorgeht. Die Elementarschadensstatistik wird jedoch durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie z. B. die Schadensabwicklung, Änderungen der Versicherungsbedingungen oder Veränderung der Werte innerhalb des Gebäudes. So kann es sein, dass zwar die Versicherungssumme nicht mehr steigt, aber eventuell mehr Werte im Keller konzentriert sind als früher (Kellerausbau). Bevor endgültige Aussagen auf Grund dieses Vergleiches getroffen werden dürfen, bedarf es noch weiterer Untersuchungen.

2.6.6 Folgerungen

Wasserbauliche Massnahmen und Objektschutz müssen sich ergänzen

Unterschiedliche Ursachen der Entstehung von Hochwasserschäden erfordern unterschiedliche Massnahmen und bedingen auch unterschiedliche Verantwortlichkeiten. Grossflächiges Ausufern bei aussergewöhnlichen Abflüssen sollte nach Möglichkeit durch Massnahmen des Wasserbaus verhindert werden. Die Verhinderung der weit verstreuten Schäden durch Oberflächenabfluss kann nur durch den Eigentümer erfolgen, unterstützt durch Beratung durch die Versicherung und gefördert eventuell durch Anreize. Beide Massnahmen müssen sich immer ergänzen.

Schadensursache Oberflächenabfluss

Der Oberflächenabfluss wird in Gefahrenkarten meistens nicht berücksichtigt. Sowohl in Gebieten «mit Gefährdung (durch Gewässerausuferung)» als auch in Gebieten «ohne Gefährdung» können zusätzlich Schäden durch Wassereintritte infolge Oberflächenabfluss entstehen. Bei grösseren Überschwemmungsereignissen wird ein nicht vernachlässigbarer Anteil des Gesamtschadens durch Oberflächenabfluss verursacht. Hinzu kommen lokale Starkregenereignisse, die hauptsächlich zu Schaden durch Oberflächenabfluss führen. Schäden durch Oberflächenabfluss treten ab einem Tagesniederschlag von etwa 60–70 mm häufig auf, im Winter können sie schon bei geringeren Tagesniederschlägen von etwa 40–50 mm vermehrt auftreten. Sie lassen sich in der Regel durch verhältnismässige Objektschutzmassnahmen vermeiden. An dieser Stelle sei auf die Planungshilfe «Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren» der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF, 2008) hingewiesen.

Schadensursache Überschwemmung

Ein Vergleich der verschiedenen Ereignisse und deren Ursachen zeigt, dass Schäden durch Überschwemmung infolge der Ausuferung eines Gewässers bei ausserordentlichen Ereignissen um ein Mehrfaches höher sind als Schäden durch Oberflächenabfluss oder Kleingewässer, was die Bedeutung wasserbaulicher Schutzmassnahmen unterstreicht. So zeigt sich auch, dass an den Orten, wo zwischen 1994 und 1999 kleinere wasserbauliche Massnahmen an den Gewässern vorgenommen wurden, die Schäden markant zurückgegangen sind.

Entwicklung der Schadensempfindlichkeit

Während zwischen den Ereignissen von 1994 und 1999 eine Zunahme der Schadensempfindlichkeit beobachtet werden konnte, ist seither keine weitere Zunahme festzustellen.

Rückgang der Gesamtschadenssumme von Verwaltungs- und Industriegebäuden

Ein Rückgang der Gesamtschadenssumme wurde bei den Verwaltungs- und Industriegebäuden festgestellt. Die hohen Schäden und der mit der Renovierung verbundene Betriebsunterbruch stellten anscheinend einen Impuls dar, Schutzmassnahmen zu ergreifen. Es ist zu untersuchen, wie die Bereitschaft der Besitzer noch weiter erhöht werden kann, präventive Schutzmassnahmen zu ergreifen. Da Gebäude mehrmals innerhalb kurzer Zeit Schaden nehmen können, empfiehlt es sich bereits nach dem ersten Schaden, der die Schadensempfindlichkeit des Gebäudes bewiesen hat, Schutzmassnahmen zu ergreifen.

Gesamtschaden durch kleine Zahl von Grossschäden dominiert

Entscheidend für die Schadenssumme und den Durchschnittsschaden sind letztlich nicht die vielen Kleinschäden, sondern eine kleine Zahl von Grossschäden. Rund 5 % der Schadensfälle verursachen über 50 % der gesamten Schadenssumme. Schadensprävention muss daher bei den Gebäudetypen einsetzen, bei denen häufig Grossschäden zu erwarten sind. Eine wichtige Aufgabe für die Zukunft ist daher, Kriterien für ein frühzeitiges Erkennen dieser Objekte zu finden.

2.7 Erkenntnisse

Schliessung von Lücken im vorhandenen Erfahrungsspektrum liefert robustere Statistiken

Die verfügbaren Abflussmessreihen umfassen im Idealfall gut 100 Jahre und sind damit als statistische Grundlage für die Einordnung aussergewöhnlicher Ereignisse grundsätzlich zu kurz. Diese Messreihen lassen sich aber durch den Einbezug von entsprechend aufbereiteten historischen Informationen verlängern. Dies erlaubt, Lücken innerhalb des vorhandenen Erfahrungsspektrums zu schliessen, was wiederum robustere statistische Analysen ermöglicht. Statistische Unsicherheiten können dadurch zwar eingegrenzt werden, lassen sich aber letztlich nicht vermeiden.

Nichtlineares Abflussverhalten auch in alpinen Einzugsgebieten

Robuste Statistiken allein genügen jedoch für eine umfassende Gefahrenbeurteilung nicht. Es gilt v. a. mögliche Schwellenprozesse zu erkennen. Ein typischer Schwellenprozess ist die überproportionale Zunahme des Abflusses in einem Einzugsgebiet, wenn der Bodenspeicher gefüllt ist. Bisher wurde davon ausgegangen, dass steile, gebirgige Einzugsgebiete vergleichsweise wenig Wasser speichern und somit in der Regel rasch reagieren. Die vertiefte Analyse ausgewählter Einzugsgebiete zeigt aber, dass auch gebirgige Einzugsgebiete bei Hochwasser ein nichtlineares Verhalten aufweisen können. Sie reagieren zunächst gedämpft. Beim Erreichen einer bestimmten Niederschlagssumme nimmt der Abfluss aber relativ rasch und überproportional zu. Die resultierenden Abflüsse lassen sich statistisch kaum einordnen. Als Grundlage für alle gefahrenrelevanten Tätigkeiten ist es daher zentral, die Niederschlagsmengen zu kennen, bei welchen Prozessschwellen erreicht werden.

Abflussprozesskarten zur Erkennung von Schwellenprozessen

Abflussprozesskarten, hergeleitet auf der Basis detaillierter und digital vorliegender Informationen zu Bodenbeschaffenheit, Geologie, Landnutzung und Relief, lassen sich auch für alpine Einzugsgebiete herleiten. Sie stellen ein effizientes Werkzeug dar, um die oberflächennahe Speicherfähigkeit und die Abflussbereitschaft eines Gebietes zu beschreiben. Sie können dadurch unterschiedliche Reaktionsweisen der untersuchten Gebiete aufzeigen und somit helfen, Schwellenprozesse zu erkennen.

Bedeutung des Subsurface Flows

Bedeutsam in diesem Zusammenhang ist nicht nur die Kenntnis der oberflächennahen Speicher, sondern auch der unterirdischen Entwässerung (Subsurface Flow). Letztere trägt wesentlich zum nichtlinearen Verhalten eines Einzugsgebiets bei, ist aber stark standortspezifisch. Hinsichtlich des Subsurface Flows in steilen gebirgigen Einzugsgebieten besteht denn auch noch bedeutender Forschungsbedarf.

Modellgestützte Sensitivitätsanalysen als Ergänzung

Sind in einem Einzugsgebiet keine Schwellenprozesse zu erwarten oder sind sie erkannt und beschrieben, stellen modellgestützte Sensitivitätsanalysen eine Möglichkeit dar, realistische Worst-Case-Szenarien abzuleiten.

Grundwasser in die Gefahrenbeurteilung einbeziehen

Aufgrund der Relevanz der potenziellen Schäden durch hohe Grundwasserstände auf Gebäude und Infrastrukturen ist dieser Aspekt in die Gefahrenbeurteilung einzubeziehen. Gleichzeitig stellt das Grundwasser auch eine der wichtigsten Trinkwasserressourcen dar. Weil die Qualität des Grundwassers bei Hochwasser auf unterschiedliche Art gefährdet sein kann, ist dem Aspekt der Wasserqualität bei zukünftigen Ereignissen vermehrt Beachtung zu schenken.

Seehöchststände – Folge unterschiedlicher Typen von Ereignissen

Grosse ober- und unterirdische Abflüsse summieren sich zu aussergewöhnlichen Volumina auf, die in den Alpenrandseen zu aussergewöhnlichen Wasserständen führen können. Dabei sind grundsätzlich zwei Ereignistypen zu unterscheiden:

- Kurze Ereignisse mit ausgeprägten Spitzenabflüssen und einer Dauer von wenigen Tagen; zu diesem Ereignistyp gehören jene vom August 2005 und vom August 2007
- Lange Ereignisse mit vergleichsweise kleineren Abflussspitzen und einer Dauer von mehreren Tagen und insgesamt deutlich grösseren Zuflussvolumina als bei kurzen Ereignissen; zu diesem Ereignistyp gehören z. B. die Hochwasser vom Juni 1910 oder vom Mai 1999

Strategien der Bewirtschaftung regulierter Seen

Entsprechend den unterschiedlichen Ereignistypen unterscheiden sich die anzustrebenden Strategien zur Bewirtschaftung regulierter Seen. Bei kurzen Ereignissen gilt es, die ausgeprägten Spitzen im Hinblick auf die Unterlieger zu dämpfen und gleichzeitig den Seestand im Interesse der Oberlieger zu begrenzen. Dazu bedarf es eines entsprechenden Rückhaltevolumens, welches permanent bereitgehalten oder bei sich abzeichnenden Ereignissen durch Vorabsenkung kurzfristig geschaffen wird. Bei langen Ereignissen mit vergleichsweise kleineren Spitzenzuflüssen steht primär die Begrenzung des Seestands im Vordergrund. Entsprechend muss die Ausflusskapazität bei langen Ereignissen etwa 40 bis 70 % des mittleren Tageszuflusses betragen oder es müssen sehr grosse Rückhaltevolumina zur Verfügung stehen.

Ausuferung als Ursache für die grossen Schadensummen

Hochwasserschäden entstehen letztlich durch sämtliche Arten von Oberflächen- und Grundwasserabfluss. Die detaillierte Untersuchung der für mittelländische Verhältnisse charakteristischen Schadensentwicklung über die letzten 10 Jahre im Kanton Aargau zeigt deutlich, dass der grösste Anteil an der gesamten Schadenssumme durch Ausuferung von Fliessgewässern entsteht. Der Schutz vor Schäden durch Ausuferung ist in vielen Fällen Aufgabe der öffentlichen Hand.

Oberflächenabfluss als Ursache für die grosse Anzahl von Schadensfällen

Die grösste Zahl der Schadensfälle ist auf Oberflächenabfluss zurückzuführen, also auf flächig abfliessendes Wasser. Diese Art von Schäden lässt sich durch Objektschutzmassnahmen verhindern bzw. stark verringern. Objektschutzmassnahmen können bei Neubauten oft ohne zusätzliche Kostenfolgen realisiert werden, sofern sie von Beginn an eingeplant werden. Die Realisierung solcher Massnahmen zur Verringerung der Verletzlichkeit von Gebäuden liegt in der Eigenverantwortung der Grund- und Hauseigentümer, unterstützt durch entsprechend sensibilisierte und ausgebildete Planer und Architekten sowie aufgrund von entsprechenden Anreizen der Gebäudeversicherungen.

Wenige Schäden verursachen einen grossen Anteil der Gesamtschadenssumme

Ein grosser Anteil der Schadenssumme wird durch wenige Grossschäden verursacht. Es gilt daher insbesondere, die diesbezüglich sensiblen Objekte zu identifizieren und besonders zu beachten. Die Verletzlichkeit von Gebäude mit hoher Konzentration von Sachwerten ist durch bauliche Massnahmen am Objekt gezielt zu verringern.

Bedeutung der Hydrologie

Bei allen in diesem Kapitel erläuterten Untersuchungen hat sich gezeigt, dass ein erhebliches Potenzial für eine präzisere Einschätzung von Ereignisintensitäten und Eintretenswahrscheinlichkeiten sowie der damit verbundenen Unschärfen besteht. Deshalb ist der Hydrologie bei der Gefahrenbeurteilung und Projektierung von Massnahmen künftig mehr Gewicht beizumessen und die dafür erforderlichen Grundlagen (Prozessverständnis, historische Ereignisse, Modelle, Datengrundlagen) sind bereitzustellen.

Literatur:

BAFU 2007: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2005. Bundesamt für Umwelt BAFU.

Belop GmbH 2006: Ereignisdokumentation. Kanton Obwalden,106 S.

Benito G., Díez-Herrero A., Fernández de Villalta M. 2003: Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium. Climatic change 58: 171–192.

Bollaert E., André S. 2007: Intempéries d'août 2005 – Influence des ouvrages d'accumulation sur les cours d'eau de la Sarine, l'Aare, la Reuss et la Linth. Office fédéral de l'énergie OFEN, Section Barrages.

Diezig R., Weingartner R. 2007: Hochwasserprozesstypen in der Schweiz. Wasser und Abfall, 4. Jg. Heft 1–2: 18–26.

Frei C., Schär C. 1998: A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. International Journal of Climatology, 18: 873–900.

Gees A. 1997: Analyse historischer und seltener Hochwasser in der Schweiz – Bedeutung für das Bemessungshochwasser. Geographisches Institut der Universität Bern, Geographica Bernensia G53.

Gurtz J., Baltensweiler A., Lang H., Menzel L., Schulla J. 1997: Auswirkungen von klimatologischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. Projektschlussbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag, Zürich.

Husen et al. 2007: Locally triggered seismicity in the central Swiss Alps following the large rainfall event of August 2005. Geophys. J. Int.

Ingenieurgemeinschaft Thuner See Aare 2004: Koordinierter Hochwasserschutz Thun Bern. Im Auftrag des Tiefbauamt des Kantons Bern, Bern.

Kanton Obwalden 2006: Schadenskarte des Kantons für das Hochwasser 2005.

Kienzler P., Naef F. 2007: Subsurface storm flow formation at different hillslopes and implications for the «old water paradox». Hydrological Processes, in press, published online: *www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/114201963/PDFSTART* (abgefragt am 17.4.08).

Landeshauptstadt Dresden 2005: Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser.Umweltamt, Forschungsbericht: 69 S.

Lehmann Ch., Naef F. 2007: Hochwasser 2005. Lokale Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) Lütschine. Teil Hydrologie, TBA Kanton Bern: 19–35.

Litschi M. 2005: Kombination von Radar- und Pluviometerdaten zu stündlichen Niederschlagsfeldern – Validierung und klimatologische Auswertung. Diplomarbeit am Institut für Atmosphären- und Klimawissenschaft der ETH Zürich.

Naef F., Margreth M., Schmocker-Fackel P., Scherrer S. 2007: Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten – ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. Wasser Energie Luft: 3–2007.

Pfister Ch. 1984: Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Academia helvetica. Bern/Stuttgart, Haupt. Bd. I, 184 S., Bd. II: 163 S.

Pfister Ch. 1998: Raum-zeitliche Rekonstruktion von Witterungsanomalien und Naturkatastrophen 1496–1995. Schlussbericht NFP 31. Vdf, Zürich.

Röthlisberger G. 1991: Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt WSL, 330: 122 S.

Schaub D., Horat P., Naef F. 1990: Die Hochwasser der Reuss im 18. und 19. Jahrhundert und ihr Einfluss auf die Hochwasserstatistik. Wasser Energie Luft, 3/4, 1990.

Schmocker-Fackel P., Naef F., Scherrer S. 2007: Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences. *http://hydrol-earth-syst-sci.net/11/891/2007/hess-11-891-2007.pdf* (abgefragt am 17.4.08).

Schumann A. 2005: Hochwasserstatistische Bewertung des Augusthochwassers 2002 im Einzugsgebiet der Mulde unter Anwendung der saisonalen Statistik. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 49: 200–206.

Schumann A. 2007: Untersuchungen zum saisonalen Hochwasserregime ausgewählter Pegel der Schweiz. Interner Projektbericht, Ruhr- Universität Bochum, Geographisches Institut der Universität Bern.

Schwanbeck J., Viviroli D., Weingartner R. 2008: Prozessbasierte Beurteilung und Einordnung von seltenen Hochwassern, Untersuchungen im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Schlussbericht, Bern (in Vorbereitung).

Schürch M., Kozel R., Sinreich M. 2008: Schadenspotenzial und Verletzlichkeit von Grundwasser – Fallbeispiele bei Hochwasser und Starkniederschlägen. – Gas Wasser Abwasser, gwa 6/2008: 459–469.

SMA 1985: Alpenwetterstatistik, Witterungskalender. Beschreibung der einzelnen Parameter, Schweizerische Meteorologische Anstalt, Abteilung Forschung, Zürich: 26 S.

Sturm K., Glaser R., Jacobeit J., Deutsch M., Brázdil R., Pfister Ch., Luterbacher J., Wanner H. 2001: Hochwasser in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. Petermanns Geographische Mitteilungen, 145, 2001/6: 14–23.

TK- Consult AG 2007 Hydrodynamische Modellierung der Jurarandseen (JGK). Interner Bericht im Auftrag des BAFU, Zürich.

Viviroli D., Gurtz J., Zappa M. 2007: The Hydrological Modelling System PREVAH. Geographica Bernensia P40, Department of Geography, University of Berne.

Viviroli D. 2007: Ein prozessorientiertes Modellsystem zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse für unbeobachtete Einzugsgebiete der Schweiz. Geographica Bernensia G77, Geographisches Institut der Universität Bern.

VKF 2008: Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Wegleitung der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

Wanner H., Salvisberg E., Rickli R., Schüepp M. 1998: 50 years of Alpine weather statistics (AWS). Meteorologische Zeitschrift N.F., 7: 99–111.

Weikinn C. 1958–2002: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850. Hydrographie Teile 1–6 (Zeitwende – 1850). Akademie-Verlag, Berlin.

Zappa M. 2002: Multiple-Response Verification of a Distributed Hydrological Model at Different Spatial Scales. Dissertation ETH N° 14895, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich.

3 > Hanginstabilitäten

Christian Rickli, Hugo Raetzo, Brian McArdell, Jiri Presler

Die grosse Zahl verschiedener Hanginstabilitäten im August 2005 wirft etliche Fragen auf. Bei welchen Standortbedingungen ist bei starken Regenfällen verbreitet mit Hanginstabilitäten zu rechnen? Lassen sich Niederschlags-Schwellenwerte ermitteln, welche für eine Warnung vor Rutschungen nützlich sind? Sind Bodenkarten geeignete Hilfsmittel für die Gefahrenkartierung? Kann die Auslaufstrecke von Hangmuren vorausgesagt werden? Zu diesen Fragen wurden im Rahmen der Ereignisanalyse einige Grundlagen erarbeitet.

3.1 Einleitung

In der Zeit vom 20. bis 24. August 2005 wurden mehr als 5000 Hanginstabilitäten ausgelöst (Raetzo und Rickli, 2007). Dieser Umstand bot die Gelegenheit, aus den Ereignissen zu lernen und neue Erkenntnisse hinsichtlich der Aspekte Prognose und Prävention zu erwerben. Im Vordergrund standen dabei die Frage, wo Rutschungen zu erwarten sind (Disposition der Hänge), sowie Aspekte der Modellierung von Hangmuren und der zeitlichen Prognose (Warnung) von Hanginstabilitäten. Im Rahmen der Ereignisanalyse wurden verschiedene Arbeiten durchgeführt:

- *Analysen zur Disposition:*
  a) Auswertungen über das gesamte betroffene Schadensgebiet,
  b) detaillierte Analysen von Felddaten von drei Untersuchungsperimetern;
- *Pilotstudien:*
  a) Potenzial von Bodenkarten als Grundlage zur Beurteilung der Disposition,
  b) Modellierung der Teilprozesse Transit und Ablagerung von Hangmuren und
  c) zeitliche Prognose der Auslösung von Hanginstabilitäten.

3.2 Disposition

3.2.1 Disposition flachgründige Rutschungen

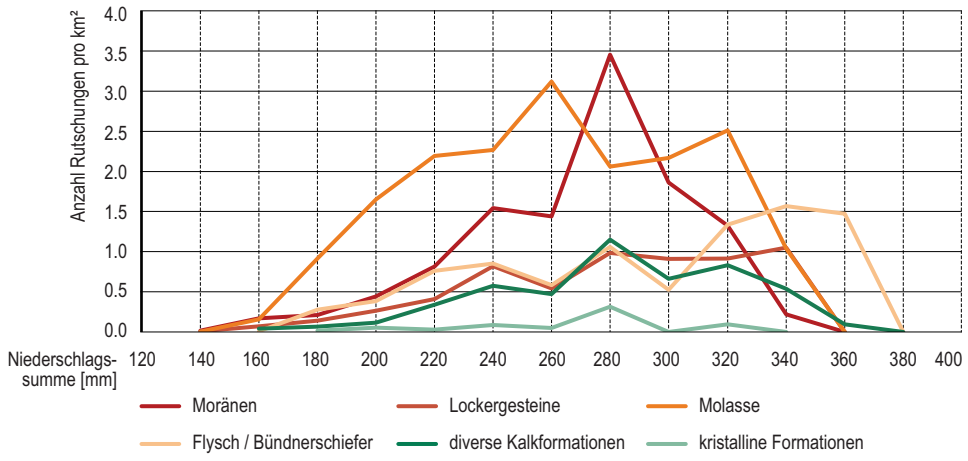
Die Hanginstabilitäten wurden durch die starken Regenfälle vom 19. bis 23. August ausgelöst. Verantwortlich dafür, dass an einer bestimmten Stelle der Hang ins Rutschen geriet und wenige Meter daneben nicht, ist die Disposition der betreffenden Hänge. Diese Bereitschaft eines Hanges zur Auslösung wird durch verschiedene Faktoren bestimmt. Dazu gehören geologische, hydrogeologische und topographische Aspekte, aber auch die Vegetation sowie anthropogene Einflüsse.

Einfluss Geologie

Das erhebliche Ausmass der Ereignisse 2005 in Bezug auf die Anzahl der Prozesse und die betroffenen Regionen bietet Gelegenheit, den Einfluss der Geologie auf das Rutschungsgeschehen als wichtigen Teilaspekt der Disposition zu untersuchen. Dazu wurde der Auslöseort aller bekannten flach-, mittel- oder tiefgründigen Hanginstabilitäten der Unwetter 2005 mit der geotechnischen Karte der Schweiz einerseits und mit der räumlichen Verteilung der gefallenen Niederschlagssumme während des Hauptereignisses andererseits überlagert. Bei vergleichbarem Niederschlag wurde für Gebiete mit Molasse als geologischem Untergrund besonders viele Rutschungen pro Flächeneinheit beobachtet (Abb. 3.1). Dem gegenüber waren Rutschungen in Gebieten mit kristallinem Untergrund selten. Die Ergebnisse zeigen grobe Tendenzen, wie sich die Geologie auf die Disposition in Bezug auf Hanginstabilitäten auswirkt. Allerdings muss auch auf Probleme bei dieser Auswertung hingewiesen werden – besonders im Zusammenhang mit der Genauigkeit der Lokalisierung der Rutschungen im Feld sowie mit dem unzureichenden Detaillierungsgrad der Geotechnischen Karte 1 : 200’000. In Abb. 3.1 nimmt das Vorkommen von Rutschungen bei Niederschlagsmengen von mehr als 300 mm wieder ab. Dies liegt daran, dass nur sehr kleine Flächen mit derart hohen Niederschlagsmengen beaufschlagt wurden.

Abb. 3.1 > Zusammenhang zwischen der Geologie und dem Vorkommen von Rutschungen in Abhängigkeit der räumlichen Verteilung der Niederschlagssumme.

Grundlagen: vereinfachte geotechnische Karte der Schweiz 1 : 200’000 (© BFS GEOSTAT/BUWAL), Niederschlagssumme vom 18.08. 06:00 UTC bis 23.08. 06:00 Uhr, Prozessdaten: Angaben der Kantone (StorMe) und WSL.



Lockergesteine: Gehängeschutt, Bachablagerungen, Schotter

Hangneigung im Anrissgebiet

Zur Analyse der flachgründigen Rutschungen und Hangmuren 2005 wurden innerhalb des vom Unwetter betroffenen Gebietes drei Untersuchungsperimeter abgegrenzt (Raetzo und Rickli, 2007). Darin wurden alle flachgründigen Rutschprozesse mit einem Volumen von mehr als 30 m³ im Feld erfasst und dokumentiert. Zusätzlich stehen aus früheren Untersuchungen die Daten von drei weiteren Untersuchungsperimetern (Sachseln 1997, Napf 2002 und Appenzell 2002) für Vergleiche zur Verfügung. In Übereinstimmung mit diesen früheren Untersuchungen erwies sich erneut, dass die

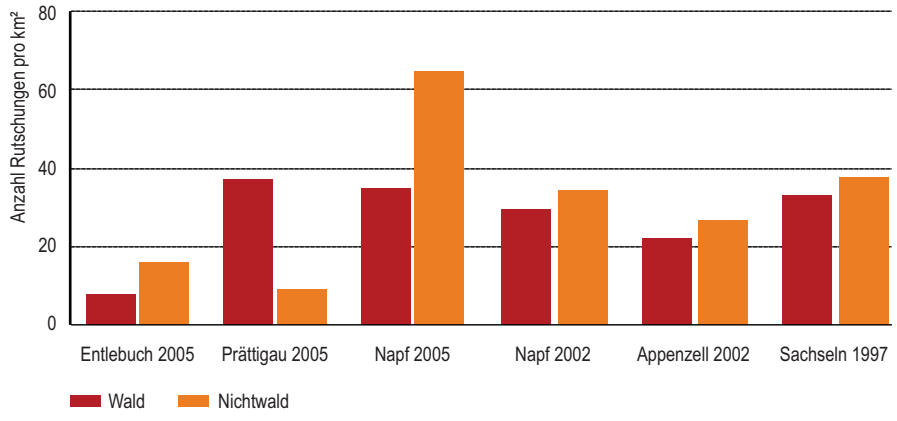
Hangneigung der zentrale Faktor für das Vorkommen der Rutschungen ist: Die Anrissstellen sind zur Hauptsache in Hangneigungen von 20 bis 50° zu finden, wobei die Werteverteilung von Perimeter zu Perimeter z. T. variieren. Der Grund dafür dürfte einerseits in unterschiedlichen Verhältnissen bezüglich Geologie, Hydrogeologie oder Topographie liegen, andererseits aber auch in verschiedenartigen Ereignisniederschlägen (Summe, Dauer, Intensität). Im Rahmen von lokalen Ereignisdokumentationen 2005 wurden z. T. weitere Erhebungen und Auswertungen zu den Neigungsverhältnissen bei den Rutschungen durchgeführt (z. B. Kellerhals + Häfeli AG, 2005).

Stabilisierende Wirkung des Waldes

Im Weiteren ist die Vegetation als wichtiger Dispositionsfaktor zu nennen. Dies ist einerseits daran ersichtlich, dass Waldrutschungen generell in steileren Gebieten auftraten. Zum anderen war das Vorkommen von Rutschungen in fünf der insgesamt sechs Untersuchungsperimeter im Freiland grösser als im Wald (Abb. 3.2), obwohl der Wald in allen Perimetern in den steileren Partien stockt. Dieses Ergebnis wird mit der stabilisierenden Wirkung der Baumwurzeln erklärt.

Abb. 3.2 > Anzahl Rutschungen pro km² im Wald und im Freiland der verschiedenen Untersuchungsperimeter, welche nach den Ereignissen der Jahre 1997, 2002 und 2005 bearbeitet wurden.

Für die Auswertung wurden nur Flächen mit Neigungen von 20 bis 50° berücksichtigt (Neigungsbereich, wo flachgründige Rutschungen beobachtet werden).



Spezialfall Untersuchungsgebiet Prättigau

Warum im Perimeter Prättigau so viele Waldrutschungen zu beobachten waren, ist nicht klar. Einerseits weisen die vielen Waldlücken sowie die starke Beweidung auf einen schlechten Waldzustand und damit eingeschränkte stabilisierende Wurzelwirkung hin. Ähnliche Beobachtungen wurden auch im Perimeter Napf gemacht, wo 2005 viele Rutschungen in ehemaligen Lothar-Schadenflächen ausgelöst worden waren sowie auch in Sachseln, als 1997 besonders viele Rutschungen in Schadenflächen (Windwurf, Borkenkäfer) entstanden waren (Rickli et al., 2002). Andererseits liegen im betroffenen Gebiet des Perimeters Prättigau geologische Verhältnisse vor, die sich wahrscheinlich ungünstig auf die Rutschungsentwicklung im bewaldeten Teil des Perimeters ausgewirkt haben. Der Felsuntergrund besteht im Perimeter Prättigau vorwiegend aus tonig-schiefrigen Gesteinen, welche durch Moräne und Hangschutt unterschiedlicher Mächtigkeit und Durchlässigkeit überlagert werden. Oberhalb des

Gebietes mit den häufigen Rutschungen sind die Gesteine des Felsuntergrundes besser durchlässig. Es ist davon auszugehen, dass das Wasser aus diesem Gebiet in normalen Wetterperioden mehrheitlich nicht in das unterhalb liegende, von Rutschungen stark betroffene Waldareal sickert. Während der Starkniederschläge vom August 2005 fand jedoch vermutlich infolge Anstieg des Bergwasserspiegels ein Überlauf des Wassers aus diesem System statt, was zu den zahlreichen Rutschungen im Wald des Prättigau-Perimeters geführt hat (AGN, 2008).

Erkenntnisse Disposition flachgründige Rutschungen

In Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen ergeben sich durch die Analyse der flachgründigen Rutschungen 2005 folgende weitere Erkenntnisse mit Bedeutung für die Beurteilung der Disposition (Rickli et al., in Vorber.):

- Bei den meisten im Feld dokumentierten Rutschungen wurden Anzeichen früherer Hanginstabilitäten (Nischen und Buckel) beobachtet.
- Auf Standorten mit konkavem Längenprofil wurden praktisch keine Rutschungen festgestellt.
- Vernässte Standorte sind zwar auch von Rutschungen betroffen, die deutliche Mehrzahl der Hanginstabilitäten fand jedoch auf nicht vernässten Standorten statt.
- Anthropogene Einflüsse (insbesondere Strassen) begünstigten in vielen Fällen die Auslösung von Rutschungen
- Zwischen weiteren Standortsfaktoren wie der Exposition oder der Höhenlage und dem Auftreten von flachgründigen Rutschungen konnte kein Zusammenhang beobachtet werden.

3.2.2 Relevanz von Bodenkarten

Für Gefahrenkartierungen stehen in der Regel nur wenige geeignete kartographische Grundlagen zur Verfügung. In vielen Gemeinden existieren Bodenkarten und die im Zusammenhang mit ihrer Erarbeitung erhobenen Bodendaten. Sie sind eine wertvolle flächenbezogene Datenquelle, die bisher zu wenig genutzt wurde. Im Rahmen einer Pilotstudie wurde deshalb untersucht, welches Potenzial Bodenkarten im Zusammenhang mit der Kartierung von Rutschprozessen aufweisen.

Ausgangslage

In der Schweiz verfügen rund 500 Gemeinden über eine detaillierte Bodenkarte, die allerdings in der Regel nur die landwirtschaftlich genutzte Fläche erfasst. Die Kartierungsmethode (FAL, 1997) und die bodenkundliche Klassifikation (FAL/BGS, 1992) sind standardisiert. In Bodenkarten werden Boden- und Standorteigenschaften flächenbezogen erfasst und generalisiert dargestellt. Mit der Kartierung werden rund 20 Boden- und z. T. auch Standortsattribute (z. B. Geländeform, Ausgangsgestein) flächendeckend erfasst. Neben flächenbezogenen Daten werden auch zahlreiche Bodenprofile beschrieben und analysiert: je nach Projekt und Kartierungsmassstab ein Bodenprofil pro 10 bis 30 ha kartierter Fläche. Pro Bodenprofil werden rund 150 Parameter erfasst. Die in letzter Zeit erstellten Bodenkarten liegen digital vor und sind einem breiten Spektrum von Nutzern zugänglich. Ältere Bodenkarten werden zurzeit in verschiedenen Projekten digital aufgearbeitet. In der vorliegenden Pilotstudie wird geprüft, ob Abhängigkeiten zwischen den Anrissstellen der flachgründigen Rutschun-

gen und den in den Karten erfassten Bodeneigenschaften bestehen bzw. inwiefern die umfangreichen Datensätze aus den Bodenkarten als Grundlage zur Beurteilung der Disposition für flachgründige Rutschungen verwendet werden können.

Untersuchungsperimeter und Datenbasis

Als Untersuchungsperimeter wurden die bodenkundlich kartierten Flächen der Gemeinden Neuheim, Menzingen, Unterägeri und Oberägeri im Kanton Zug gewählt, da dort einerseits die Bodenkarte digital im Massstab 1 : 5000 vorliegt (GIS-Fachstelle Zug, 2008) und andererseits flachgründige Rutschprozesse relativ häufig sind. Im Weiteren wurden Flächen mit einer Hangneigung von weniger als 15 % für die Auswertungen nicht berücksichtigt, da sie für flachgründige Rutschungen kaum relevant sind. Die Daten zu den Rutschungen stammen aus der StorMe-Datenbank (Ereigniskataster), die durch das kantonale Forstamt aufgearbeitet und für das Projekt zur Verfügung gestellt wurde. Es wurden sämtliche erfassten Rutschungen berücksichtigt; d. h. nicht nur Ereignisse vom August 2005.

Die Untersuchung beschränkte sich auf die Auswertung von vorhandenen Daten – es fanden keine Felduntersuchungen statt. In einem ersten Schritt wurden die Bodendaten des Untersuchungsperimeters statistisch beschrieben. In einem zweiten Schritt wurden die Bodendaten der Teilflächen, die eine oder mehrere Anrissstellen von Rutschungen beinhalten, ausgewertet und mit jenen des gesamten Perimeters verglichen.

Ergebnisse

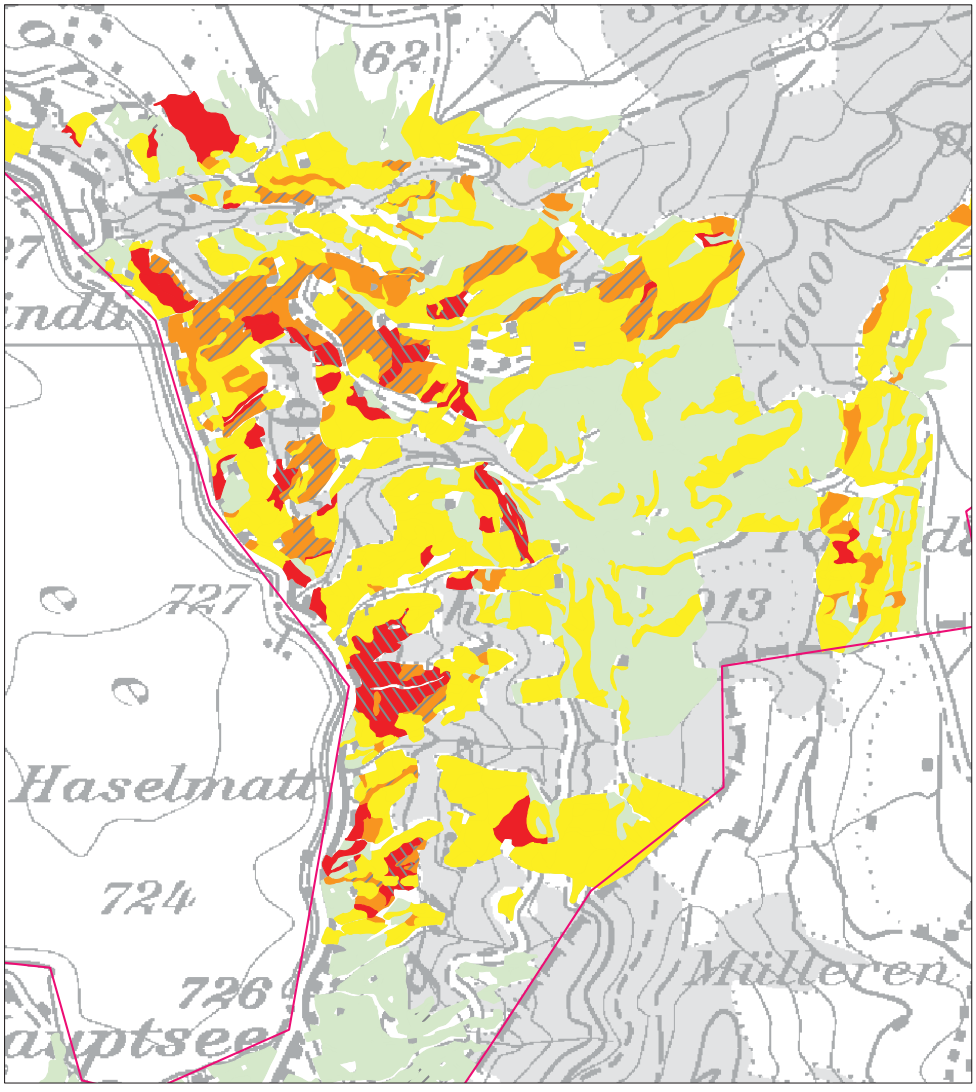
Relativ zum gesamten Untersuchungsperimeter kommen in den Flächen mit dokumentierten Hanginstabilitäten die folgenden Boden- und Standorteigenschaften häufiger vor:

- Hangneigung über 25 % (16°), insbesondere über 35 % (21°) und
- Einfluss von Hangwasser.

Während sich im gesamten Untersuchungsgebiet der häufigste Boden auf einem gleichmässigen Hang mit einer Neigung von 20 bis 25 % (13 bis 16°) befindet und normal durchlässig und normal tiefgründig ist, befinden sich die Anrissstellen von Rutschungen am häufigsten auf einem ungleichmässigen Hang mit einer Neigung von 35 bis 50 % (21 bis 30°) sowie auf Böden, welche durch Hangwasser beeinflusst und mässig tiefgründig sind.

Unter der Annahme, dass die Disposition für flachgründige Rutschungen von den in der Bodenkarte erfassten Parametern Hangneigung, Geländeform und Bodeneigenschaften (z. B. Durchlässigkeit, Wasserhaushalt usw.) abhängig ist, kann mit Hilfe der Bodenkarte von den Flächen mit dokumentierten Rutschungen auf die Disposition von Flächen vergleichbarer Boden- und Standorteigenschaften (Bodenformen) geschlossen und eine Karte der potenziellen Disposition erstellt werden (Abb. 3.3). Für Bodenformen, welche bisher noch nicht gerutscht sind, wird die Disposition als «gering» bezeichnet. Solche mit einer dokumentierten Anrissstelle wurden als «erhöht» und solche mit mehreren Anrissstellen als «hoch» klassiert.

Abb. 3.3 > Disposition flachgründiger Rutschungen, Extrapolation mittels Bodenkarte.



Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA081421)

3.2.3 Disposition mittel- und tiefgründige Rutschungen

Geologie

Die Geologie bestimmt die Grunddisposition massgeblich. Sie manifestiert sich in den Gebirgs- und Gesteinsbeschaffenheiten, welche durch die spezifischen boden- und felsmechanischen Charakteristika des Untergrundes zum Ausdruck kommen. Für die mittel- und tiefgründigen Rutschungen zeichnet sich eine Häufung in Gebieten mit geotechnisch eher ungünstigen Untergrundverhältnissen ab. So sind hauptsächlich Formationen mit tonig-mergeligen, schlecht durchlässigen Schichten betroffen, da dort vermehrt Gesteine (einschliesslich deren Verwitterungsprodukte) mit relativ schlechten Festigkeitseigenschaften und Wasser stauende Horizonte ausgebildet sind.

Durchlässigkeit des Gesteins

Bei der Grunddisposition spielen nicht nur die Lithologien eine Rolle, sondern auch die Durchtrennung des Gebirgskörpers sowie die Hang- und Bergwasserverhältnisse. Die anhaltenden Niederschläge im August 2005 bewirkten eine ausgeprägte Wassersättigung des Gebirges. Dadurch stieg der Bergwasserspiegel verbreitet auf ausserordentliche Niveaus an. Dies zeigte sich einerseits in ungewöhnlich starken Schüttungen von Quellen, andererseits in zuvor nicht bekannten Wasseraustritten. Die Wassersättigung führte mancherorts zu einer substanziellen Reduktion der Festigkeiten des Untergrundes und somit zu Hanginstabilitäten.

Bekannte Rutschgebiete

Die Mehrzahl der mittel- und tiefgründigen Rutschungen vom August 2005 ereignete sich in alten aber substabilen (d. h. mittlere Bewegungsrate bis 2 cm/Jahr) Rutschgebieten, welche teilweise bereits bekannt waren. Ausnahmen von dieser Regel sind bei tiefgründigen Rutschungen selten, wobei in Einzelfällen die letzte Beschleunigungsphase sehr weit zurück liegen kann (z. B. nach der letzten Eiszeit oder dem Rückzug der Gletscher).

Rutschmechanismen

Die grossvolumigen Rutschungen sind mehrheitlich als Translationsrutschungen zu klassieren. Die Gleithorizonte werden durch Gesteine geringer felsmechanischer Festigkeit charakterisiert (feinkörnige Lockergesteine, Mergel, Feinsandsteine der Molasse, Flysch, Mergelschiefer des Helvetikums). Oftmals wurde die gesamte Lockergesteinsschicht bis auf die Felsoberfläche mobilisiert. Bei einigen Rutschungen wurden stellenweise sogar die obersten Schichten des Felsuntergrundes abgeschert und in den Rutschprozess integriert.

3.3 Niederschlags-Schwellenwerte

3.3.1 Niederschlagssumme bis zur Auslösung von flachgründigen Rutschungen

Nicht nur die örtliche Vorhersage von Rutschungen (z. B. im Rahmen der Gefahrenbeurteilung) ist problematisch, sondern auch deren zeitliche Prognose (z. B. für Warnungen). Die zentrale Frage ist dabei, ab welchen Niederschlagssummen und -intensitäten Hanginstabilitäten zu erwarten sind. Um diese Frage zu bearbeiten, wurden alle verfügbaren Angaben zu Auslösezeitpunkten von Hanginstabilitäten zusammengetragen. Für die insgesamt 195 Rutschungen mit bekanntem Auslösezeitpunkt wurden sodann die Niederschlagssummen bis zur Prozess-Auslösung am Ort der betreffenden Rutschung ermittelt.

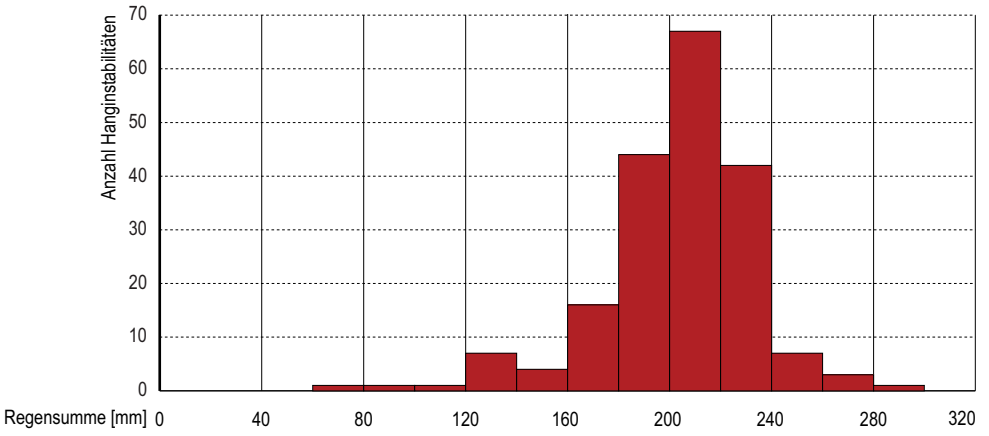
Niederschlagssummen

Vereinzelt traten bereits ab ungefähr 60 mm Regen erste Hanginstabilitäten auf (Abb. 3.4). Die grosse Mehrheit der Prozesse wurde jedoch erst durch Regensummen von mehr als 160 mm ausgelöst. Dies korrespondiert ungefähr mit den Werten, welche im Fallbeispiel Arth Goldau (Kap. 3.3.3) für kleinere Rustschungen und Hangmuren angegeben sind. Die Daten wurden zudem auch hinsichtlich weiterer Aspekte ausgewertet (Rickli et al., in Vorber.), wobei die entsprechenden Resultate jedoch aufgrund der schmalen Datenlage mit Vorsicht zu interpretieren sind:

- Kleinere Rutschungen (< 200 m³) wurden bereits bei geringeren Regensummen ausgelöst als grössere Rutschungen.
- Die Regensumme bis zur Auslösung zeigt eine gewisse Abhängigkeit von der Geologie: Rutschungen in Flysch/Bündnerschiefer entstanden bei den geringsten Regenmengen, gefolgt von Rutschungen in Molasse und schliesslich in Kalkformationen.

Abb. 3.4 > Regensumme ab 18.08.05, 06:00 UTC bis zum Auslösezeitpunkt der Hanginstabilitäten.

Im Vergleich zu Abb. 3.1 resultieren geringere Regensummen, da hier die Regensumme bis zum Auslösezeitpunkt und in Abb. 3.1 die Summe der gesamten Haupt-Niederschlagsperiode vom 18.08. bis 23.08. aufgetragen ist.



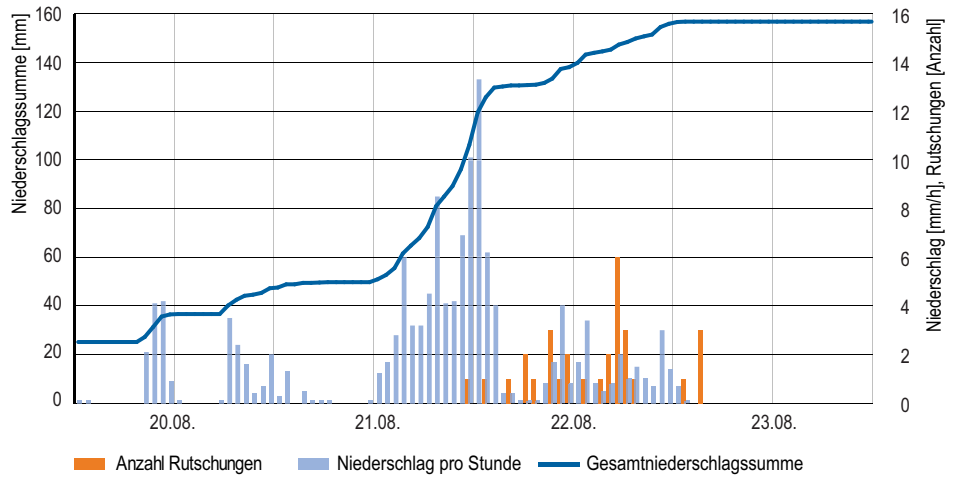
n = 195

3.3.2 Niederschlagsintensität zur Auslösung von flachgründigen Rutschungen

Auswertung Messwerte ANETZ-Stationen

Für die Auslösung von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren ist neben der Regenmenge auch die Intensität der Niederschläge relevant. Deshalb wurde versucht, für die Ereignisse 2005 massgebende Niederschlagsintensitäten für die Auslösung von Rutschungen zu ermitteln. Eine erste Analyse wurde auf die Messwerte von ausgewählten ANETZ-Stationen abgestützt, welche jeweils im Ereignisfall sofort und ohne Nachbearbeitung verfügbar sind (Nowcasting). Dabei wurde folgendes Vorgehen gewählt: 1) Erstellen von Niederschlags-Ganglinien bei ausgewählten Messstationen, 2) Ermittlung der Auslösezeitpunkte von Hanginstabilitäten im Umkreis von 20 km um die entsprechenden Messstationen. In Abb. 3.5 sind als Beispiel die Werte für die Messstation Luzern dargestellt. Bis zur Auslösung der ersten Rutschungen in der Region fielen ab dem 18. August ungefähr 106 mm Regen und die Niederschlagsintensität betrug zum Zeitpunkt der ersten Rutschung 10 mm in einer Stunde.

Abb. 3.5 > Niederschlagsverlauf und Stundensummen (Regenintensität) ab dem 18.08.05, 06:00 UTC für die ANETZ-Station Luzern sowie ausgelöste Hanginstabilitäten im Umkreis von 20 km um die Messstation.



Grosse Bandbreite

Die in Tab. 3.1 aufgezeigte Spannweite der für die verschiedenen Gebiete ermittelten Schwellenwerte der Niederschlagsintensität und -summe ist erheblich. Die Regensummen ab dem 18. August bis zur Auslösung der ersten Prozesse betrugen zwischen 63 und 143 mm. Für den Zeitpunkt der ersten Auslösung wurden Regenintensitäten von 3.6 bis 12.6 mm pro Stunde ermittelt. Die Gründe für die grossen Unterschiede sind noch nicht im Detail identifiziert. Sie dürften jedoch einerseits in der Disposition der entsprechenden Standorte bzw. den lokalen Gegebenheiten, aber auch in der angewendeten Methode liegen, da der Niederschlagsverlauf an der Messstation von jenem am Ort der Rutschung abweichen kann. Weitere Arbeiten hinsichtlich der Ermittlung von Schwellenwerten für die Warnung vor Rutschungen sind erforderlich.

Tab. 3.1 > Massgebende Niederschlagssummen und -intensitäten für Hanginstabilitäten mit bekanntem Auslösezeitpunkt im Umkreis von 20 km um ausgewählte ANETZ-Stationen.

ANETZ-Station	Anzahl Hanginstabilitäten	Niederschlags-summe[1] [mm]	Niederschlags-intensität 1h[2] [mm/h]	Niederschlags-intensität 3h[3] [mm/h]	Niederschlags-intensität[4] [mm/h] / Dauer [h]
Adelboden	15	71.6	4.0	4.0	2.8 / 12
Interlaken	14	70.9	3.6	4.6	3.6 / 9
Napf	110	143.7	12.6	11.9	6.5 / 12
Luzern	30	106.4	10.1	7.1	4.7 / 12
Engelberg	6	85.5	4.0	3.8	3.7 / 15
Glarus	11	63.1	3.6	1.4	1.5 / 23

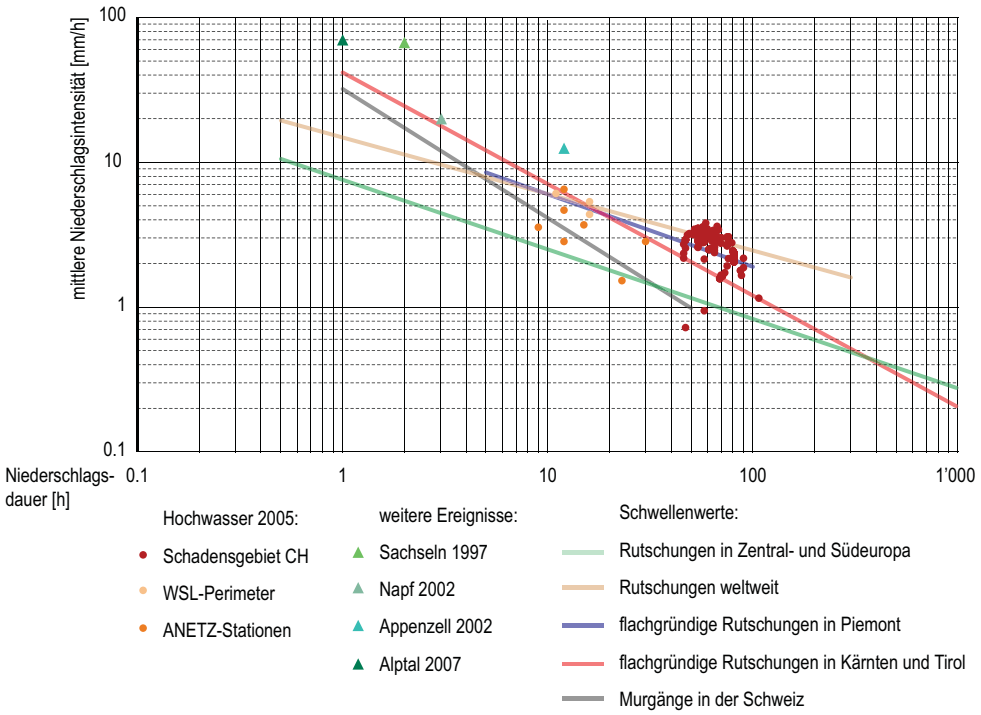
[1] Niederschlagssumme vom 18.08., 06:00 UTC bis zum Auslösezeitpunkt der ersten Rutschung
[2] 1h-Niederschlagsintensität zum Auslösezeitpunkt
[3] mittlere Niederschlagsintensität in den 3 h vor dem Auslösezeitpunkt
[4] mittlere Niederschlagsintensität ab Einsetzen der intensiven Niederschläge bis zum Auslösezeitpunkt

Auswertung nachbearbeitete Datensätze (Pluviometer/Radar) der MeteoSchweiz

Weitere Auswertungen wurden mit nachbearbeiteten Niederschlagsdaten der MeteoSchweiz durchgeführt. Die Niederschlagsganglinien für die Orte der Hanginstabilitäten wurden dabei zusammengesetzt aus 1) dem Pluviometer-Datensatz für die Tage vor der Rutschungsauslösung und 2) dem Radar-Datensatz für den Tag der Auslösung. In Abb. 3.6 ist für die Rutschungen 2005 sowie für weitere ausgewählte Ereignisse jeweils die Niederschlagsdauer gegenüber der entsprechenden mittleren Niederschlagsintensität aufgetragen. Die Werte für die ANETZ-Stationen und für die drei Untersuchungsgebiete der WSL in den Regionen Entlebuch, Prättigau und Napf basieren auf individuell in Abhängigkeit des Niederschlagsverlaufes festgelegten Anfangs- und Endzeiten der massgebenden Niederschlagsperiode. Sie weisen deshalb jeweils eher eine kürzere Niederschlagsdauer als die Werte für das gesamte Schadensgebiet der Unwetter 2005 (N = 195) auf. Diese basieren auf einer einheitlichen Anfangszeit (20.08., 06:00 UTC), wobei das eigentliche Einsetzen der intensiven Niederschläge teilweise erst mehrere Stunden später erfolgte. In Abb. 3.6 sind diesen Werten zusätzlich verschiedene Linien für kritische Werte der Auslösung aus der Literatur (nach Guzzetti et al., 2007) gegenübergestellt. Die Werte der Rutschungen 2005 korrespondieren mehrheitlich schlecht mit diesen Linien und liegen oftmals auch darunter. Im Weiteren ist die grosse Streuung zu erwähnen.

Abb. 3.6 > Mittlere Niederschlagsintensität in Abhängigkeit der Ereignisdauer, ermittelt für die Auslösung von Rutschungen 2005.

Zum Vergleich Linien kritischer Schwellenwerte für die Prozessauslösung eingetragen, die für verschiedene Gebiete und Prozesse (nach Guzzetti et al., 2007) ermittelt wurden.



Niederschlagssumme und -intensität

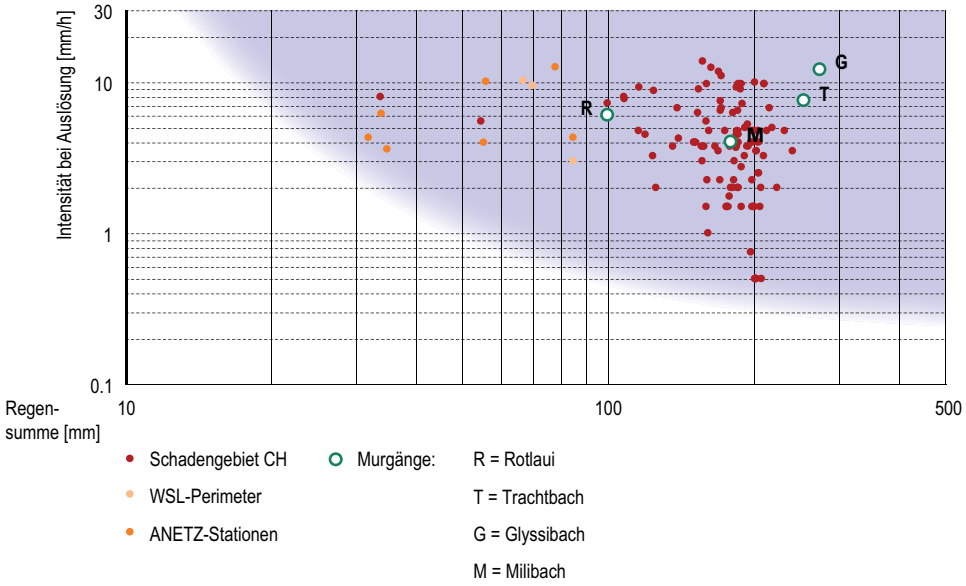
Abb. 3.7 stellt die Ergebnisse einer weiteren Auswertung mit nachbearbeiteten Niederschlagsdaten von MeteoSchweiz dar, und zwar den Zusammenhang zwischen der Niederschlagssumme bis zum Auslösezeitpunkt und die Intensität zum Zeitpunkt der Prozessauslösung. Die Niederschlagsbedingungen, bei denen Rutschungen auftraten, sind mit einer eingezeichneten Fläche von jenen Bedingungen abgegrenzt, bei denen noch keine Rutschungen auftraten. Offenbar war im August 2005 eine minimale Regensumme von etwas mehr als 30 mm und Intensitäten von mehr als 2 bis 3 mm pro Stunde für die Auslösung von Hanginstabilitäten notwendig. Zudem scheint die erforderliche Intensität mit zunehmender Niederschlagssumme abzunehmen.

Ausblick

Derzeit ist es aufgrund der momentan verfügbaren Daten nicht sinnvoll, für die Auslösung von Rutschungen bei Starkniederschlägen Schwellenwerte anzugeben, welche für die Warnung vor Hanginstabilitäten im Verlauf von Unwetterereignissen verwendet werden können. Dazu sind weitere Anstrengungen notwendig. Die Auswertungen der Ereignisse 2005 können jedoch als erste Anhaltspunkte dienen. Neben der Erhebung von zuverlässigen Daten zu Auslöse-Zeitpunkten bei künftigen Ereignissen und zu den entsprechenden Niederschlagsverläufen besteht ein wichtiger Punkt auch in der Definition nachvollziehbarer Kriterien zur Abgrenzung der massgebenden Niederschlagsperiode.

Abb. 3.7 > Zusammenhang zwischen der Niederschlagsintensität [mm/h] zum Auslöse-Zeitpunkt und der Niederschlagssumme [mm] ab 18.08.05, 06:00 UTC bis zur Auslösung von Rutschungen der Unwetter 2005. Ausserdem sind Werte für Murgänge vom August 2005 im Berner Oberland (geo7, 2008) dargestellt.

Farblich hinterlegte Fläche: Niederschlagsbedingungen (Kombinationen von Niederschlagssumme und Intensität), welche im August 2005 zu Hanginstabilitäten führten.



3.3.3 Niederschlagssummen bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen

Niederschlagssumme wichtiger als Intensität

Im Vergleich zu den flachgründigen Rutschungen kann bei tiefgründigen Rutschungen eher von höheren Schwellenwerten ausgegangen werden, sofern die Aktivität vor dem Unwetter gering ist. Massgebend für die Auslösung der tiefgründigen Rutschungen sind neben der geologischen Disposition die Niederschlagssumme, der Wasserzufluss, ob unterirdisch oder oberflächlich, die Ausgangssättigung zu Beginn des Unwetters und die Wildbacherosion am Rutschfuss. In der Folge wird hier versucht, aus den rezenten Unwetterereignissen die kritischen Niederschlagssummen zu analysieren – wohlwissend, dass die anderen Faktoren ebenfalls von Bedeutung sind. Grundsätzlich ist die Regensumme bei der Auslösung von tiefgründigen Rutschungen wichtiger als die Niederschlagsintensität. Denn bei grossen Gesteinsmassen dauert es länger, bis die Infiltrationen einen kritischen Wasserstand bzw. Poren- oder Kluftwasserdruck verursachen. Die kurzfristige Niederschlagsintensität, hier sind Stunden- bis Mehrstundenwerte gemeint, spielt für die tiefgründige Sättigung, den Prozess und die unmittelbare Auslösung der Rutschungen eine untergeordnete Rolle.

Schwellenwerte

Die Regenfälle vom 21. und 22. August 2005 folgten einer mehrwöchigen Niederschlagsphase mit entsprechend hoher Bodensättigung zu Beginn des Unwetters. An mehreren MeteoSchweiz-Stationen der Zentralschweiz wurden vor dem 20. August 2005 bereits mehr Niederschläge registriert als das langjährige Monatsmittel. Während kleine flachgründige Rutschungen in den Tagen des Unwetters 2005 ab 50 mm Nieder-

schlagssumme abgingen, ereigneten sich Beschleunigungen von mittelgrossen sowie tiefgründigen Rutschungen ab 100 bis 150 mm. Rutschungen mit mehreren Millionen Kubikmetern ereigneten sich meist nach 200 bis 300 mm Niederschlag. Differenzierte Schwellenwerte für unterirdische oder oberflächliche Zuflüsse können aufgrund der vorhandenen Daten keine definiert werden. Nichts desto trotz kann davon ausgegangen werden, dass bei Niederschlagssummen ab 100 bis 150 mm in wenigen Tagen die Wahrscheinlichkeit von Rutschungen sukzessive zunimmt und dass die Volumina ebenfalls zunehmen. Für den Einzelfall sind die lokalen geologischen Gesteinseigenschaften sowie die Sättigungs- und Drainierungsverhältnisse entscheidend. Bezüglich dieser hydrogeologischen Verhältnisse muss für jeden Rutschhang ein spezifisches Modell zur Herleitung von Szenarien und Eintretenswahrscheinlichkeiten entwickelt werden.

Fallbeispiel Jaun FR

So kam es z. B. im Frühjahr 1999 in Jaun FR zu einer seltenen, ca. 100-jährlichen Abflussmenge aus einer normalerweise trockenen Karstquelle, weil sich damals im Gegensatz zu 2005 Niederschlag und Schneeschmelze überlagerten. Als Folge erhöhte sich der Kluftwasserdruck und eine tiefgründige Felsrutschung beschleunigte sich. Die Bewegungen hielten auch nach der Niederschlagsphase an. Erst nach dem totalen Versiegen der Karstquelle und dem gleichzeitigen Abfall des Kluftwasserdrucks kam die Felsrutschung zur Beruhigung. Für die Auslösung tiefgründiger Rutschungen kann die zusätzliche Durchnässung aus Wasserzuflüssen entlang von Klüften oder Brüchen von Bedeutung sein. Hinweise dazu liefert z. B. die Rutschung Cholrüti OW, wo entlang flach liegender Störungen Wasseraustritte zu beobachten waren, welche sonst unbekannt sind.

Fallbeispiel Arth-Goldau

Die Chronologie der Ereignisse vom August 2005 im Raum Arth-Goldau illustriert die Zunahme von grossen Rutschungen mit der steigenden Niederschlagssumme: Erste kleinere Hanginstabilitäten ereigneten sich bereits im Laufe der Nacht vom 21. auf den 22. August. Am Morgen des 22. August gingen nach einer Niederschlagssumme von ca. 150 mm verbreitet kleine Rutschungen und Hangmuren nieder. Am späteren Nachmittag setzten bei andauerndem Niederschlag grössere Hangbewegungen ein. Am Abend des 22. August, nach ca. 200 mm Niederschlag, geriet am Rossberg der Molassegesteinsuntergrund auf einer Fläche von etwa 1.5 ha in Bewegung. Rund 130’000 m³ Felsmaterial, vorwiegend Sandsteine und Nagelfluh, glitten als Felsrutschung ab (Abb. 3.8 und Abb. 3.9). Die daraus hervorgehende Trümmermasse floss wegen der starken Durchnässung und des permanenten Wasserzuflusses aus Bächen in Form eines langsamen Murgangs talwärts bis nach Goldau hinunter.

Abb. 3.8 > Abrissstelle der Felsrutschung am Rossberg oberhalb von Goldau.

Foto: Kantonsforstamt Schwyz

Abb. 3.9 > Die wassergesättigte Trümmermasse floss murgangähnlich bis in den Siedlungsraum von Goldau.

Der gesamte Prozessraum erstreckte sich über knapp 2 km Länge. Rund 10 ha Wald wurden zerstört.

Foto: Kantonspolizei Schwyz

Spätfolgen

Mehrere der tiefgründigen Rutschungen haben während dem Unwetter 2005 wie auch während früheren Unwettern eine verzögerte Beschleunigung gezeigt. Eine Verzögerung von mehreren Tagen und Wochen ist nicht selten. Im Fall der Rutschung Brand bei Grindelwald, einem Beispiel extremer Reaktionsverzögerung, ereignete sich die grösste Beschleunigung erst im Frühling des folgenden Jahres und verursachte irreparable Gebäudeschäden. Eine derart stark verzögerte Reaktion des Hanges ist mit der Sättigung der feinkörnigen Masse, der mechanischen Deformation und möglicherweise mit unterirdischen Zuströmungen erklärbar.

3.4 Translation und Ablagerung

3.4.1 Auslauf von Hangmuren

Pauschalgefälle und Auslaufstrecken

Bei vielen flachgründigen Rutschungen floss ein grosser Teil des mobilisierten Bodenmaterials als Hangmure bis mehrere Hundert Meter weit ab. Für Gefahrenbeurteilungen sind Grundlagen zum Auslauf und zur Ablagerung des Materials von grosser Bedeutung. In den drei Untersuchungsgebieten der WSL (Entlebuch, Prättigau und Napf) wurden jeweils verschiedene Daten zu den Auslaufstrecken von Hangmuren erhoben. Dabei wurden Auslaufstrecken (schiefe Distanz Anriss – unterer Ablagerungsrand) bis maximal 500 m und Pauschalgefälle (Neigung Verbindungslinie Anriss – unterer Ablagerungsrand) von 17 bis 40° gemessen (Raetzo und Rickli, 2007). Bei der Suche nach massgebenden Einflussgrössen und Zusammenhängen ergaben sich folgende Punkte (Rickli et al., in Vorbereitung):

- > Mit zunehmender Neigung im Bereich des Rutschungsanrisses nimmt das Pauschalgefälle zu.
- > Bei Rutschungen im Freiland wurden flachere Pauschalgefälle gemessen als bei Waldrutschungen.
- > Mit zunehmender Grösse der Rutschungen (Fläche, Mächtigkeit, Volumen) nehmen die beobachteten maximalen Längen der Auslaufstrecken zu und die maximalen beobachteten Pauschalgefälle ab.

Die Streuung der Daten ist jedoch erheblich und deshalb sind nur wenig gesicherte Aussagen zu wichtigen Einflussgrössen auf den Auslauf von Hangmuren möglich. So konnten weitere, vermutete Zusammenhänge (z. B. Einfluss Lockergestein, Wasserführung usw.) anhand der vorliegenden Daten nicht aufgezeigt werden.

3.4.2 Modellierung von Hangmuren

Analogien zu Murgängen und Fliesslawinen

Zusätzlich zu dieser Analyse von Felddaten wurden Versuche zur Modellierung von Hangmuren mit RAMMS (Rapid Mass Movement Modelling System) durchgeführt. Mit diesem Softwarepaket kann der Auslauf von Fliesslawinen, Murgängen, Steinschlag und Steinlawinen modelliert werden. Das Modell basiert grundsätzlich auf einer Lösung der 2D-Flachwassergleichungen, welche für granularen Fluss angepasst wurden. Für die Reibung wird dabei eine Beziehung von Voellmy eingesetzt, welche oft für Fliesslawinen angewendet wird und welche auch für die Modellierung von Murgängen als geeignet erscheint (Rickenmann et al., 2006). Dabei kommen zwei Reibungskoeffizienten zum Einsatz: ein Coulomb-Reibungskoeffizient (μ) und ein Koeffizient für den turbulenten Teil der Fliessbewegung (ξ).

Modellierung mit RAMMS

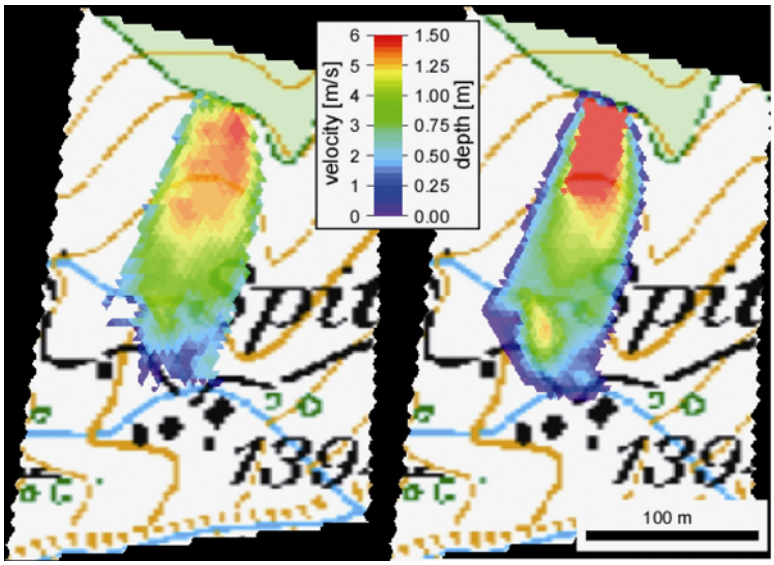
Erstmals wurde der Auslauf von Hangmuren zweidimensional mit dem Programm RAMMS simuliert. Da bei Hangmuren ähnliche interne Deformationen auftreten wie sie auch bei Gerinnemurgängen vorkommen, wurde erwartet, dass sich vernünftige Resultate ergeben würden. Allerdings war klar, dass andere Werte für die Reibungsparameter einzusetzen sind. Insgesamt wurden zehn im Feld dokumentierte Hangmuren des Unwetters 2005 in den Untersuchungsgebieten Entlebuch (Abb. 3.10) und Prättigau mit RAMMS modelliert. Für eine dieser Hangmuren sind die Modellergebnisse in Abb. 3.11 dargestellt.

Abb. 3.10 > Beispiel einer Rutschung (No. 3028) bei Flühli LU, welche mit RAMMS modelliert wurde.

Volumen: 2800 m³, Neigung Rutschfläche 19°, Pauschalgefälle: 16°.

Abb. 3.11 > Modellergebnisse (RAMMS) für die Rutschung Nr. 3028 (Abb. 3.10).

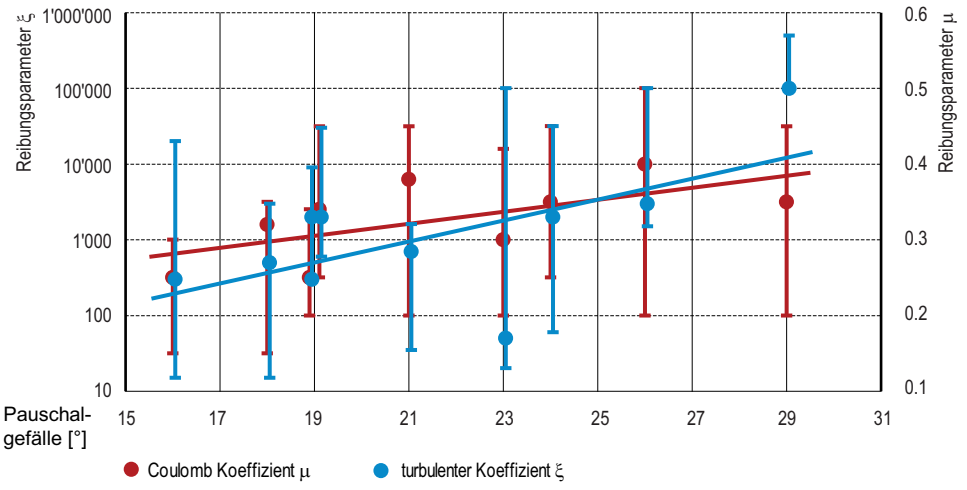
Maximale Fliessgeschwindigkeit (links) und maximale Abflusstiefe (rechts) für einen Modelllauf, der gute Übereinstimmung mit der Realität in Bezug auf die Auslaufstrecke zeigt (Reibungsparameter: $\mu = 0.25$, $\xi = 300$).



Ergebnisse

Für die Modellierung der Ablagerungen potenzieller Hangmuren sind einerseits das Volumen der Rutschmasse und andererseits Werte für die beiden Reibungsparameter (μ und ξ) einzugeben. Grundlage für die Abmessungen des Ausgangs-Rutschblockes im Modell waren die Felddaten. Die Simulationen wurden unter Variation der Reibungsparameter solange iterativ durchgeführt, bis die mit dem Modell berechnete Ablagerung mit jener in der Realität übereinstimmte. Bei zehn Hangmuren konnten mehrere zufrieden stellende Kombinationen der beiden Reibungsparameter gefunden werden. In einem Fall war dies jedoch nicht möglich, was nicht zuletzt auch auf die Grenzen der Modellierung hinweist. In Abb. 3.12 sind Wertepaare für Reibungsparameter dargestellt, welche für unsere Fälle realitätsnahe Modellergebnisse liefern. Dabei kann eine Abhängigkeit von der Neigung erkannt werden. Analoge Auswertungen zum Einfluss des Volumens ergaben keinen Zusammenhang (für einen Volumenbereich von einigen Hundert bis wenigen Tausend Kubikmetern).

Abb. 3.12 > Zusammenhang zwischen Paaren von Reibungsparametern μ und ξ, welche für die neun Hangmuren gute Modellergebnisse liefern (Punkte und Kreise), und dem Pauschalgefälle. Zusätzlich sind die ermittelten Bandbreiten für die Reibungsparameter zu sehen; aus McArdell et. al (2008).



Ausblick

In Bezug auf die Modellierung von Hangmuren mit RAMMS konzentrieren sich die Arbeiten derzeit auf die Evaluation von Reibungsparametern, mit welchen die modellierte Ablagerung möglichst nahe an die im Gelände beobachtete herankommt. Das Modell ist zurzeit noch in der Entwicklung begriffen, und aktuell werden für das Murgangmodul Tests mit Felddaten durchgeführt (z. B. Scheuner, 2007).

3.4.3 Translation und Ablagerung von mittel- und tiefgründigen Rutschungen

Grosse Variabilität

Bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen können Transit- und Ablagerungszonen schlecht voneinander abgegrenzt werden. Je nach Gesteinsparametern, dem Wassergehalt, dem Ereignisablauf und der Wirkung von Sekundärprozessen sind diese Zonen sehr unterschiedlich. Aus dem vorliegenden Datensatz ist eine dementsprechend hohe Variabilität auszumachen. Das Pauschalgefälle variiert zwischen 12° und 46°.

Trend zu flachen Neigungen

In den Ablagerungszonen ist eine Tendenz für sehr flache Neigungen feststellbar, indem einige Rutschungen lediglich eine Neigung von 5° an der Front aufweisen. Derart flache Ablagerungszonen sind nur bei grösseren Rutschungen üblich, abgesehen von den Sekundärprozessen mit Fliesskomponenten. Das sehr flache Gelände entspricht in der Regel der Stauchzone, die unter anderem durch Bodenwölbungen charakterisiert wird. Aus anderen Untersuchungen in Flyschgebieten geht hervor, dass tiefgründige Rutschungen mit Volumina von mehr als 1 Mio. m³ häufig Ablagerungszonen mit einer Neigung von weniger als 13° aufweisen. Wie bei den flachgründigen Prozessen ist auch bei den tiefgründigen Rutschungen des Unwetters 2005 der Trend zu vermehrt flachen Neigungen ersichtlich: Mehrere Rutschungen weisen Neigungen um 15° auf. Die hohe Wassersättigung des mobilisierten Gesteins hat diese Prozesse mit Sicherheit beeinflusst.

3.5 Erkenntnisse

Prozessvielfalt und Disposition

Obwohl Ereignisse mit vielen Hanginstabilitäten nicht selten sind und dadurch jeweils erhebliche Schäden verursacht werden, sind die Möglichkeiten für Prognosen sowohl in örtlicher als auch in zeitlicher Hinsicht immer noch begrenzt. Dies liegt v. a. an der Vielfalt der möglichen Prozessformen und an den zahlreichen Einflussgrössen auf die Auslösung. Analysen von Schadensereignissen sind deshalb wichtig, da sie helfen, die Prozesse besser zu verstehen. Die Erhebungen zu den Hanginstabilitäten 2005 sowie die Erfahrungen aus früheren Unwettern ergaben einige wertvolle Hinweise bezüglich der wichtigen Dispositionsfaktoren wie z. B. der Hangneigung, der Geologie, der Hydrogeologie, der Vegetation oder auch bezüglich der anthropogenen Einflüsse. Darauf basierend können jene Gebiete kartiert werden, wo Hanginstabilitäten oder Beschleunigungen von tiefgründigen Rutschungen mit geringer, mittlerer oder hoher Wahrscheinlichkeit möglich sind. Für das Krisenmanagement der Führungsstäbe sollte die Gefahrenanalyse folgende Grundlagen liefern:

a) mögliche Gefahrenprozesse,
b) räumliches Auftreten der Prozesse,
c) Szenarien bei komplexen Phänomenen und
d) Grössenordnungen für Schwellenwerte zur Auslösung.

Potenzial der Bodenkarten

Die Pilotstudie betreffend Bodenkarten zeigt auf, dass diese in der Praxis bisher noch kaum verwendete Grundlage bei der Beurteilung der Gefahr von oberflächennahen Rutschungen durchaus hilfreich sein kann, da sie in einem vorteilhaften Massstab flächenhafte Informationen zum Boden enthält. Dabei stellt sich künftig einerseits die Frage nach erweiterten Auswertungsmöglichkeiten der bestehenden Bodenkarten hinsichtlich der Gefahrenbeurteilung. Andererseits ist zu prüfen, inwiefern bereits bei der Erstellung der Bodenkarten gewisse Aspekte (z. B. die Auswahl spezifischer Parameter oder die Parametergrenzen) bezüglich Rutschungsgefährdung berücksichtigt werden können, die möglicherweise zu einer verbesserten Aussagekraft der Bodenkarten führen.

Prognose flachgründige Rutschungen und Hangmuren

Deterministische Modelle zur Bestimmung der Rutschungsgefährdung verlangen präzise Grundlagen zu den relevanten Eingangsgrössen. Während bezüglich der Topographie die Situation in der Schweiz vielerorts durch die neu zur Verfügung stehenden LiDAR-Daten teilweise entschärft ist (siehe auch Kap. 4.6.2), fehlen für diese Modelle nach wie vor hydrologische und geologische Grundlagen in ausreichender Detailschärfe.

Im Zusammenhang mit Niederschlags-Schwellenwerten für Unwetterwarnungen und der Modellierung von Hangmuren konnten erste Erfahrungen gesammelt werden, welche bei künftigen Ereignissen als Anhaltspunkte dienen. Weitere Arbeiten sind jedoch notwendig. Dazu gehört einerseits das laufende Zusammentragen von entsprechenden Angaben bei künftigen Ereignissen. Andererseits sind Weiterentwicklungen bezüglich der Transit- und Ablagerungsmodelle von Hangmuren notwendig sowie Arbeiten im Zusammenhang mit der Auswertungsmethodik von Niederschlagsganglinien für das Herleiten von Schwellenwerten.

Grenzen der Hangmurenmodellierung, Niederschlagsschwellenwerte

Die Auslösung tiefgründiger Rutschungen ist stärker von der Niederschlagssumme als von der Niederschlagsintensität abhängig. Das hydrogeologische System mit Infiltrationen, Exfiltrationen und variablen Sättigungsverhältnissen ist träge, deshalb folgt die Reaktion, falls überhaupt, später als bei flachgründigen Rutschungen. Basierend auf den Erfahrungen des Unwetters 2005, ist ab Niederschlagssummen von 150 mm pro Ereignis vermehrt mit tiefgründigen Rutschungen zu rechnen. Mittelgrosse Rutschungen könnten sich bei entsprechender Vorsättigung auch ab ca. 100 mm ereignen. In Wechselwirkung mit Fliessgewässern ist zudem die Niederschlagsintensität zu berücksichtigen, da Hanginstabilitäten Feststoffe ins Gerinne liefern und dadurch verheerende Murgänge entstehen können.

Hydrogeologische Randbedingungen

Die Szenarien für tiefgründige Rutschungen sollen im Zusammenhang mit folgenden Schwellenwerten definiert werden: Niederschlagssumme, Niederschlagsintensität (in bedingtem Ausmass), Sättigungsverhältnisse der potenziellen Rutschmasse und hydrogeologische Verhältnisse im Einzugsgebiet. Für die Schwellenwerte und die hydrogeologische Charakterisierung könnten Messungen von lokalen oder regionalen Quellschüttungen verwendet werden. Analog zur Hochwasserstatistik könnten z. B. 10-, 30- oder 100-jährliche Quellschüttungen definiert werden.

Systematische Erfassung mittel- und tiefgründiger Rutschungen

Wie bei den flachgründigen Rutschungen sollen in Zukunft auch bei den mittel- und tiefgründigen Rutschungen detaillierte Analysen zur geologischen und hydrogeologischen Disposition sowie zu den Niederschlags- und Sättigungsverhältnissen systematisch und einheitlich durchgeführt und in einer Datenbank erfasst werden. Erst nach einer grossen Anzahl von Datensätzen können in Zukunft statistisch abgestützte Aussagen über die Disposition und die Prozesse gemacht werden. Das Bundesamt für Umwelt BAFU hat zu diesem Zweck ein Erhebungsformular für mittel- und tiefgründige Rutschungen entworfen (BAFU, 2008).

Literatur:

AGN 2008: Hochwasser 2005: Analyse der Hanginstabilitäten. Projektbericht Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN (unveröffentlicht).

BAFU 2008: Aufnahmeformular tiefgründige Rutschung, *http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren*

BFS GEOSTAT/BUWAL 1990: Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz, zusammengefasst von geo7 aus der geotechnischen Karte der Schweiz, Erfassung auf Arc/Info, (unveröffentlicht)

FAL 1997: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich Reckenholz. FAL Schriftenreihe 24.

FAL/BGS 1992: Klassifikation der Böden der Schweiz. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich Reckenholz / Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, zweite Auflage 2002.

geo7 2008: Unwetter August 2005: Lokale lösungsorientierte Ereignisanalysen, 56 S.

GIS-Fachstelle des Kantons Zug 2008: Bodenkarte des Kantons Zug, *http://www.zugmap.ch* (abgefragt im Mai 2008).

Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C.P. 2007: Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. Meteorology and Athmospheric Physics. Doi: 10.1007/ss00703–007–0262–7.

Kellerhals + Haefeli AG 2005: Ereignisdokumentation der Gemeinde Langnau. Bern.

McArdell B.W., Cesca M., Rickli C. 2008: Runout modeling of hillslope debris flows and small surficial landslides. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-07723.

Raetzo H., Rickli C. 2007: Rutschungen. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 215 S.

Rickenmann D., Laigle D., McArdell B.W., Huebl J. 2006: Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events. Computational Geosciences, Vol. 10(2): p. 241–264, doi: 10.1007/s10596–005–9021–3.

Rickli C., Kamm S., Bucher H. 2008: Flachgründige Rutschungen – Projektbericht im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 (in Vorber).

Rickli C., Zürcher K., Frey W., Lüscher. P 2002: Wirkungen des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. Schweiz. Z. Forstwesen, 153, 11: 437–445.

Scheuner T. 2007: Modellierung von Murgang-ereignissen mit RAMMS und Vergleich durch GIS-basiertes Fliessmodell. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich (GIUZ).

4 > Gerinneprozesse

Aufbauend auf den ersten Teil der Ereignisanalyse werden hier ausgewählte Aspekte zu Gerinneprozessen vertieft betrachtet und analysiert. Weil Geschiebe und Schwemmholz massgeblich zu den Schäden beigetragen haben, werden hier deren Quellen und die auslösenden Prozesse, aufgeteilt nach Wildbach, Gebirgs- und Talflüssen, untersucht.

4.1 Einleitung

Massgebende Prozesse

Durch die aussergewöhnlichen Abflüsse wurden beim Hochwasser vom August 2005 ausserordentliche Feststoff- und Schwemmholzmengen mobilisiert und umgelagert. Die dabei abgelaufenen Prozesse werden getrennt nach Wildbächen, Gebirgs- und Talflüssen betrachtet. Die im Hauptniederschlagsgebiet liegenden Wildbäche reagierten sehr unterschiedlich. In den betroffenen Gebirgsflüssen oberhalb der Alpenrandseen verursachten Erosion, Gerinneverlagerungen und Feststoffumlagerungen – entsprechend der natürlichen Dynamik – teilweise massive morphologische Veränderungen. In den Talflüssen unterhalb der Alpenrandseen dominierten die Seitenerosion sowie das Überschreiten der Abflusskapazität.

Ereignisfrachten und Seitenerosion in Gebirgs- und Talflüssen

Der erste Teilbericht zur Ereignisanalyse enthält eine Übersicht der im August 2005 beobachteten Prozesse. Ziel des zweiten Teils ist eine vertiefte Analyse der mobilisierten und umgelagerten Geschiebe- und Schwemmholzmengen. Für ausgewählte grössere Flusssysteme wird die Geschiebeführung während des Hochwassers 2005 rekonstruiert, in Relation zur mittleren Jahresfracht gesetzt und im Vergleich zu früheren Ereignissen eingeordnet (Kap. 4.2). Die grosse Zahl dokumentierter Seitenerosionen bildet die Basis für eine vertiefte Betrachtung der Ursache und Intensität dieses Prozesses (Kap. 4.3). Ziel dieses Teils der Analyse ist eine Verbesserung der Grundlagen zur Berücksichtigung der Geschiebeführung im Rahmen der Gefahrenbeurteilung.

Schwemmholzbilanzen für ausgewählte Einzugsgebiete

Anhand detaillierter Schwemmholzbilanzen für ausgewählte Einzugsgebiete werden die betreffenden Datengrundlagen erweitert und die im August 2005 angefallenen Schwemmholzmengen im Vergleich zu früheren Ereignissen eingeordnet (Kap. 4.4).

Auswirkungen auf Auengebiete

Im Rahmen der Untersuchung der Auswirkungen des Hochwassers 2005 auf Auensysteme (Kap. 4.5) geht es darum, die beobachteten morphologischen Veränderungen zu beschreiben und die Auswirkungen hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen zu beurteilen. Berücksichtigt werden dabei auch anthropogene Eingriffe in Auengebiete nach dem Hochwasser.

Neue Methoden

Die vertiefte Analyse der Prozesse in Wildbacheinzugsgebieten und Gebirgsflüssen (Kap. 4.6) hat zum Ziel, das Potenzial neuer Methoden zur Ermittlung von Feststoffbilanzen zu untersuchen. Geprüft werden die Möglichkeiten und Grenzen des luftgestützten Laserscanverfahrens, mit dem sich nach Ereignissen rasch und flächendeckend detaillierte Geländemodelle erheben lassen. Eine einfache Berechnungsmethode zur Abschätzung von Geschiebefrachten wird diskutiert und es wird untersucht, in wie fern sich die unterschiedliche Reaktion der Wildbäche im betroffenen Gebiet anhand des Niederschlags und der geotechnischen Eigenschaften erklären lassen.

4.2 Sohlenveränderungen und Geschiebefrachten

Lukas Hunzinger, Sandra Krähenbühl

4.2.1 Einführung

Ziele der Untersuchung

Die grossräumigen Sohlenveränderungen während des Hochwassers in den grösseren Flüssen wurden dokumentiert und die Erosions- und Ablagerungsvolumina quantifiziert. Für ausgewählte Flüsse wurden zudem Ereignisfrachten bestimmt und mit mittleren jährlichen Geschiebefrachten und der Fracht bei früheren grossen Hochwasserereignissen verglichen.

4.2.2 Grundlagen und Methodik

Sohlendifferenzen und kumulierte Volumenänderung der Sohle

Als Grundlage für die Untersuchung dienten die Querprofile aus der Datenbank des BAFU. In jedem Profil wurde der Bereich der beweglichen Sohle definiert und daraus die Sohlenbreite und die Lage der mittleren Sohle ermittelt. Aus dem Vergleich der mittleren Sohlen vor dem Ereignis (Aufnahme zwischen 1999 und 2004) und nach dem Ereignis (Aufnahme 2005 oder 2006) sowie der Distanz zwischen den Profilen wurde die Volumenänderung zwischen jeweils zwei Profilen ermittelt (Abb. 4.1). Diese wurde anschliessend über die Gewässerlänge kumuliert. Aus der so erhaltenen Volumenbilanz für die Sohle lässt sich erkennen, welche Volumen durch Sohlenerosion mobilisiert bzw. im Bereich der Flusssohle abgelagert wurden. Sie vermittelt einen ersten Eindruck über das umgelagerte Feststoffvolumen. Zur Quantifizierung der Geschiebeführung, und somit der Ereignisfracht, müssen zusätzlich die Einträge aus seitlichen Zubringern, die Veränderungen durch seitliche Erosion sowie allfällige weitere Veränderungen zwischen den Vermessungen, welche nicht auf das Ereignis zurück zu führen sind, berücksichtigt werden. Für die Analyse standen knapp 3000 Querprofile zur Verfügung, welche 360 km Gewässer repräsentieren (Abb. 4.2).

Abb. 4.1 > Veränderungen im Querprofil. Beispiel Kleine Emme bei km 6.200.

Die Veränderung im Sohlenbereich wird bei der Ermittlung der Volumenbilanzen für die Sohle berücksichtigt. Bei der Ermittlung der Ereignisfracht sind u. a. auch die Veränderungen im Uferbereich durch Seitenerosion zu berücksichtigen.

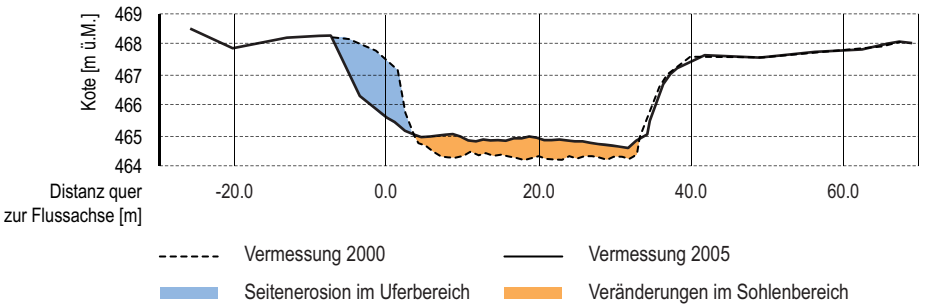
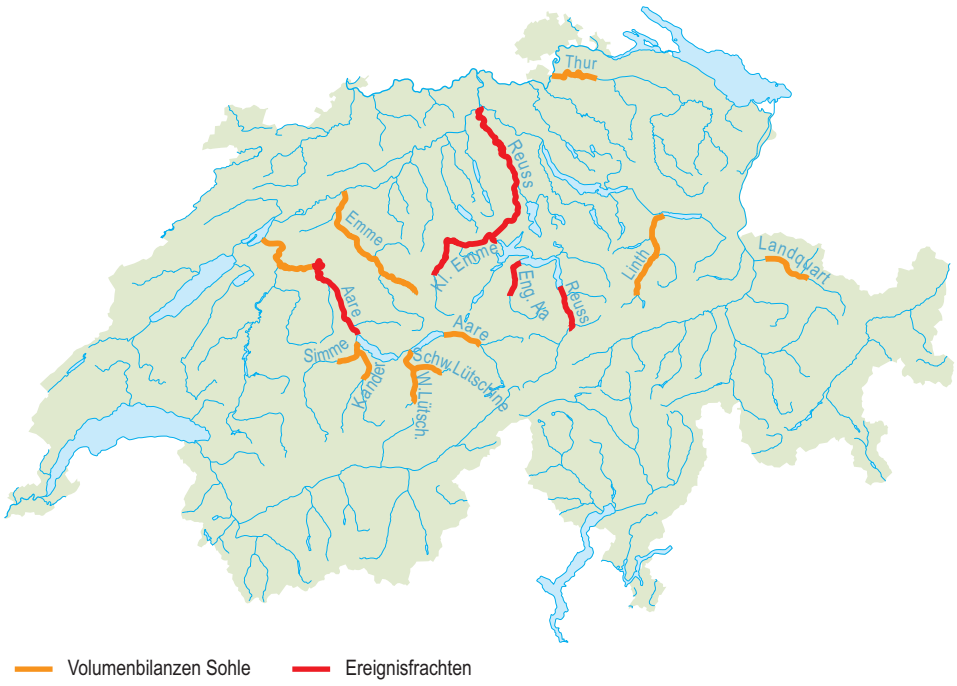


Abb. 4.2 > Übersicht der untersuchten Flussstrecken.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606–01 © 2004 swisstopo)

Ereignisfrachten

Für die Aare zwischen Thun und dem Wohlensee, die Kleine Emme und die Reuss unterhalb Luzern (Talflüsse) sowie für die Reuss zwischen Amsteg und dem Urnersee und der Engelberger Aa (Gebirgsflüsse) wurden die Ergebnisse weiter bearbeitet. Für diese Flüsse lag eine ausreichende Datengrundlage für eine detaillierte Geschiebebilanzierung zur Verfügung. Die Volumenänderungen wurden wo nötig korrigiert (Berücksichtigung von Schwellen und Abstürzen, Planimetrie der Volumenänderung im Querprofil). Auf der Grundlage von mittleren jährlichen Geschiebefrachten (abgeleitet aus bestehenden Untersuchungen zum Geschiebehaushalt der betreffenden Gewässer)

wurde zudem ein Teil der Volumenänderung der Vorperiode (Periode zwischen der letzten Messung und dem Hochwasser) zugeschrieben und von den beobachteten Volumenänderungen subtrahiert. Die Geschiebeeinträge der Seitenzubringer und durch Seitenerosion wurden addiert und allfällige Kiesentnahmen, Kieszugaben oder Ablagerungen neben dem Gerinne sowie der Abrieb entlang der Flussstrecke berücksichtigt. Daraus resultierte eine geschätzte Geschiebefracht entlang des Gewässers während des Hochwasserereignisses 2005. Diese wurde mit Hilfe von Berechnungen der Geschiebetransportkapazität plausibilisiert.

4.2.3 Sohlenveränderungen

Für die Kleine Emme zwischen Doppelschwand und der Einmündung in die Reuss sind das Längenprofil, die Sohlendifferenzen und die kumulierten Volumenänderungen in Abb. 4.3 dargestellt. Für alle übrigen untersuchten Gewässerabschnitte finden sich die entsprechenden Graphiken im Anhang A2 sowie detailliertere Erläuterungen in Flussbau AG SAH (2008). In Tab. 4.1 sind die dazu gehörenden charakteristischen Grössen zusammengefasst.

Sohlenveränderungen in den Gebirgsflüssen

In der Aare oberhalb des Brienzersees, in der Weissen, Schwarzen und der Vereinigten Lütschine, in der Engelberger Aa, in der Urner Reuss, der Linth und der Landquart wurden Veränderungen der mittleren Sohle von einigen Dezimetern bis zu 2 m und mehr beobachtet. Ablagerungen auf der Sohle haben die Erosion von Sohlenmaterial überwogen.

Sohlenveränderungen in den Talflüssen

In den Talflüssen, d. h. in der Kander, der Simme, der Aare unterhalb des Thunersees, der Ilfis, der Emme, der Kleinen Emme, der Reuss und der Thur, waren die Sohlenveränderungen etwas weniger stark ausgeprägt und lagen im Mittel bei wenigen Dezimetern. In Einzelfällen erreichten die maximalen Sohlenveränderungen auch in diesen Flüssen mehr als 2 m, z. B. die Ablagerungen im Geschiebesammler der Emme vor ihrer Einmündung in die Aare.

Auflandungsvolumen übertrafen Erosionsmengen

Viele Flüsse im Alpenraum unterliegen in durchschnittlichen Jahren einer Erosionstendenz, weil die verhältnismässig schmalen Gerinne eine hohe Transportkapazität aufweisen und weil der Geschiebeeintrag aus den Seitenzubringern durch Massnahmen im Einzugsgebiet unterbunden wird. Während des Ereignisses vom August 2005 hingegen wurden in den Einzugsgebieten der Flüsse ausserordentlich grosse Geschiebemengen mobilisiert und in den grossen Vorflutern abgelagert. In fast allen untersuchten Gewässern haben die abgelagerten Volumina die Erosion aus der Sohle um einen Faktor zwei bis zehn übertroffen. Es wurden Ablagerungen von 30’000 m³ bis über 250’000 m³ beobachtet. Die Ausnahme davon bilden die Simme, die Aare zwischen Thun und dem Wohlensee, die Kleine Emme, die Aare zwischen Wohlensee und Bielersee sowie die Thur. In den beiden letztgenannten wurde deutlich mehr Geschiebe aus der Sohle erodiert als abgelagert, in den übrigen differierten Ablagerungs- und Erosionsvolumina um weniger als 40 %.

Tab. 4.1 > Sohlenveränderungen, kumulierte Erosions- und Ablagerungsvolumina sowie maximale kumulierte Volumenänderung in grösseren Flüssen.

In den Spalten «Sohlendifferenzen» sind jeweils Mittelwerte und Maxima (in Klammern) angegeben.
Für die hervorgehobenen Flüsse wurden Geschiebefrachten für das Hochwasser vom August 2005 ermittelt (siehe Tab. 4.2).

Fluss	Abschnitt	Periode	Erosion		Ablagerung	
			Sohlendifferenzen [m]	Volumina [m³]	Sohlendifferenzen [m]	Volumina [m³]
Aare	Innertkirchen – Brienzersee km 38.5–55.5	02/03–05	-0.08 (-0.35)	7'800	+0.14 (+0.84)	31'000
Weisse Lütschine	Stechelberg – Zweilütschinen km 11.1–0.01	03–05	-0.15 (-0.69)	9'200	+0.29 (+1.21)	31'000
Schwarze Lütschine	Lütschental – Zweilütschinen km 4.8–0.0	03–05	-0.03 (-0.09)	200	+0.69 (+1.85)	46'000
Lütschine	Zweilütschinen – Brienzersee km 4.8–0.0	03–05	-0.16 (-0.68)	5'100	+0.30 (+0.91)	50'000
Kander	Frutigen – Thunersee km 17.0–0.3	99–06	-0.27 (-1.82)	28'000	+0.47 (+2.74)	205'000
Simme	Erlenbach – Kander km 9.6–0.0	99–05	-0.90 (-2.12)	48'000	+0.45 (+2.19)	31'000
Aare	Thun – Wohlensee km 1.2–46.4	99/00–05/06	-0.16 (-2.33)	161'000	+0.14 (+0.77)	150'000
Aare	Wohlensee – Bielersee km 156.9–136.6	04–06	-0.20 (-1.59)	105'000	+0.08 (+0.69)	30'000
Ilfis	Marbach – Emme km 17.2–0.0	01–05	-0.06 (-0.15)	3'800	+0.20 (+0.89)	45'000
Emme	Emmenmatt – Aare km 34.2–0.0 (BE) km 6.3–0.1 (SO)	04–06	-0.16 (-0.96)	69'000	+0.17 (+2.45)	123'000
Reuss	Amsteg – Urnersee km 16.4–0.4	01–06	-0.11 (-0.36)	8'600	+0.32 (+2.49)	181'000
Engelberger Aa	Wolfenschiessen – Buochs km 18.4–0.0	02–05	-0.36 (-1.07)	37'000	+0.55 (+2.32)	150'000
Kleine Emme	Doppleschwand – Reuss km 25.0–0.0	00–05	-0.23 (-0.69)	71'000	+0.24 (+0.92)	106'000
Reuss	Luzern – Aare km 15.0–0.0 (LU) km 1.0–56.9 (AG)	01/03–06	-0.10 (-1.20)	177'000	+0.12 (+0.78)	265'000
Linth	Linthschlucht – Walensee km 35.7–0.1	00/04–05	-0.25 (-0.93)	47'000	+0.25 (+1.67)	139'000
Landquart	Küblis – Klus km 22.16–6.3	93/94/95/96–06	-0.31 (-1.75)	32'000	+0.52 (+1.63)	144'000
Thur	Uesslingen – Rhein km 21.1–0.0 (ZH)	90/00/02/04–05	-0.16 (-1.16)	106'000	+0.12 (+0.65)	55'000

Bauliche Veränderungen und Geschiebebewirtschaftung

Die beschriebenen Veränderungen umfassen die gesamte Periode zwischen der letzten Messung vor und der ersten Messung nach dem Ereignis. Darin enthalten sind also auch Sohlenveränderungen aus Hochwasserereignissen vor dem 22. August 2005, aus Wasserbauprojekten (z. B. Kander Augand) oder aus Kiesentnahme vor dem Ereignis (z. B. Aare bei Bern) oder nach dem Ereignis (z. B. Reuss bei Amsteg). Bei der Ilfis, der Emme und der Kleinen Emme muss im Weiteren beachtet werden, dass zahlreiche Schwellen die Sohlenveränderungen unterbinden. Diese Fixpunkte wurden in der Volumenbilanz nicht berücksichtigt.

4.2.4 Geschiebebilanzen für ausgewählte Flüsse

Eine Übersicht der Geschiebebilanzen und Ereignisfrachten für die detaillierter untersuchten Flüsse wird in Tab. 4.2 aufgezeigt. Exemplarisch wird in der Abb. 4.3 das Transportdiagramm für die Kleine Emme zwischen Doppleschwand und der Einmündung in die Reuss gezeigt. Die Transportdiagramme für die übrigen Flüsse sind im Anhang A2 zusammengestellt.

Aare
Thunersee–Wohlensee

In der Aare zwischen dem Thuner- und dem Wohlensee wurden maximal 45'000 m³ Geschiebe transportiert. Es stammt zu einem überwiegenden Teil aus Seitenzubringern Zulg und Rotache und nur zu einem kleineren Teil aus der Sohle des Abschnitts zwischen der Einmündung der Rotache und Münsingen. Die Fracht von 45'000 m³ bei Rubigen entspricht ungefähr der sechsfachen mittleren Jahresfracht. Das mobilisierte Geschiebe hat sich zwischen Rubigen und der Gürbemündung, im Schwellenmätteli in Bern sowie auf dem Abschnitt zwischen dem Wehr Engehalde in Bern und dem Wohlensee abgelagert. Der Geschiebedurchgang von rund 25'000 m³ beim Schwellenmätteli beträgt das Zweieinhalbfache der mittleren jährlichen Geschiebefracht und entspricht etwa einem Drittel der zwischen 2000 und 2005 aus der Aare maschinell entnommenen Geschiebemenge.

Reuss
Amsteg–Urnersee

Die Geschiebebilanz der Reuss wird durch die hohen Geschiebeeinträge aus dem Chärstelenbach (120'000 m³) und dem Schächen (25'000–40'000 m³) geprägt. Die seitlichen Einträge wurden unterhalb der Zuflüsse abgelagert und nach dem Ereignis maschinell entfernt. Oberhalb der Schächenmündung wurden ebenfalls grosse Ablagerungen beobachtet. Im Reusskanal sind rund 30'000 m³ Geschiebe bis zum Urnersee transportiert worden. Aus der Bilanzierung resultiert ein Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf der Reuss zwischen 85'000 m³ und 100'000 m³. Das ist mehr als in der Analyse zum Hochwasser 1987 ermittelt wurde und als man aufgrund des visuellen Eindrucks der Reuss oberhalb von Amsteg erwarten würde. Der hohe Eintrag könnte sich allenfalls dadurch erklären lassen, dass sich in der relativ ereignisarmen Zeit seit 1987 im Intschitobel sehr viel Material akkumuliert hat, welches während des Hochwassers 2005 mobilisiert werden konnte.

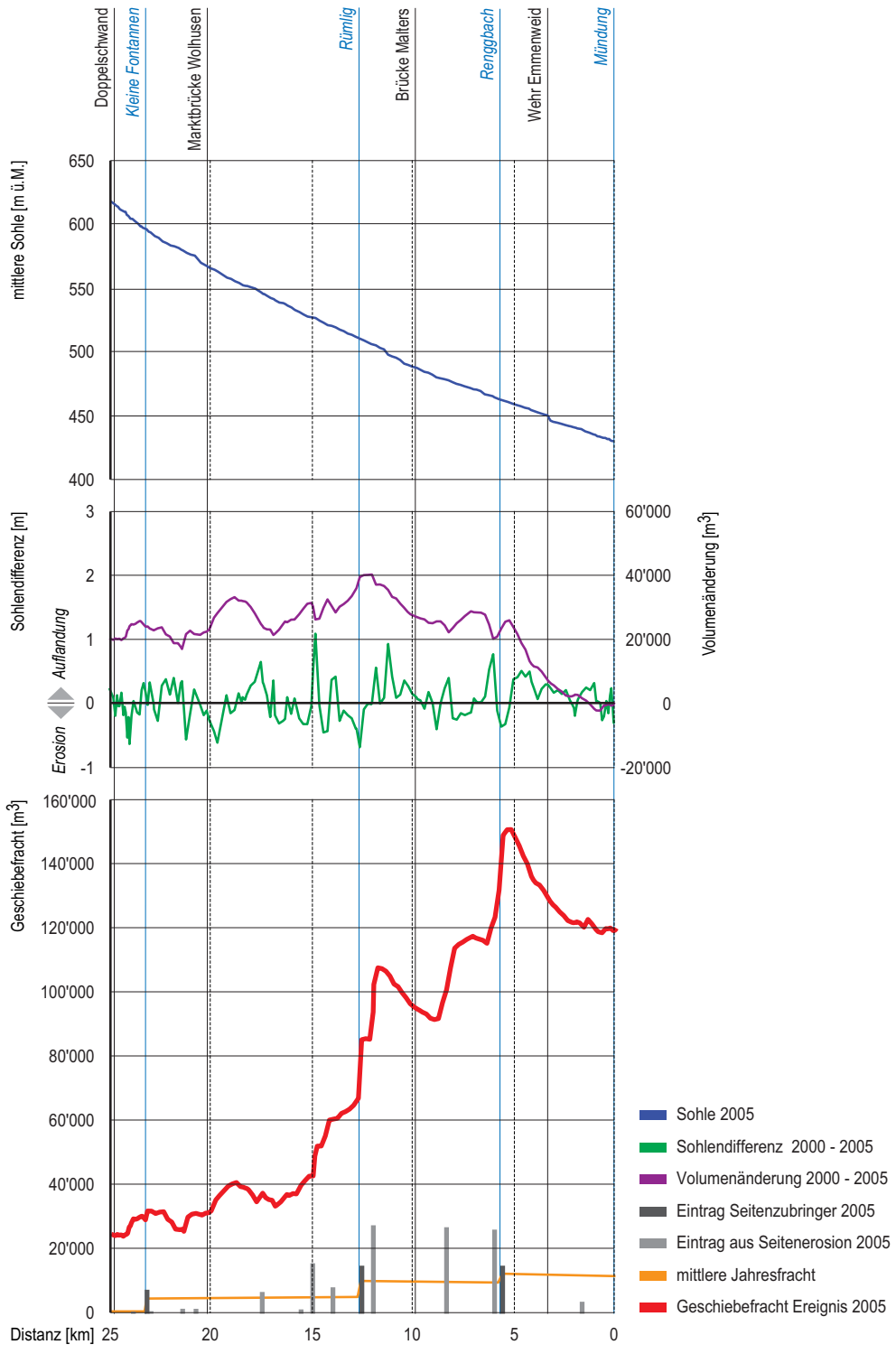
Engelberger Aa
Wolfenschiessen–Buochs

Die Engelberger Aa trug rund 170'000 m³ Geschiebe aus dem oberen Einzugsgebiet in die Ebene von Grafenort ein, wo der grösste Teil des Materiales abgelagert wurde. Ein erheblicher Teil davon wurde neben dem Gerinne abgelagert. An einigen Stellen hat sich der gesamte Fliessquerschnitt der Engelberger Aa verfüllt und der Abfluss ist aus dem Gerinne ausgebrochen und hat das Umland übersart. Unterhalb Wolfenschiessen betrug die Ereignisfracht noch maximal 50'000 m³ (in Dallenwil) und nahm bis zur Einmündung in den Vierwaldstättersee kontinuierlich auf 6000 m³ ab.

Kleine Emme
Doppleschwand–Reuss

Bei der Kleinen Emme stammte fast die Hälfte des mobilisierten Geschiebes (gesamthaft 239'000 m³) aus Seitenerosion. Der Rest kann etwa zu gleichen Teilen dem Eintrag aus dem oberen Einzugsgebiet inklusive der Seitenzubringer und der Sohlenerosion zugeschrieben werden. Rund die Hälfte des Materials wurde auf der Sohle der Kleinen Emme wieder abgelagert, die andere Hälfte in die Reuss ausgetragen (Abb. 4.3).

Abb. 4.3 > Längenprofil, Sohlendifferenzen, kumulierte Volumendifferenz und Geschiebefracht in der Kleinen Emme.



Reuss
Luzern – Aare

Die Kleine Emme hat damit zur Hälfte zum Geschiebe beigetragen, welches in der Reuss zwischen Luzern und der Stauhaltung Bremgarten-Zufikon abgelagert wurde. Die andere Häfte wurde aus der Sohle der Reuss erodiert und – zu einem geringeren Anteil – aus Zuflüssen eingetragen. Unterhalb der Stauhaltung Bremgarten-Zufikon wurde die Sohle während des Hochwassers erodiert und es wurden 25'000 m³ Geschiebe in die Aare ausgetragen.

In allen untersuchten Flüssen betrug die Ereignisfracht ein Mehrfaches der mittleren jährlichen Geschiebefracht.

Tab. 4.2 > Geschiebebilanzen Hochwasser 2005 für ausgewählte Flüsse.

Die Tabelle enthält die aus Querprofilaufnahmen, Kiesentnahmen und mittleren jährlichen Geschiebefrachten rekonstruierte Geschiebebilanz ausgewählter Flüsse sowie die während des Ereignisses transportierte Geschiebefracht an den bezeichneten Standorten.

Gewässer	Aare		Reuss		Engelberger Aa		Kleine Emme		Reuss	
Abschnitt	Thun-Wohlensee km 1.2–46.4		Amsteg-Urnersee km 16.4–0.4		Wolfenschiessen-Buochs km 18.4–0.0		Doppleschwand-Reuss km 25.0–0.0		Luzern-Aare km 15.0–0.0 (LU) km 1.0–56.9 (AG)	
Total Mobilisierung	140'000	100 %	285'000		338'000		239'000	100 %	300'000	100 %
Eintrag oberes EZG	0		150'000	53 %	165'000	49 %	25'000	10 %	0	0 %
Seitenzubringer	35'000	17 %	120'000	42 %	31'000	9 %	37'000	16 %	120'000	40 %
Seitenerosion	~0		~0		[1]		113'000	47 %	5'000	2 %
Sohlenerosion	105'000	83 %	15'000	5 %	142'000	42 %	64'000	27 %	175'000	58 %
Total Deposition	140'000	100 %	285'000		338'000		239'000	100 %	300'000	100 %
Ablagerung Sohle	122'000	87 %	277'000	97 %	332'000[2]	98 %	100'000	42 %	237'000	79 %
Abrieb	18'000	13 %	7'000	2.5 %	k. A.		19'000	8 %	38'000	13 %
Austrag in Vorfluter	~0		1'000	0.5 %	6'000	2 %	120'000	50 %	25'000	8 %
Ereignisfracht	45'000	6 x	205'000–220'000	15 x	165'000		120'000	10 x	130'000	14 x
Standort	Rubigen		Amsteg		Grafenort		Mündung Renggbach		Chamau	
Ereignisfracht frühere Ereignisse	18'000 (1999)		50'000 (1987)		k. A.		140'000 (1999)[3]		130'000 (1999)[4]	
mittl. Jahresfracht	75'000	1 x	15'000	1 x	10'000[5].		12'000	1 x	9'000	1 x

[1] Seitenerosion in Sohlenerosion enthalten
[2] Sohle: Sohle: 264'000 m³, Übersarung: 68'000 m³
[3] geschätzter Austrag in die Reuss für das ganze Jahr 1999
[4] Transport für das ganze Jahr 1999
[5] Abschätzung auf Grund der Baggerungen im Mündungsbereich

4.2.5 Folgerungen

Volumenbilanzen geben ersten Eindruck – Erarbeitung von Geschiebebilanzen ist aufwändig

Der Vergleich von Sohlendifferenzen ermöglicht es, ein erstes grobes Bild über den Geschiebetransport während des Ereignisses zu zeichnen. Für ein vollständiges Bild und eine zuverlässige Bilanz der Geschiebefrachten ist der Einbezug von detaillierten Informationen über Geschiebeentnahmen, den Eintrag von Seitenzubringern oder über Seitenerosionen unerlässlich.

Ereignisfrachten 2005: 6–15 mal grösser als Jahresfrachten

Beim Hochwasser 2005 haben die Aare zwischen Thun und dem Wohlensse, die Reuss zwischen Amsteg und dem Urnersee, die Engelberger Aa zwischen Wolfenschiessen und Buochs, die Kleine Emme zwischen Doppleschwand und der Mündung in die Reuss sowie die Reuss zwischen Luzern und der Einmündung in die Aare das 6- bis 15-fache ihrer mittleren jährlichen Geschiebefracht transportiert.

Ablagerungstendenz während Hochwasser vorherrschend

Mit wenigen Ausnahmen herrschte in den Gewässern über weite Strecken eine Ablagerungstendenz vor, wobei die Ablagerungen die Mobilisierung von Geschiebe aus der Sohle um das 2- bis 10-fache überwogen haben. Die Ablagerungen während des Ereignisses stehen im Kontrast zu Erosionstendenzen, welchen manche Flüsse in Normaljahren ohne grössere Hochwasserereignisse unterliegen. Die Sohlendifferenzen während des Hochwassers 2005 haben im Mittel einige Dezimeter betragen.

4.3 Seitenerosion

Lukas Hunzinger, Sylvia Durrer

4.3.1 Einführung

Seitenerosion als massgeblicher Prozess

Im 1. Teil der Ereignisanalyse wurden die beim Hochwasser 2005 aufgetretenen Gerinneprozesse in Wildbächen, Gebirgsflüssen und Talflüssen dokumentiert (Rickenmann et al., 2007). Dabei wurde die Seitenerosion als ein bedeutender Prozess in den Gebirgs- und Talflüssen identifiziert, der in einem Ausmass und einer Häufigkeit aufgetreten ist, wie sie in der Schweiz bisher noch nicht beobachtet worden waren. Die Seitenerosion trat entweder in Kombination mit intensivem Geschiebetransport auf (in Gebirgsflüssen) oder als Einzelprozess bzw. in Kombination mit dem Überschreiten der Abflusskapazität der Gerinne (in Talflüssen).

4.3.2 Ziele der Untersuchung

Faktoren der Seitenerosion identifizieren

Über Ursachen und auslösende Momente der Seitenerosion ist noch verhältnismässig wenig bekannt. Die Untersuchung soll deshalb neue Erkenntnisse darüber liefern. Dazu soll eine Übersicht über die aufgetretenen Seitenerosionen gewonnen werden, sollen einzelne Erosionsstellen dokumentiert und die Faktoren, welche zur Erosion geführt haben, identifiziert und nach Möglichkeit quantifiziert werden.

4.3.3 Vorgehen

Datenbank Seitenerosion

Für die Analyse der Seitenerosion wurde eine Datenbank mit 119 einzelnen Erosionsstellen in folgenden Gerinnen erstellt: Schwarze, Weisse und Vereinigte Lütschine, Kander, Chirel, Simme, Trueb, Ilfis, Emme, Kleine Emme, Grosse Melchaa, Engelberger Aa, Isitalerbach, Chärstelenbach, Urner Reuss, Muota und Landquart (Abb. 4.4). Für jede Erosionsstelle wurden qualitative und quantitative Parameter erhoben, welche die Grunddisposition des Gewässers, die Belastung auf das Ufer, dessen Widerstand und schliesslich das Ausmass der Seitenerosion beschreiben. Die einzelnen Erosionsstellen und die erhobenen Parameter sind in Flussbau AG SAH (2008) aufgeführt.

Abb. 4.4 > Übersicht über die erfassten Erosionsstellen.

Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606–01 © 2004 swisstopo)

Datenquellen

Die Angaben zu den einzelnen Erosionsstellen stammen aus Ereignisdokumentationen und –analysen der Kantone (StorMe-Formulare und zusammenfassende Analysen) und aus technischen Berichten zu Instandstellungsprojekten oder wurden durch Befragung von Gebietskennern sowie durch eigene Erhebungen erstellt.

Eingangskriterien

Damit eine Erosionsstelle in die Datenbank aufgenommen wurde, musste einerseits die Erosion bekannt sein, so dass sie überhaupt in einer Ereignisdokumentation aufgeführt ist. Andererseits musste die Erosionsstelle eine gewisse Relevanz bzw. ein minimales Ausmass aufweisen. So wurden z. B. von über 100 dokumentierten Erosionsstellen an der Emme diejenigen 27 aufgenommen, deren Anrisslänge mindestens 50 m betrug. Es liegt in der Natur der Methode, dass die Datenbank eine endliche Anzahl Einträge umfasst und dass insbesondere viele kleine Erosionsstellen unberücksichtigt bleiben.

4.3.4 Erfasste Parameter

Sämtliche elf erhobenen Parameter und die verwendeten Parameterklassen sind in Tab. 4.3 aufgelistet.

Parameter der Grunddisposition

Zur Grunddisposition werden Parameter gezählt, welche die Morphologie des Gewässers im Zustand vor dem Ereignis beschreiben. Das sind die Verbauungsgeschichte und die Gerinneform (gestreckt, verzweigt oder mäandrierend) sowie die Gerinnebreite und das Längengefälle. Zur Grunddisposition wird auch die im ersten Teil der Ereignisanalyse definierte Zuordnung zu Gebirgs- oder Talflüssen gezählt. Kriterien für diese Unterscheidung sind in erster Linie die Grösse des Einzugsgebietes und das Längengefälle. Zu den Talflüssen gehören die Flüsse im Napfgebiet sowie die grossen Vorfluter in den Alpentälern (Kander und Simme). In diesen Flüssen sind 48 Erosionsstellen dokumentiert. Die übrigen oben genannten Gewässer werden den Gebirgsflüssen zugerechnet und die Stichprobe der Erosionsstellen in diesen Gewässern umfasst 71 Seitenerosionen.

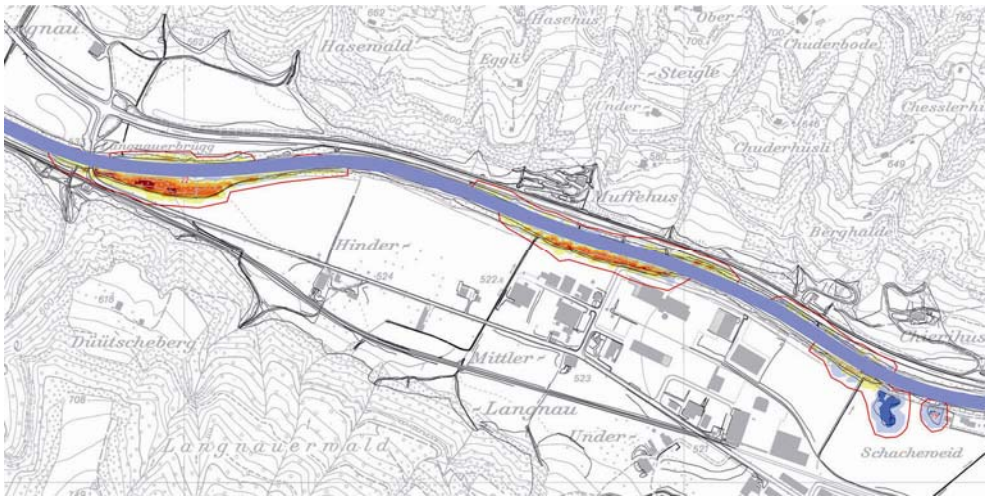
Parameter der Belastung

Die Belastung während des Hochwassers wird mit dem Abfluss Q und der daraus abgeleiteten Strömungsleistung $S = \rho_W \cdot g \cdot Q \cdot J$ quantifiziert. Darin bezeichnen ρ_W die Dichte des Wassers, g die Erdbeschleunigung und J das Längengefälle. Im Sinne einer Vereinfachung wird die Belastung auch mit der Ereignisgrösse beschrieben. Die Ereignisse werden in drei Klassen mit einer Wiederkehrdauer der Abflussspitze < 30 Jahre, 30 bis 100 Jahre und > 100 Jahre, unterteilt. Als wesentliche qualitative Faktoren für die Belastung werden die übergeordneten Gerinneprozesse während des Ereignisses betrachtet, also Gerinneverzweigung (Abb. 4.5), Mäanderbildung (Abb. 4.6) oder Ablagerungen, sowie die daraus resultierende lokale Strömungssituation wie Querströmungen bei einer Verzweigung, die Strömung an einem Prallhang (Abb. 4.7) oder Ausuferungen.

Abb. 4.5 > Seitenerosion an der Grossen Melchaa: Gerinneprozess Verzweigung.

Foto: Kantonspolizei Obwalden

Abb. 4.6 > Seitenerosion an der Kleinen Emme: Gerinneprozess Mäanderbildung



Quelle: Ingenieure Bart AG.

Abb. 4.7 > Seitenerosion an der Kleinen Emme: Strömung an einem Prallhang ohne Ausuferung, Ufer mit Ufermauer verbaut.

Foto: Schweizer Luftwaffe.

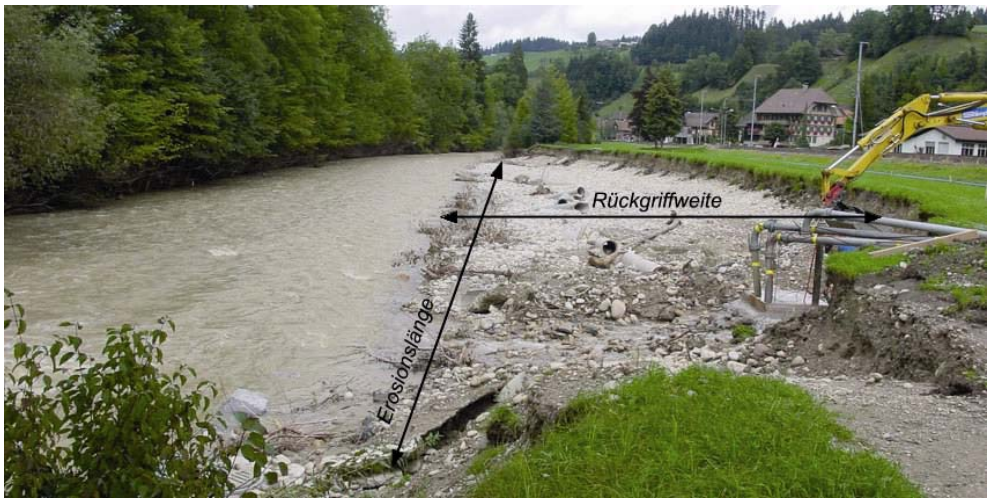
Parameter des Widerstandes

Der Widerstand des Ufers wird qualitativ erfasst. Es wird lediglich unterschieden, ob und wie ein Ufer verbaut (mit Blöcken, mit einer Ufermauer, mit Buhnen usw.) oder ob es unverbaut war.

Ausmass der Erosion

Mit der Länge der Erosionsstelle und der Rückgriffweite der Seitenerosion wird das Ausmass der Erosion beschrieben (Abb. 4.8).

Abb. 4.8 > Seitenerosion an der Ilfis: Definition von Erosionslänge und Rückgriffweite.



Datenqualität

Einzelne Faktoren sind mit Unsicherheiten behaftet, weil die entsprechenden Parameter in Ereignisdokumentationen entweder rudimentär erhoben wurden (z. B. die Abmessungen von Erosionsstellen), nicht bekannt sind (z. B. die Uferbeschaffenheit oder die Verbauungsgeschichte) oder weil bei sich überlagernden Prozessen eine Zuordnung zu einem massgeblichen Prozess schwierig ist. Für 74 der insgesamt 119 dokumentierten Erosionsstellen konnten mindestens neun der elf Eingangsgrössen mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden.

Tab. 4.3 > Parameter, welche die Erosionsstelle beschreiben.

Parameter	Parameterklassen, Einheiten
Morphologie und Verbauungsgeschichte	korrigiert, früher mäandrierend; unverbaut mäandrierend; korrigiert, früher verzweigt; unverbaut verzweigt; Steilstrecke, verbaut; Steilstrecke, unverbaut.
Flusstyp	Gebirgsfluss; Talfluss.
Gerinnebreite	Werte in [m]
Längengefälle	Werte in [–]
Gerinneprozess während des Ereignisses	Verzweigung; Mäanderbildung ohne Ausuferung; Mäanderbildung mit Ausuferung; Verlagerung in Flusskrümmung ohne Ausuferung; Verlagerung in Flusskrümmung mit Ausuferung; stabile Sohle; Tiefenerosion; Sohlenauflandung; Ausuferung; lokaler Kolk.
Strömungssituation	Querströmung bei Verzweigung; Prallhang ohne Ausuferung; Prallhang mit Ausuferung; Sekundärströmung bei Sohlensicherung; Unterspülung; Überströmen Ufersicherung; Umströmen Bauwerk.
Ereignisgrösse	Wiederkehrdauer der Abflussspitze < 30 Jahre; Wiederkehrdauer der Abflussspitze 30–100 Jahre; Wiederkehrdauer der Abflussspitze > 100 Jahre.
Strömungsleistung	Werte in [kN/s]
Uferbeschaffenheit	unverbaut; Blöcke; Mauer; Buhnen; Schienen.
Rückgriffweite	Werte in [m]
Erosionslänge	Werte in [m]

Auswertung

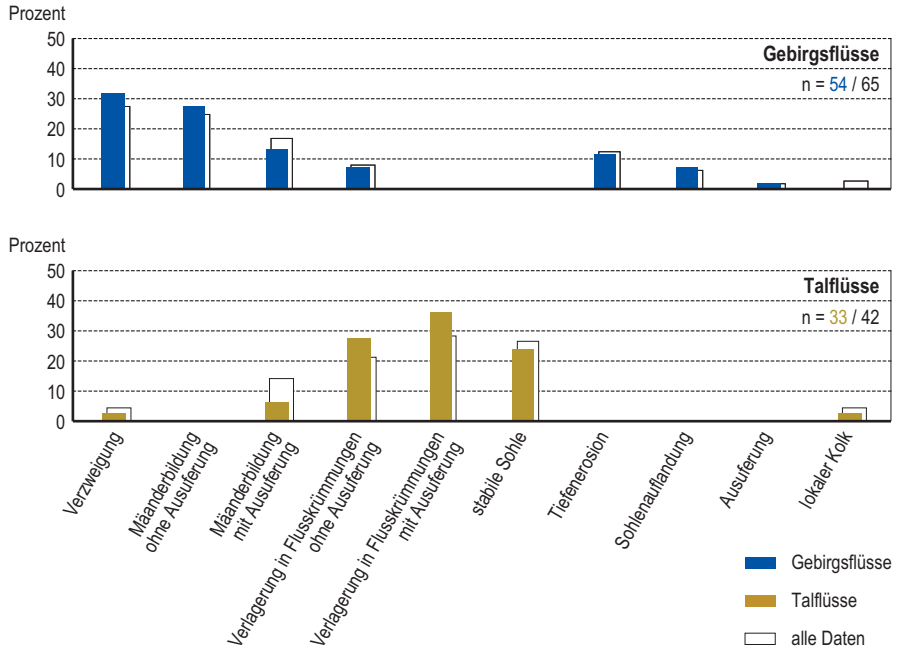
Zur Auswertung wurden die relativen Häufigkeiten des Auftretens eines Faktors bestimmt und in Histogrammen dargestellt, oder es wurden quantitative Grössen gegeneinander aufgetragen. Die Daten wurden für Gebirgs- und Talflüsse getrennt ausgewertet und zwar jeweils für die gesamte Stichprobe und für die Teilmenge derjenigen Datensätze, bei welchen die entsprechenden Parameter zuverlässig bestimmt werden konnten. In den folgenden Ausführungen beziehen sich quantitative Angaben auf die Teilmenge der zuverlässigen Daten. Die vollständigen Auswertungen sind in Flussbau AG SAH (2008) dargestellt.

4.3.5 Beschreibende Auswertung

Morphologie und Verbauungsgeschichte

Seitenerosion ist in Flüssen aller Gerinneformen und Verbauungsgeschichten aufgetreten. In Gebirgsflüssen dominierten die Seitenerosionen in verzweigten Flüssen oder in solchen, die vor einer Korrektion verzweigt waren, sowie in Steilstrecken. In Talflüssen dominierten Erosionen in korrigierten, ehemals mäandrierenden oder verzweigten Flussabschnitten, traten aber auch in unkorrigierten Gewässern auf.

Abb. 4.9 > Relative Häufigkeit des Auftretens von Seitenerosionen bei verschiedenen Gerinneprozessen während des Ereignisses.



Lokale Gerinneprozesse

Die Seitenerosion ist in Gebirgs- und Talflüssen an unterschiedliche Gerinneprozesse geknüpft (Abb. 4.9). In Gebirgsflüssen sind Seitenerosionen hauptsächlich dort aufgetreten, wo übergeordnete Prozesse wie Gerinneverzweigung und Mäanderbildung vorherrschten (zusammen 72 % der Erosionsstellen) oder die Sohle einer Veränderung (Auflandung oder Erosion) unterworfen war (zusammen 19 %). In Talflüssen wurde

das Ufer v. a. bei Verlagerungen in einzelnen Flusskrümmungen (54 %) sowie – in vermindertem Ausmass – in Gerinnen mit stabiler Sohle (24 %) erodiert. Stabile Sohle heisst in diesem Fall, dass die Sohlenlage vor und nach dem Hochwasser ungefähr gleich war. Schwankungen während des Ereignisses sind nicht erfasst.

Lokale Strömungssituation

Die lokale Strömungssituation widerspiegelt die übergeordneten Gerinneprozesse. Die Querströmung bei Verzweigungen und die Strömung entlang eines Prallhanges mit oder ohne Ausuferung waren denn auch die dominierenden Strömungssituationen in Gebirgsflüssen. In den Talflüssen waren es Prallhangsituationen. In den Talflüssen sind aber auch fast 40 % der Seitenerosionen in Situationen aufgetreten, bei denen die Strömung durch Sohlensicherungen oder andere Bauwerke beeinflusst war (Abb. 4.10).

Ausuferung

In Talflüssen war das Überschreiten der Abflusskapazität ein häufiger Gerinneprozess. Es lässt sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit von Erosionen mit oder ohne Ausuferung feststellen.

Ereignisgrösse

In den betrachteten Gebirgsflüssen wurden 90 % der Erosionsstellen in Flüssen mit den grössten Ereignissen beobachtet (Wiederkehrdauer der Abflussspitze >100 Jahre) während in den Talflüssen die meisten Erosionsstellen an Flüssen mit mittlerer Ereignisgrösse anzutreffen sind. Diese Beobachtung widerspiegelt die Tatsache, dass das Ereignis 2005 hauptsächlich die Gebirgsregionen stark betroffen hat und den Abflüssen in den Gebirgsflüssen eine hohe Jährlichkeit zugeordnet wird.

Abb. 4.10 > Seitenerosion an der Trueb, durch Bauwerke beeinflusst.

Das Umströmen einer Sperre (oberstrom des abgebildeten Abschnittes, nicht im Bild) hat eine Ufererosion und eine anschliessende Mäanderbildung ausgelöst. Die Pendelbewegung ist durch das Brückenwiderlager in der rechten Bildhälfte in der Wellenlänge reduziert und in der Amplitude erhöht worden. Fliessrichtung von links nach rechts.

Uferbeschaffenheit

In den Gebirgsflüssen sind knapp 60 % der Erosionsstellen an verbauten Ufern aufgetreten. Die Verteilung auf die verschiedenen Verbauungstypen (Blöcke, Mauer, Buhnen) dürfte in etwa der Verteilung dieser Verbauungstypen entsprechen. In den Talflüssen zeigt sich ein ähnliches Bild, wenn alle Ereignisse zusammen betrachtet werden. Schlüsselt man die Daten nach der Ereignisgrösse auf, zeigt sich, dass der Anteil der verbauten erodierten Ufer bei den Ereignissen mit einer Wiederkehrdauer von 100–300 Jahren grösser war (67 %) als bei den Ereignissen mit einer Wiederkehrdauer von 30–100 Jahren (53 %).

4.3.6 Quantitative Auswertung

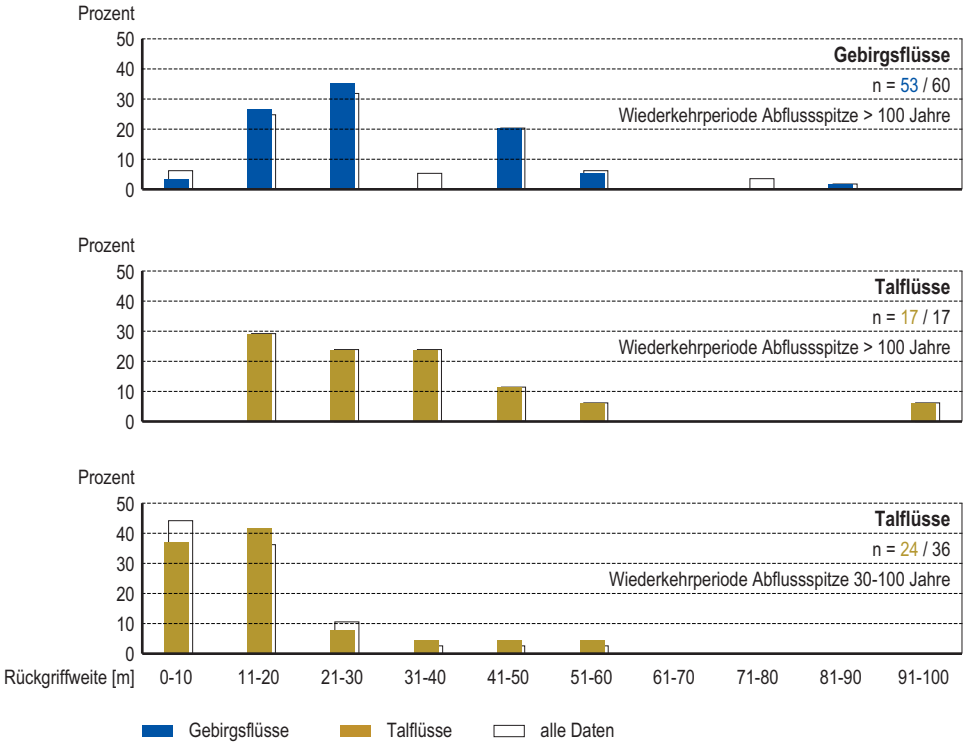
Rückgriffweite und Länge der Erosionsstelle

Die grösste beobachtete Rückgriffweite betrug 90 m (Kleine Emme in Malters), die längste Erosionsstelle misst 630 m (Kleine Emme in Emmenbrücke). Diese zwei Extreme sind allerdings die Ausnahme. Statistische Grössen, welche das Ausmass der Seitenerosion beschreiben, sind in Tab. 4.4 aufgeführt. Sie sind für zwei Klassen von Ereignisgrössen getrennt aufgeführt. Die grössten Rückgriffweiten und Erosionslängen sind in den Talflüssen bei seltenen Ereignissen (Wiederkehrdauer der Abflussspitze > 100 Jahre) aufgetreten. In den Gebirgsflüssen waren die Rückgriffweiten annähernd so gross, in den Talflüssen mit mittleren Ereignissen (Wiederkehrdauer der Abflussspitze 30–100 Jahre) ungefähr halb so gross (Abb. 4.11). Das Verhältnis von Erosionslänge zu Rückgriffweite war bei seltenen Ereignissen meist kleiner als 10. Bei mittleren Ereignissen (in Talflüssen) wurden auch wesentlich grössere Verhältnisse beobachtet mit einem maximalen Verhältnis von 29. Die Erosionen mit einem grossen Verhältnis Länge zu Rückgriffweite waren meistens Erosionen entlang eines Prallhanges mit verhältnismässig geringer Rückgriffweite.

Tab. 4.4 > Statistische Kenngrössen einzelner Parameter der Seitenerosion.

	Wiederkehrperiode Abflussspitze 30–100 Jahre					Wiederkehrperiode Abflussspitze > 100 Jahre				
	Anz.	Max.	p 90 %	p 67 %	p 50 %	Anz.	Max.	p 90 %	p 67 %	p 50 %
Gebirgsflüsse										
Erosionslänge [m]	Nicht analysiert					58	430	250	150	118
Rückgriffweite [m]						53	82	45	32	20
Erosionslänge/Rückgriffweite [-]						51	16	8.6	6.4	5.0
Rückgriffweite/Gerinnebreite [-]						37	4.6	4.1	2.2	1.5
Talflüsse										
Erosionslänge [m]	30	322	208	127	97	17	630	360	172	125
Rückgriffweite [m]	24	50	35	15	12	17	90	49	35	25
Erosionslänge/Rückgriffweite [-]	18	29	26	19	13	17	14	10	5.7	4.4
Rückgriffweite/Gerinnebreite [-]	17	1.8	0.7	0.5	0.4	17	3.2	1.9	1.2	1.0

Abb. 4.11 > Verteilung der Rückgriffweiten der Seitenerosion in Abhängigkeit des Gerinneprozesses.

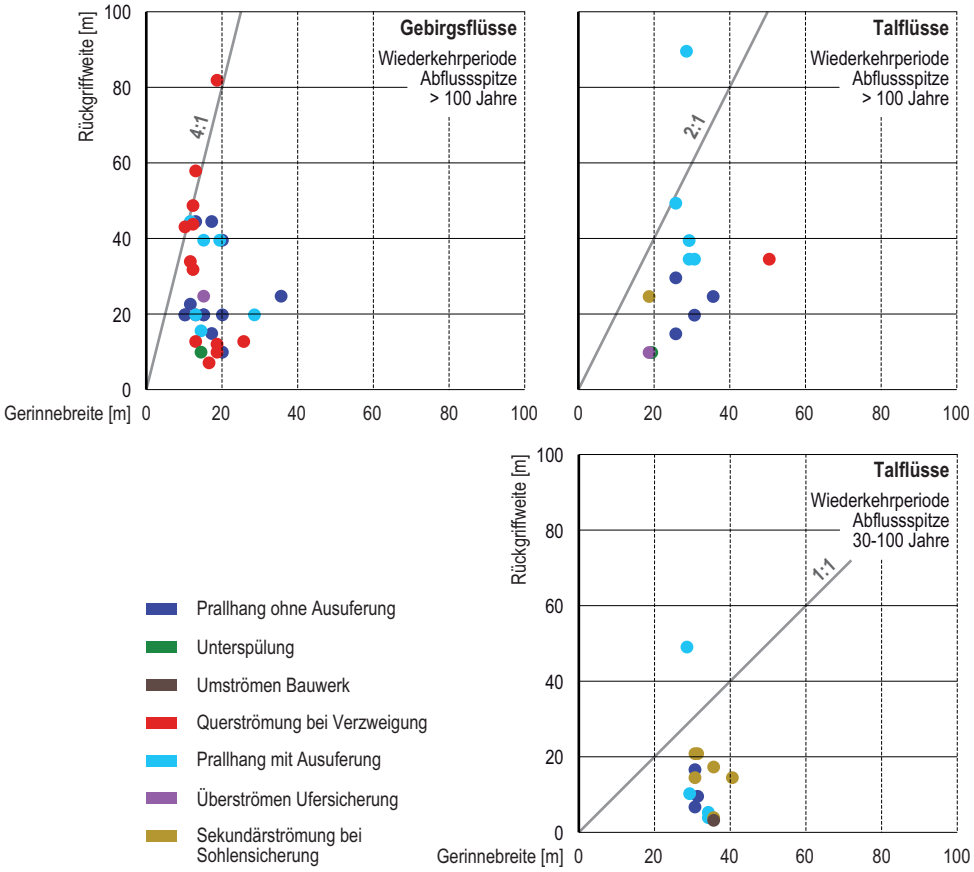


Rückgriffweite im Verhältnis zur Gerinnebreite

Bei den seltenen Ereignissen mit einer Wiederkehrdauer der Abflussspitze über 100 Jahre war die Rückgriffweite in 90 % der Fälle kleiner als viermal die Gerinnebreite (in Gebirgsflüssen) bzw. kleiner als zweimal die Gerinnebreite (in Talflüssen). Bei den mittleren Ereignissen in den Talflüssen war das entsprechende Verhältnis 0.7. Aus den Daten lässt sich jedoch keine Abhängigkeit der Rückgriffweite von der Gerinnebreite herleiten (Abb. 4.12). Es lässt sich aber zeigen, dass die Rückgriffweiten bei Erosionen, welche durch lokale Phänomene verursacht wurden, geringer waren als solche, welche von übergeordneten Strömungsverhältnissen (Querströmung in Verzweigung, Prallhangsituation) geprägt waren.

Zwischen Erosionslänge und Strömungsleistung sowie zwischen Rückgriffweite und Strömungsleistung lässt sich aus den vorliegenden Daten kein Zusammenhang ableiten.

Abb. 4.12 > Beobachtete Rückgriffweiten in Abhängigkeit der Gerinnebreite für unterschiedliche Strömungssituationen.



4.3.7 Diskussion

Grosse Streuung der Werte

Die Daten zur Seitenerosion beim Hochwasser 2005 streuen stark, was bei Naturdaten üblich ist. Durch die Aufteilung in verschiedene Belastungsgrössen werden die einzelnen Stichproben zudem relativ klein und die Daten müssen entsprechend vorsichtig interpretiert werden. Trotzdem lassen sich die Ergebnisse zu folgendem Gesamtbild der Seitenerosionen beim Hochwasser 2005 zusammenfügen:

Seitenerosion in Gebirgsflüssen

In Gebirgsflüssen waren die Abflüsse ausserordentlich hoch und haben, zusammen mit dem hohen Geschiebeaufkommen, grossräumige morphologische Veränderungen (Verzweigungen, Mäanderbildung) mit ihren dazu gehörigen Strömungssituationen (Querströmung, Prallhangsituationen) ausgelöst. Die damit verbundenen Seitenerosionen und Gerinneverlagerungen betrugen bis zum vierfachen der Gerinnebreite.

Seitenerosion in Talflüssen

Die Belastung in den Talflüssen war häufig weniger hoch als in den Gebirgsflüssen. Weil der Geschiebetransport eine weniger wichtige Rolle gespielt hat (vgl. Kap. 4.2), waren die grossräumigen morphologischen Veränderungen seltener. So hat sich die

Erosion mehrheitlich auf einzelne Flusskrümmungen beschränkt, ohne dass sich z. B. eine Pendelbewegung der Strömung flussabwärts zu einer eigentlichen Mäanderbildung hätte ausdehnen können.

Übergeordnete Prozesse

Die Prozess-Skala hat das Ausmass der Seitenerosion bestimmt. In Gewässern, in welchen übergeordnete morphologische Prozesse wie Verzweigung oder Mäanderbildung abgelaufen waren – v. a. bei grossen Ereignissen in Gebirgsflüssen – waren mehr und stärkere Seitenerosionen zu verzeichnen als in Gewässern ohne übergeordnete Prozesse. Sind übergeordnete Prozesse aufgetreten, war das Verhältnis von Länge zu Rückgriffweite durch die charakteristische Form morphologischer Strukturen bestimmt.

Lokale Phänomene

Bei mittleren Ereignissen mit einer Wiederkehrdauer der Abflussspitze von 30–100 Jahren waren die Erosionsprozesse stärker von lokalen Gegebenheiten beeinflusst (Bauwerke, einzelne Prallhangsituationen), und die Geometrie war durch lokale Phänomene bestimmt und die Rückgriffweiten im Allgemeinen geringer als bei Erosionen, die durch übergeordnete Prozesse ausgelöst wurden.

Die Wirkung von Uferschutzbauten

Bei übergeordneten Gerinneprozessen hat – v. a. in Gebirgsflüssen – ein allfälliger Uferschutz seine Wirkung nicht mehr entfalten können. Das Verhältnis von erodierten verbauten Ufern zu erodierten unverbauten Ufern von 60 : 40 in Gebirgsflüssen dürfte in etwa dem Verbauungsverhältnis in den betreffenden Gewässern entsprechen. In Talflüssen sind Gerinne bildende Prozesse nicht im gleichen Masse abgelaufen. Bestehende Uferverbauungen haben dort offenbar Erosionsprozesse verhindern können. Geht man davon aus, dass die Ufer in den Talflüssen ein Verbauungsverhältnis von 75 : 25 aufweisen, dann waren verbaute Ufer im Verhältnis ihres Vorkommens nur halb so oft von Erosion betroffen wie unverbaute Ufer. Das gilt zumindest für die Fälle mit mittlerer Belastung (Ereignisse mit Wiederkehrdauer 30–100 Jahre). Ufer- und Sohlensicherungsbauwerke haben jedoch in 16 von 37 Fällen der Erosion Vorschub geleistet, indem sie die Strömung negativ beeinflusst haben.

Bodenfeuchte und Dauer der Belastung

Die Seitenerosion dürfte durch zwei weitere Faktoren beeinflusst worden sein: durch die Dauer der Strömungsbelastung und durch die reduzierte Stabilität von Böschungen aufgrund ihres grossen Wassergehaltes. Die beiden Grössen konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet werden. Es ist aber anzunehmen, dass sie wegen der langen Dauer der Niederschlags- und Abflussereignisse die Seitenerosion in allen Gewässern förderten.

Die Untersuchung stützt sich auf eine Stichprobe von 119 tatsächlich aufgetretenen Seitenerosionen. Eine Vergleichsprobe mit Ufern, die nicht erodiert sind, wurde nicht erhoben. Aus den vorgestellten Resultaten lassen sich deshalb noch keine allgemein gültigen Regeln für die Bemessung von Uferschutzbauten oder für eine Gefahrenbeurteilung herleiten. Mit der Analyse ist aber eine Grundlage für weitere Arbeiten zu diesem Thema geschaffen worden.

4.3.8 Folgerungen

Annähernd 90 % der hier dokumentierten Erosionsstellen haben eine Rückgriffweite von 10 m und mehr (bis maximal 90 m) und liegen damit weit über der bei einer Gefahrenbeurteilung verwendeten Intensitätsklassengrenzen von 0.5 m und 2 m. Aufgrund dieser Erkenntnis wäre zu überprüfen, ob es sinnvoll wäre, die Klassengrenzen entweder stark auszuweiten oder ganz aufzuheben und die gesamte von Seitenerosion potenziell betroffene *Fläche* in der Intensitätskarte zu bezeichnen. Erste Anhaltspunkte für eine solche Ausscheidung liefern die folgenden zwei Punkte:

- Über die Hälfte der Seitenerosionen sind an Prallhängen aufgetreten. Potenzielle Erosionsstellen dieser Art sind vorhersehbar. Allerdings ist fast die Hälfte der Seitenerosionen *nicht* an Prallhangssituationen aufgetreten und demzufolge nicht von vorneweg zu lokalisieren.
- Bei hohen Belastungen (Wiederkehrdauer der Abflussspitze > 100 Jahre) betrugen die Rückgriffweiten in Gebirgsflüssen bis zu viermal der Gerinnebreite und in Talflüssen bis zu zweimal der Gerinnebreite.

4.4 Schwemmholzbilanzen

Peter Waldner, Lukas Schmocker, Flurin Sutter, Dieter Rickenmann, Christian Rickli, Daniela Lange, Daniel Köchli

4.4.1 Einführung

Schwemmholz führte 2005 an verschiedenen Orten zu einer Verschärfung der Hochwassersituation. Für die Einzugsgebiete der Kander, der Kleinen Emme und der Grossen Melchaa wurden die Einträge, Ablagerungen und Entnahmen von Schwemmholz rekonstruiert. Damit konnten für diese Einzugsgebiete sowie die Reuss flussabwärts des Vierwaldstättersees detaillierte Bilanzen erstellt werden. In einem weiteren Schritt wurden die Schwemmholzfrachten des Hochwassers 2005 mit Daten aus früheren Ereignissen verglichen. Ziel der Untersuchung ist die Erweiterung der bestehenden Datenbasis und damit eine Verbesserung der Datengrundlage zur Berücksichtigung des Schwemmholzes bei der Gefahrenbeurteilung sowie der Massnahmenplanung.

4.4.2 Methodik und Güte der Ergebnisse

Methodik

Die Rekonstruktion der Einträge, Ablagerungen und Entnahmen von Schwemmholz erfolgte anhand der Ereignisdokumentationen der Kantone, der von den Kantonen oder beauftragten Ingenieurbüros ausgefüllten StorMe-Formularen und weiteren Quellen (z. B. LiDAR-basierte Schätzungen der Schwemmholzvolumen für Chirel und Chiene). Bezüglich der Mobilisierung von Schwemmholz wurde zwischen Einträgen durch Murgänge, Hangrutschungen und Seitenerosion oder Uferrutschungen unterschieden. Der Frisch- und Totholzvorrat der mitgerissenen Waldflächen wurde anhand von regionalen Vergleichszahlen abgeschätzt. Zur Rekonstruktion der Mobilisierung von bereits im Gerinne liegendem Holz wurden die Ergebnisse der detaillierten Untersuchungen in ausgewählten Wildbachabschnitten (Rickli und Bucher, 2006) und der Zusammensetzung ausgewählter Schwemmholzablagerungen (Waldner et al., 2007) herangezogen.

Güte der Ergebnisse

Die Gesamtbilanz der rekonstruierten Einträge und der Ablagerungen (inklusive Entnahmen) für die betrachteten Einzugsgebiete zeigt Tab. 4.5. Zusätzlich sind darin auch die Daten für die hier nicht näher betrachteten Kleinen Melchaa sowie der Landquart bei Klosters angegeben. Die Summe der rekonstruierten Einträge stimmt, angesichts der vorhandenen Unschärfen, sehr gut mit der Summe der Ablagerungen überein. Die Daten dürfen somit als plausibel betrachtet werden.

Tab. 4.5 > Gesamtbilanz der rekonstruierten Einträge und Ablagerungen (inkl. Entnahmen) für die betrachteten Einzugsgebiete. Angegeben sind die beste Schätzung sowie der Wertebereich zur Illustration der vorhandenen Unschärfe. Die Angaben beziehen sich auf Festmeter (m³ Holz ohne Zwischenräume).

Einzugsgebiet	Eintrag [m³]		Ablagerung/Entnahme [m³]	
	beste Schätzung	Minimum/Maximum	beste Schätzung	Minimum/Maximum
Kander	30'700	23'900 / 58'200	23'500	10'900 / 26'300
Kleine Emme	5500	4300 / 7300	5300	4500 / 6600
Grosse Melchaa	5100	3600 / 8100	4400	3500 / 5400
Kleine Melchaa	40	20 / 100	40	20 / 100
Landquart, Klosters Dorf	4000	3900 / 4600	3700	3100 / 4400

Die Herkunft und der Ablauf der Schwemmholzprozesse waren in den betrachteten Einzugsgebieten unterschiedlich, wiesen aber insgesamt sehr ähnliche Muster auf.

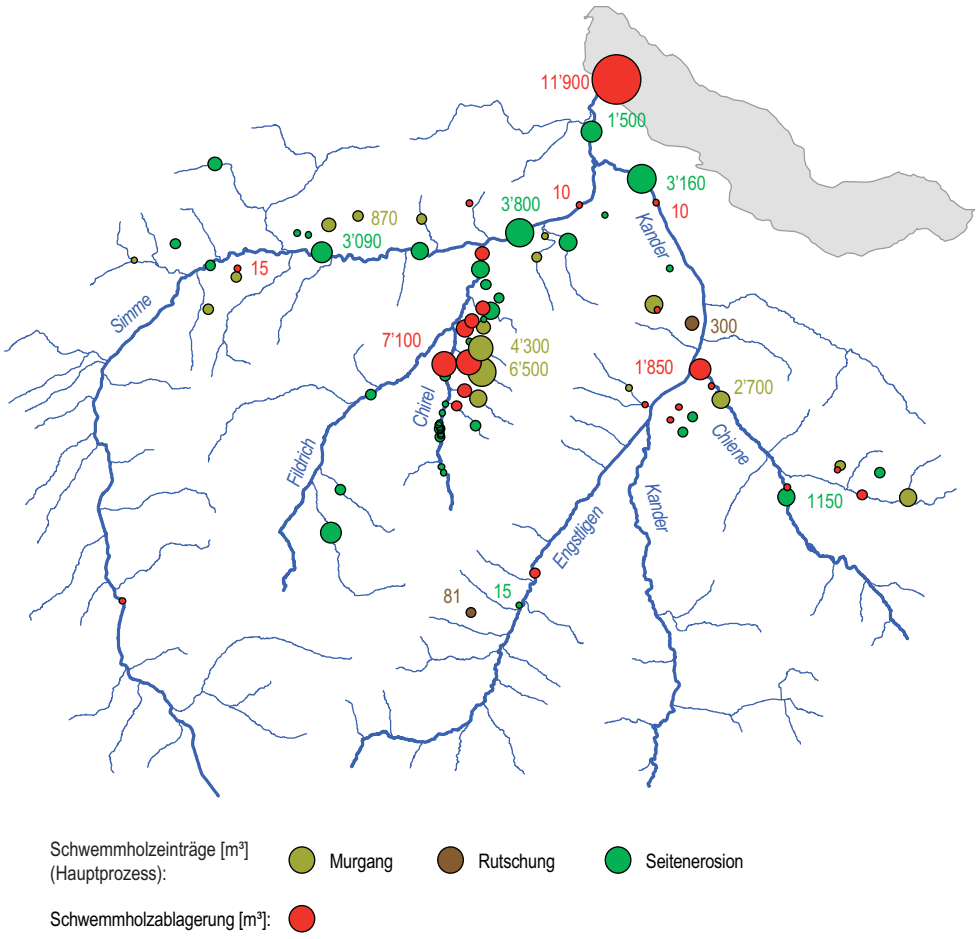
4.4.3 Kander

Rund die Hälfte der Einträge durch Murgänge und Rutschungen in Wildbäche

Im Einzugsgebiet der Kander resultierte als Folge der lang anhaltenden Niederschläge in einem Teil der Wildbäche eine starke Rutschungs- und Murgangaktivität. Diese aktiven Wildbäche (Kap. 4.6.4) lieferten knapp die Hälfte des Schwemmholzaufkommens im Einzugsgebiet (Abb. 4.13). Insgesamt war die Niederschlagsintensität jedoch begrenzt, so dass im bedeutenderen Teil der im Einzugsgebiet liegenden Wildbäche keine ausserordentlichen Abflüsse resultierten und in diesen Gerinnen die Mobilisierung von Schwemmholz relativ moderat blieb.

Abb. 4.13 > Abgeschätzte Schwemmholzeinträge und Ablagerungen im Einzugsgebiet der Kander.

Die Einträge sind entsprechend dem Mobilisierungsprozess aufgeschlüsselt.
Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf Festmeter (m³ Holz ohne Zwischenräume).



Rund ein Drittel der Einträge aus Seitenerosion entlang der Flüsse

Entlang der Gebirgsflüsse im Einzugsgebiet der Kander (in erster Linie in der Simme, Kander, Chirel und Chiene) kam es zu ausgeprägten Seitenerosionen, verbunden mit Uferrutschungen. Der daraus resultierende Schwemmholzeintrag machte rund ein Drittel des gesamten Aufkommens aus. Die Seitenerosion erreichte streckenweise eine Breite von gut 20 m und erfasste auch Hochwaldbestände mit starkem Baumholz. Eine wesentliche Zunahme der Einträge ist jeweils ab einer Einzugsgebietsgrösse von rund 50 bis 100 km² feststellbar.

Rund die Hälfte der Ablagerungen im Thunersee

An mehreren Engstellen kam es zu Verklausungen mit Schwemmholz und Geschiebe und Überschwemmungen (vgl. Kap. 5.2). Weitere bemerkenswerte Ablagerungen von Schwemmholz wurden in flachen und breiten Abschnitten kleiner Gebirgsflüsse (z. B. in der Engstligen oberhalb von Frutigen) beobachtet. Mehr als die Hälfte des Schwemmholzes gelangte jedoch bis zur Mündung der Kander. Es lagerte sich im Delta ab oder gelangte in den See, wo es mit Schwimmsperren grösstenteils aufgefangen werden konnte (vgl. Kap. 5.2).

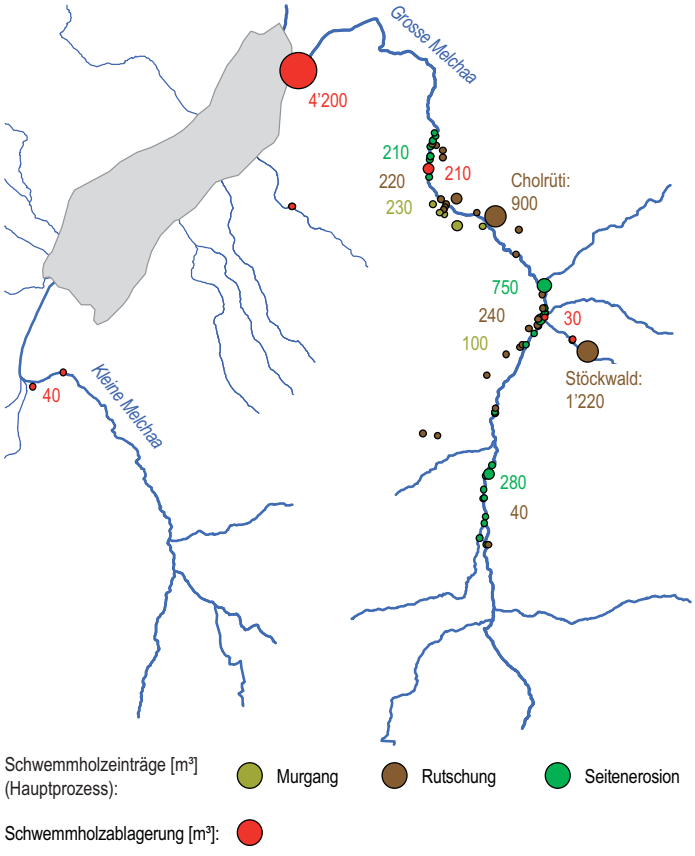
4.4.4 Grosse Melchaa

Im Einzugsgebiet der Grossen Melchaa (Abb. 4.14) führten Rutschungen und Murgänge in einem Teil der Wildbäche sowie Seitenerosion entlang der Grossen Melchaa (ab einer Einzugsgebietsgrösse von ca. 30 km²) zu hohen Schwemmholzeinträgen. Zudem ereigneten sich zwei grossflächige Rutschungen, die zusammen rund ein Drittel des Schwemmholzeintrages lieferten. In der Cholrüti glitt ein mittlerer Baumholzbestand direkt in die Grosse Melchaa. Das Holz wurde dort relativ rasch mobilisiert und verklauste rund eine Viertelstunde später die Fachwerkbrücke der Zentralbahn im Unterlauf der Grossen Melchaa (vgl. Kap. 5.2) und war somit massgeblich für die anschliessende Überschwemmung des Mündungsdeltas in Sarnen verantwortlich.

Rund ein Drittel der Einträge aus zwei grossen Rutschungen

Abb. 4.14 > Abgeschätze Schwemmholzeinträge und Ablagerungen im Einzugsgebiet der Grossen Melchaa (links). Mit der Rutschung Cholrüti (rechts) gelangten 800–1000 m³ Holz in die Grosse Melchaa.

Die Einträge sind entsprechend dem Mobilisierungsprozess aufgeschlüsselt.
Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf Festmeter (m³ Holz ohne Zwischenräume).



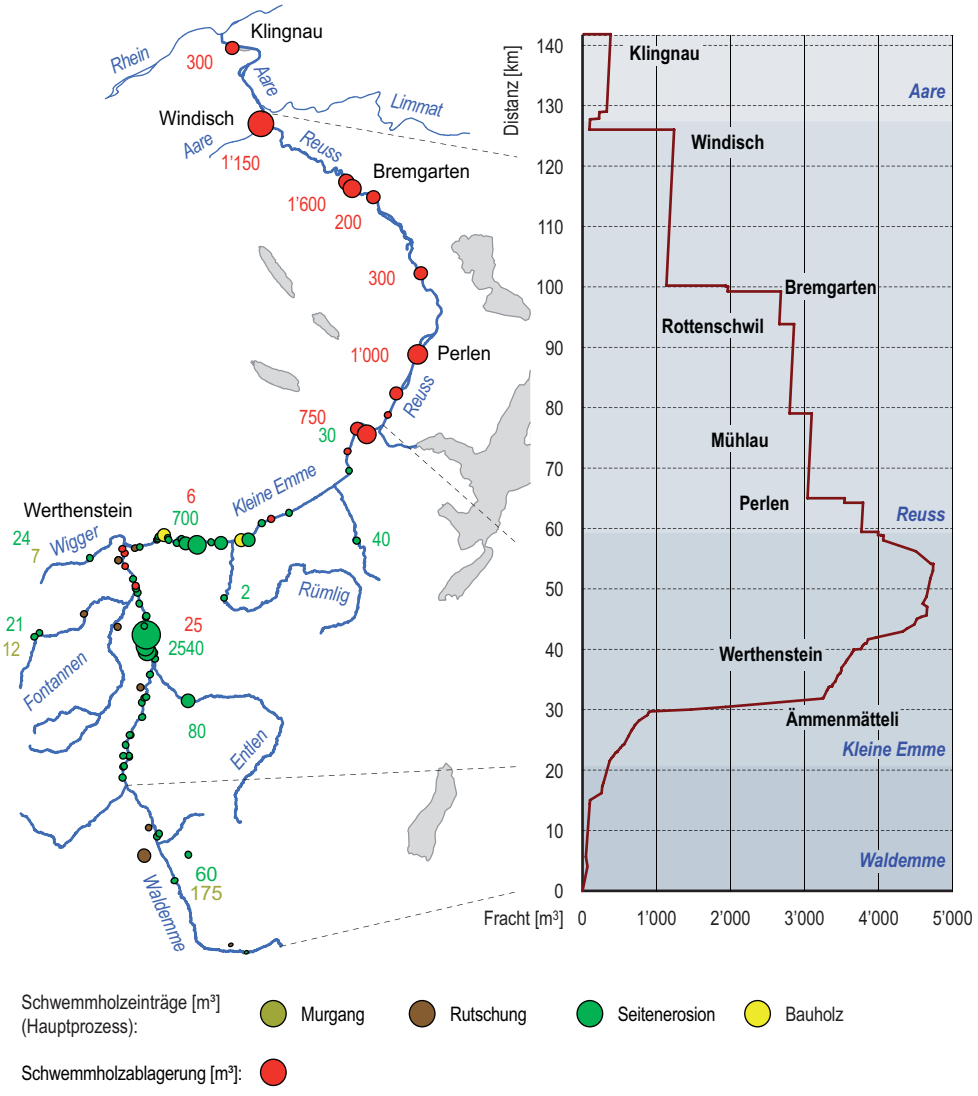
4.4.5 Kleine Emme

Im Einzugsgebiet der Kleinen Emme (Abb. 4.15) war die Rutschungsaktivität ebenfalls hoch. Insgesamt war jedoch die Seitenerosion entlang der Kleinen Emme (ab einer Einzugsgebietsgrösse von rund 100 km²) der vorherrschende Eintragsprozess, der für rund drei Viertel des Schwemmholzaufkommens verantwortlich war. Die Erosionsflächen mit Rückgriffweiten bis 30 m umfassten sowohl typische Auenwälder als auch Nadelmischwald mit gut 25 m hohen Fichten.

Rund drei Viertel der Einträge aus Seitenerosion

Abb. 4.15 > Abgeschätze Schwemmholzeinträge und Ablagerungen der Kleinen Emme und entlang der Reuss flussabwärts von Luzern (links) und Transportdiagramm (rechts).

Die Einträge sind entsprechend dem Mobilisierungsprozess aufgeschlüsselt. Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf Festmeter (m³ Holz ohne Zwischenräume)



Konsequenzen im Unterlauf

In der Kleinen Emme und der Reuss kam es an mehreren Brücken und Wehren zu Verklausungen bzw. Holzansammlungen (vgl. Kap. 5.2). Teilweise lösten sich einzelne Holzansammlungen im Verlauf des Ereignisses. Dadurch und aufgrund der unterschiedlichen Eintragsprozesse und Eintragsorte erfolgte der Schwemmholztransport intermittierend. Das An- und Abklingen der Schwemmholzführung war in der Folge in den flussabwärtigen Flussabschnitten laut Augenzeugen gegenüber dem Abfluss zeitlich verzögert. An einigen Stellen gelang es den Interventionskräften durch fortwährende Entnahme, Verklausung zu verhindern. An anderen Stellen (z. B. an den Wehren Perlen und Windisch) bildeten sich Verklausungen, die wegen des Strömungsdrucks auch mit schwerem Gerät während des Ereignisses nicht gelöst werden konnten.

4.4.6 Kleine Melchaa und Landquart

Kleinen Melchaa: Schwemmholz von untergeordneter Bedeutung

Im Einzugsgebiet der Kleinen Melchaa war das Schwemmholzaufkommen bedeutend kleiner als im benachbarten Gebiet der Grossen Melchaa. Das vorwiegend im Gerinne mobilisierte Holz (Abb. 4.14) hat deshalb in der Kleinen Melchaa – v. a. auch angesichts der bedeutenden Geschiebeumlagerungen – vermutlich eine untergeordnete Rolle gespielt.

Landquart: Seitenerosion als dominanter Eintragsprozess

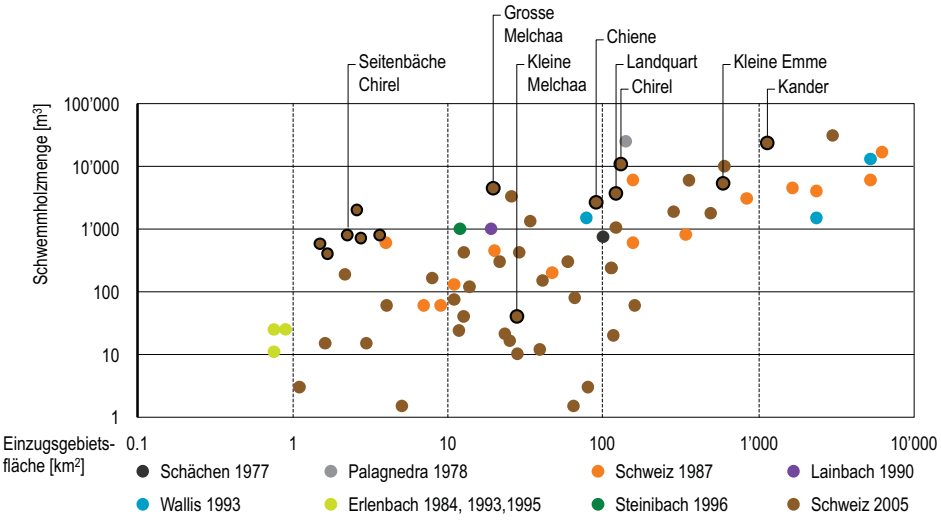
Bei der Verklausung und Ablagerung in Klosters Dorf stammte der Grossteil des Holzes aus Seitenerosionen im Gebirgsfluss (Fischer, 2006) ab dem Punkt an dem er eine Einzugsgebietsgrösse von 100 km² erreicht.

4.4.7 Vergleich mit früheren Ereignissen

Wie Abb. 4.16 zeigt, liegt das Schwemmholzaufkommen im August 2005 im Rahmen der bereits bei früheren Ereignissen beobachteten Schwemmholzmengen, bewegt sich jedoch teilweise am oberen Rand des Streubereichs. Vorhandene Methoden zur Beurteilung des Schwemmholzaufkommens, wie beispielsweise die Ansätze von Rickenmann (1997) sind daher nach wie vor geeignet, um die Grössenordnung möglicher Holzfrachten abzuschätzen. Wie Abb. 4.16 zeigt, ist jedoch die Streuung der Daten beträchtlich. Entsprechend gross sind daher die mit der Abschätzung des Schwemmholzaufkommens vorhandenen Unschärfen.

Abb. 4.16 > Schwemmholzaufkommen in Abhängigkeit der Einzugsgebietsfläche während des Hochwassers vom August 2005 im Vergleich zu früheren Ereignissen.

Bei den angegebenen Einträgen handelt es sich um Festmeter (m³ Holz ohne Zwischenräume). Die Angaben sind mit einer Unschärfe behaftet.



4.4.8 Folgerungen

Massgebende Prozesse für die Mobilisierung

In allen detailliert untersuchten Einzugsgebieten waren einerseits Rutschungen und Murgänge in einem Teil der Wildbäche und andererseits Seitenerosion in Gebirgsflüssen die massgebende Prozesse bei der Mobilisierung des Schwemmholzes. Dabei sind frische Bäume teilweise aus grosser Entfernung ins Gewässer gelangt. Im Zusammenhang mit dem Schwemmholzaufkommen sind somit neben der Hochwasserspitze vermehrt auch die Verminderung der Bodenstabilität bei Durchnässung und der Holzvorrat in den potenziell betroffenen Waldflächen zu berücksichtigen. Erfolgt der Eintrag von Holz aus Waldflächen, so sind Hochwaldbestände mit Baumhöhen, welche die Durchlassbreiten der Flussbauten stark übersteigen, in Bezug auf Verklausungen ungünstiger als beispielsweise naturnahe Auenwälder mit üblicherweise geringeren Baumhöhen. Nicht untersucht werden konnte im vorliegenden Fall, inwieweit 2005 die Schutzwirkung des Waldes und seines Wurzelwerkes weitere Erosions und Schadensprozesse verhindert hatte.

Weitere Einflüsse
Umgang mit Schwemmholz und den vorhandenen Unsicherheiten

Das Ereignis verdeutlichte aber klar, dass der Schwemmholzeintrag durch forstliche Pflegemassnahmen zwar beeinflusst, aber nicht verhindert werden kann. Diese Erkenntnis zeigt die Notwendigkeit, den Umgang mit Schwemmholz als festen Bestandteil in die Planung wasserbaulicher Massnahmen sowie in die Notfallplanung mit einzubeziehen. Gemäss dem für Schwemmholz geltenden Grundsatz «Durchleiten wo möglich, Rückhalten wo nötig», beinhaltet dies primär Massnahmen zur Entschärfung potenzieller Schwachstellen wie beispielsweise ein angemessenes Freibord, grosszügige Pfeilerabstände oder Verschalungen bei Brücken bzw. grosszügig dimensionierte Öffnungen bei Wehren. Angesichts der im Zusammenhang mit dem Schwemmholzaufkommen vorhandenen Unschärfen sind Massnahmen grosszügig zu dimensionieren sowie robust und überlastbar auszulegen. Im Umgang mit Schwemmholz gilt es einerseits realistische Szenarien zu erarbeiten, gegen welche man geschützt sein will, und andererseits mögliche Szenarien (im Sinne von «denke das Undenkbare») als Grundlage für die Notfallplanung zu haben. Zentral für eine rasche Intervention ist zudem die direkte Kommunikation unter den Einsatzkräften entlang eines Flusses.

4.5 Effet des crues dans un choix de zones alluviales

Anne-Claude Cosandey, Christian Roulier

4.5.1 Dynamiques et changements observés

But de l'étude

Les phénomènes observés dans les zones alluviales ne sont pas perçus de la même manière que dans les zones construites ou intensivement cultivées. Le propos de ce chapitre est de décrire et de quantifier les changements qui ont eu lieu, de présenter les différences entre les zones alluviales ainsi que leurs conséquences sur la valeur écologique de ces milieux.

Choix des sites investigués

40 zones alluviales d'importance nationale (OZA, RS 451.31) ont été visitées suite aux crues de 2005. Le choix des zones visitées s'est fondé sur les données hydrologiques (importance de la crue) et l'avis des responsables cantonaux de la protection de la nature. Dans ces 40 objets, de grandes surfaces, notamment de végétation ligneuse, ont été érodées. Au total, 48 ha de forêts ont disparu avec des pertes qui varient entre 0.1 et 10 ha par objet. Des études de cas ont été effectuées dans quatre objets (Tab. 4.6) choisis selon la disponibilité des données, l'existence d'autres études de cas ainsi que le type d'objet et de changements observés. Ces études ont permis de quantifier plus en détail les surfaces érodées et les formations alluviales concernées. Dans les objets massivement touchés une grande proportion des forêts, surtout à bois tendre, a été emportée (e. f. Tab. 4.6). Les zones alluviales sont classées, selon les phénomènes observés, dans les trois catégories suivantes:

- *Catégorie 1:* inondation et dépôts de sédiments fins dans toutes les formations alluviales (Fig. 4.17)
- *Catégorie 2:* érosion latérale ou locale des bancs de sédiments et des formations herbacées (Fig. 4.18)
- *Catégorie 3:* forte érosion y compris des forêts à bois tendre et à bois dur, remaniement du cours d'eau (Fig. 4.19)

Fig. 4.17 > Catégorie 1: inondation et dépôts de sédiments fins dans toutes les formations alluviales.

Emmenschachen SO – Confluence Aare-Emme

Fig. 4.18 > Catégorie 2: érosion latérale ou locale des bancs de sédiments et des formations herbacées.

Laui OW – Gross Laui

Fig. 4.19 > Catégorie 3: forte érosion y compris des forêts à bois tendre et à bois dur, remaniement du cours d'eau.

Stoessi UR – Chärstelenbach

Comparaison par rapport à 1987

Après les crues de l'été 1987, les mêmes types de changement ont été observés (Gallandat et al., 1993). De grandes surfaces de forêt ont également disparu notamment à Rhäzünser Rheinauen GR – Hinterrhein (4.5 ha) ou à Finges VS – Rhône (9 ha). Cependant, dans ces deux grands systèmes (160 et 350 ha), la proportion des surfaces érodées par rapport à la surface existante de végétation est moins grande que dans les objets massivement touchés en 2005.

Tab. 4.6 > Changements de végétation et bilan de sédiments dans les 4 études de cas.

	Wilerau BE Simme	Ämmenmatt LU Kleine Emme	Stössi UR Chärstelenbach	Saas/Conters GR Landquart
Catégorie de changement	1	3	3	3
Type de cours d'eau	Fond de vallée	Fond de vallée	Rivière torrentielle	Rivière torrentielle
Etats examinés	1998/2005	1998/2005	2003/2005	2002/2006
Surface cartographiée [ha]	12.8	38.9	15.8	17.7
Erosion en ha (diminution en % par rapport à l'état antérieur)				
Herbacées	0.0 (14 %)		0.2 (83 %)	
Forêts à bois tendre	0.1 (16 %)	1.0 (41 %)	2.7 (41 %)	3.4 (60 %)
Forêts à bois dur		0.1 (13 %)		0.2 (66 %)
Forêts non alluviales	0.4 (7 %)	4.4 (21 %)	0.8 (24 %)	1.6 (24 %)
Autres surfaces	0.1 (2 %)	0.4 (24 %)	1.3 (55 %)	0.2 (18 %)

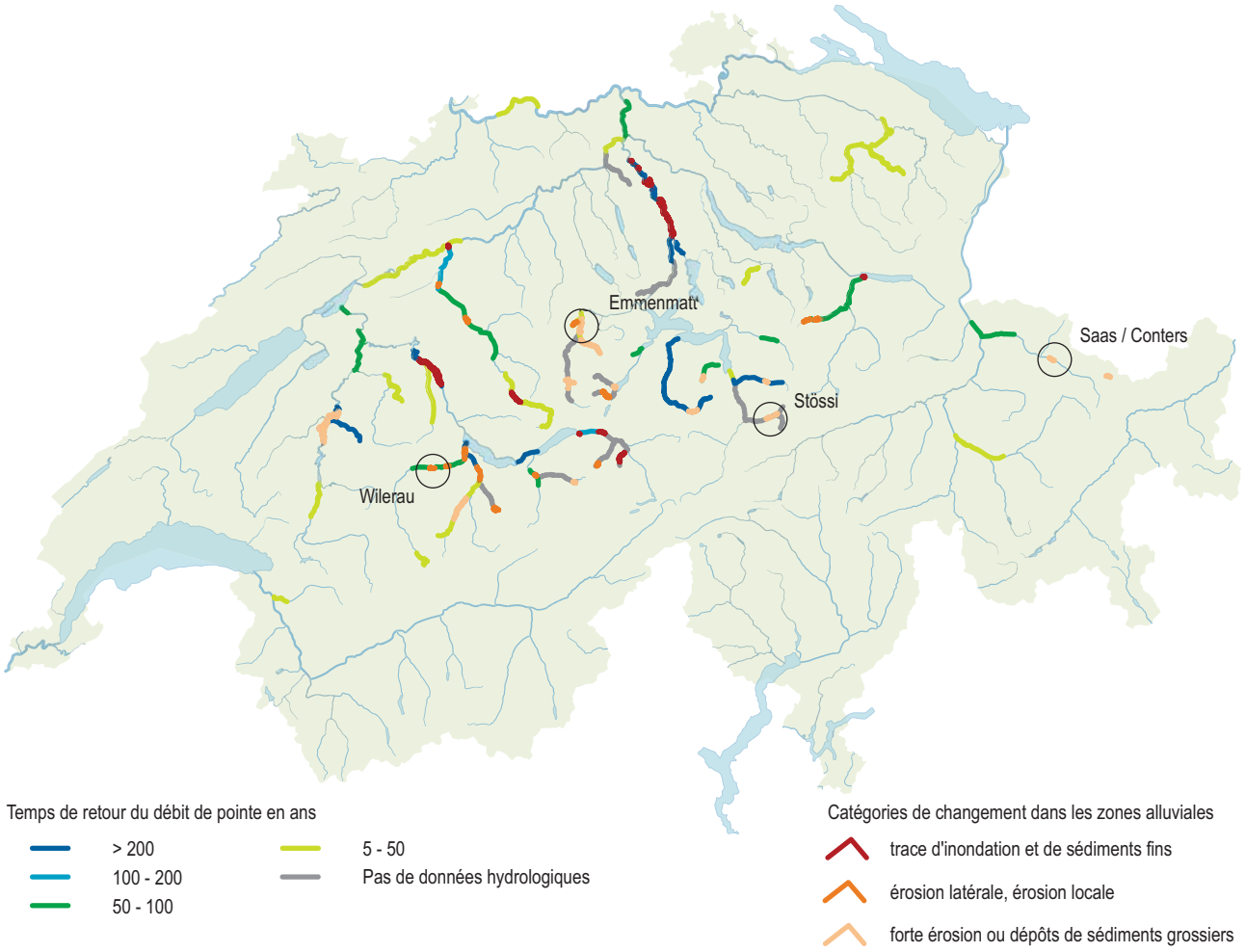
Augmentation des surfaces d'eau et de sédiments par rapport à l'état antérieur	10 %		39 %		136 %	117 %
Pente de l'objet	1 %		1.4 %	4 %	9 %	3 %
Taux endiguement	31 %	Oui (20 %)	Non (80 %)		0 %	0 %
Elargissement du lit [m]	10, local	-	0–80, local	15–80, global	5–25, global	10–60, global
Bilan sédiment	Profils en travers 99/05	Profils en travers 98/06		MNA 03 / Mesures GPS 07 + Photos aériennes 05		Photos aériennes 97/05
Sédimentation [m³] ([m³/m²])	+14'000 (+0.4)	+4'300 (+0.1)		+36'000 (+0.5)		+300'000 (+1.9)
Erosion [m³] ([m³/m²])	-2'300 (-0.1)	-11'000 (- 0.2)		-92'000 (-1.2)		-360'000 (-2.3)
Bilan [m³]	+11'700	-6'700		-56'000		-60'000

4.5.2 Influence des conditions hydro-géomorphologiques

L'intensité des changements n'est pas toujours liée à l'intensité des crues

Une comparaison de la carte des catégories des changements (Fig. 4.20) avec celle des temps de retour des crues dans les stations de mesures amène à deux constats principaux. D'une part, la plupart des 40 objets analysés ont subi des crues de temps de retour supérieur à 50 ans. D'autre part, les objets où les changements sont les plus importants ne sont pas toujours ceux où les crues ont été les plus intenses. La plupart des objets de la catégorie 1 (Fig. 4.17) ont subi une crue avec un temps de retour estimé à plus de 200 ans. Gilvear et Bravard (1993) reconnaissent d'ailleurs que les plus grands changements ne sont pas forcément liés aux plus grandes intensités de crue. Lors des grandes crues, l'inondation du lit majeur permet une dissipation de l'énergie ce qui diminue l'efficacité des crues débordantes. Les différences de durée ne parviennent pas non plus à expliquer les différences d'intensité de changement entre les objets (Cosandey et al., 2007). On a noté que les crues ont duré particulièrement longtemps dans tous les objets (50–100 h).

Fig. 4.20 > Carte des temps de retour et des intensités de changements.



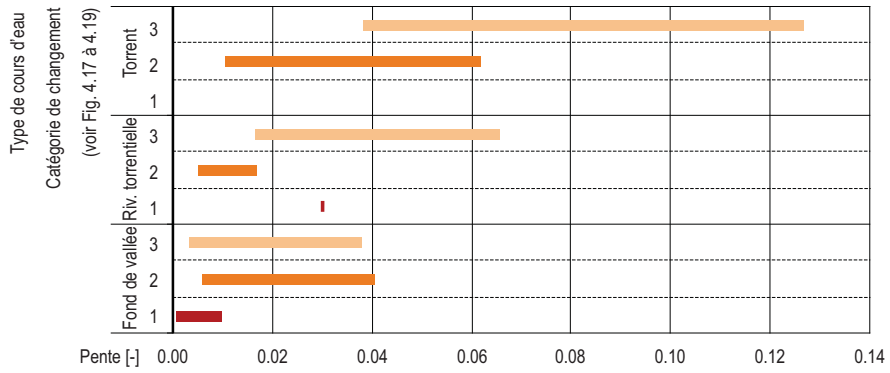
Changements forts dans les torrents et les rivières torrentielles

Les objets qui se situent le long des torrents ou des rivières torrentielles ont tous montré des changements massifs (catégorie 3) ou des érosions locales (catégorie 2), sauf dans un objet (Sandey BE – Urbachwasser). Dans ce cas, le manque de dynamique s'explique probablement par l'influence des digues situées à l'amont qui contraignent le cours d'eau vers la gauche.

Changements variables dans les cours d'eau de fond de vallée

Trois facteurs viennent expliquer les différences de comportement observées dans les objets de fond de vallée (Talfluss). Premièrement, les pentes sont plus faibles dans les objets de catégorie 1 que dans les objets des deux autres catégories (Fig. 4.21). Dans des cas pareils, la puissance du cours d'eau est moins élevée et l'écoulement est plus uniforme. Le charriage relativement faible dans ces cours d'eau a d'ailleurs déjà été relevé (Rickenmann et al., 2007). Deuxièmement, la morphologie de certaines zones explique l'absence de grandes surfaces érodées: l'objet Emmeschlucht BE comprend les gorges de l'Emme alors que les objets Jägglisglunte BE – Aare et Tote Reuss – Alte Reuss AG sont coupés des cours d'eau principaux par des endiguements.

Fig. 4.21 > Relation entre le type de cours d'eau, la catégorie de changement et la pente.



Finalement, à part les cas particuliers discutés ci-dessus, tous les objets qui ont présenté peu de changements (catégorie 1) sont des objets corrigés ou endigués. L'effet des endiguements a également été relevé à l'intérieur des objets. Les zones endiguées ont clairement montré moins de changements que les zones non corrigées (Flühli LU – Hohwäldlibach, Rotbach, Waldemme) ou revitalisées (Oberburger Schachen BE – Emme). Dans les objets analysés, des ouvrages de protection ont souvent été détériorés (16 objets sur 31) mais il n'y a pas eu de rupture majeure de digues. Excepté à Niederried BE – Sarine, Aar (objet non analysé en 2005), où la digue de la Sarine s'est rompue et où la dynamique de la zone alluviale a été réinitiée.

Présence de digues limite la dynamique

4.5.3 Bilan de sédiments et de bois flottant dans les zones alluviales

Les volumes de sédiments déposés et érodés ont été évalués dans les 4 études de cas (Tab. 4.6, Fig. 4.20). Lorsque l'intensité des changements est faible comme à Wilerau BE – Simme, le bilan de sédiments est positif. Dans ce cas, la zone alluviale retient les sédiments. Par contre, dans les zones alluviales massivement touchées comme Stössi UR – Chärstelenbach, Saas/Conters GR – Landquart, des élargissements pouvant atteindre 80 mètres ont été observés. De plus, des talus ou des cônes d'alluvions d'affluents faisant plusieurs mètres de haut ont été érodés (Fig. 4.19 et Fig. 4.22). En considérant des épaisseurs de sols de 1 mètre sur les berges, les volumes érodés devraient être réduits de respectivement 25 % et 10 %. En effet, les particules qui composent les sols sont transportées par le cours d'eau (matières en suspension) et ne contribuent pas à proprement parler au charriage. Néanmoins, il apparaît (Tab. 4.6) que les dépôts dans le cours d'eau ne viennent pas compenser les fortes érosions latérales et que le bilan de sédiments est négatif. Dans le Maderanertal, la zone alluviale semble avoir massivement fourni des sédiments à l'aval puisqu'il a été estimé que 90'000 m³ ont été mobilisés à l'amont de Bristen – village endommagé à 4 km à l'aval de la zone alluviale (Bigler AG et al., 2006). Il semble ainsi que lors d'événements aussi exceptionnels, les quantités d'eau qui entrent dans la zone alluviale contiennent proportionnellement peu de matériaux. Dès lors, les zones alluviales, par définition zones de rétention, peuvent se mettre à libérer des sédiments. On assiste ici à une perturbation majeure des systèmes qui devront se réadapter aux nouvelles conditions physiques (Wasson et al., 1998).

Les zones alluviales retiennent-elles les sédiments?

Fig. 4.22 > Erosion de forêt d'aulnes blancs et dépôts de bois flottant à Saas/Conters GR – Landquart.

Zone alluviale: source ou réservoir de bois flottant?

Des bilans de bois flottant ont pu être effectués dans deux zones alluviales massivement érodées (Tab. 4.7). Les constats sont les suivants: d'une part, la zone alluviale contribue largement à la quantité de bois érodée le long du cours d'eau. Le long de la Kleine Emme, la moitié environ des quantités de bois provient de la zone alluviale de Aemenmatt. D'autre part, le volume de bois retenu dans la zone alluviale ne compense pas le volume de bois érodé. Remarquons que ces deux exemples illustrent les zones alluviales qui ont été les plus fortement remaniées par les crues. Les dépôts de bois flottant n'ont pas été recensés de manière systématique. Néanmoins, ils ont été observés dans quasiment tous les objets, soit en tête d'îles, soit sur les bancs de sédiments (Fig. 4.22), soit dans les forêts qui jouent un rôle de peigne (Fig. 4.17). Dans les 26 zones alluviales où l'érosion est faible ou nulle (catégorie 1 et 2), le bilan de bois flottant semble, selon les observations, neutre, voire positif.

Tab. 4.7 > Bilan de bois flottant le long de la Kleine Emme et de la Landquart et dans deux objets ayant subi de fortes érosions (Volume spécifique = 300 m³/ha).

	Emenmatt LU – Kleine Emme		Saas/Conters GR – Landquart	
	Erosion	Dépôts	Erosion	Dépôts
Zone alluviale [m³]	1650	Pas de données	1560	1090[1]
Bassin versant [m³]	3200[2]	5300[2]	> 3260[2]	5470[2]

[1] BAFU, StorMe, 2006; [2] chapitre 4.4

Les zones alluviales livrent surtout du bois tendre

Les forêts érodées dans les zones alluviales sont principalement des forêts à bois tendre (aulnaie, saulaie; Tab. 4.6). Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux observés dans les dépôts de bois flottant accumulé (Waldner et al., 2007). Les essences à bois tendre sont potentiellement moins problématiques (densité, taille des troncs, friabilité) par rapport aux risques d'embâcles que les forêts à bois dur ou les autres forêts non alluviales (Heiniger et Petrascheck, 2003).

4.5.4 Influence des crues sur la valeur écologique des zones alluviales

Influence positive des crues sur la valeur écologique

Dans les objets où il y a des érosions et des sédimentations, la végétation est rajeunie et la zonation (juxtaposition spatiale des communautés végétales) est réinitiée. Les saules et les aulnes, dont les graines ne germent que sur des substrats minéraux, s'installent rapidement. Cette évolution est encore plus marquée lorsque le cours d'eau a la possibilité de modifier son tracé: les groupements mûrs (forêts à bois dur) sont érodés et remplacés par des formations pionnières. La diversité et la typicité du système alluvial augmentent. De plus, les dépôts de bois flottant ont une influence d'une part sur la morphologie du cours d'eau et d'autre part sur la diversité des habitats (Hering et Reich, 1997).

Problématique des dépôts de sédiments fins

Cependant, dans les objets où les changements consistent principalement en des dépôts de sédiments fins, le bilan est plus nuancé. Les bancs de sédiments et la végétation alluviale herbacée sont certes rajeunis par les dépôts (voir ci-dessous). Par contre, les dépôts n'ont pas d'influence sur la végétation ligneuse (Fig. 4.17). Ils rehaussent les terrasses alluviales et les affranchissent d'autant plus de l'influence du cours d'eau. Dans les zones alluviales corrigées, où l'érosion latérale ne se produit pas, une stabilisation et un vieillissement du système alluvial, souvent combinée à une incision du lit, en résultent, ce qui débouche sur un bilan écologique négatif.

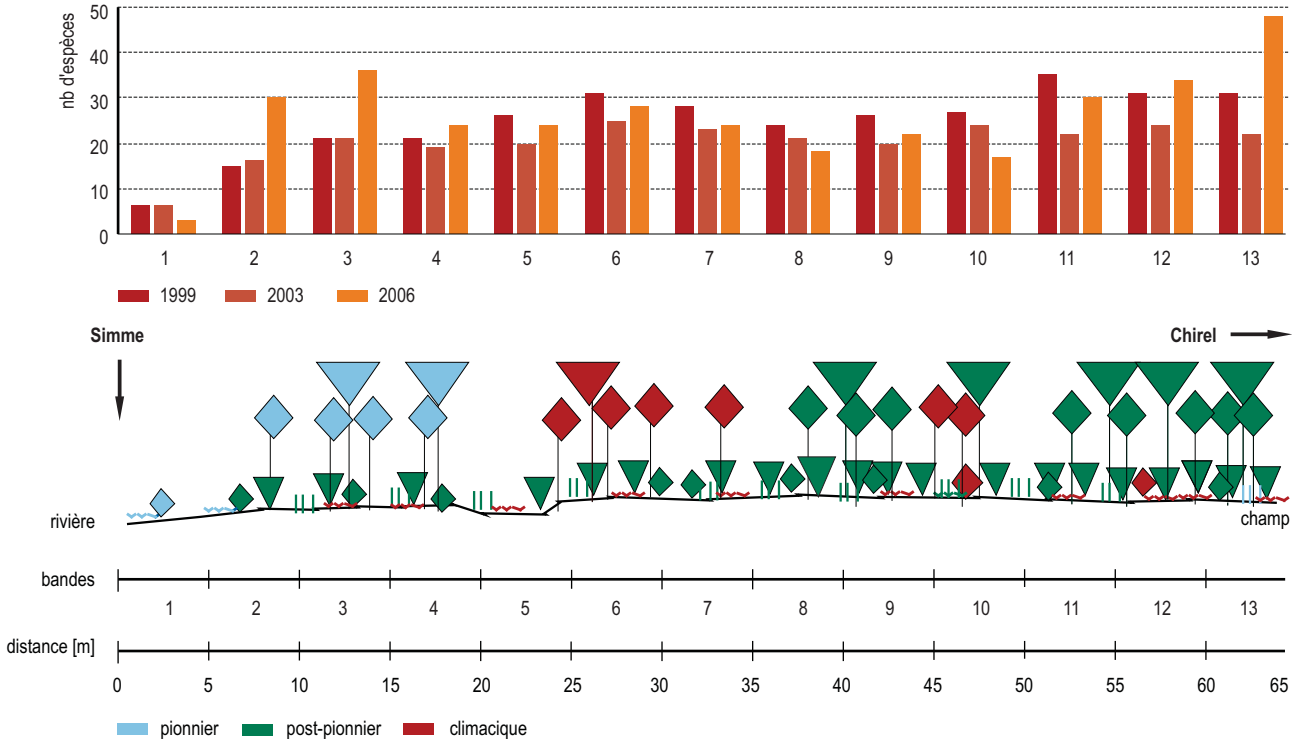
Transect de Wilerau BE – Simme

Un transect d'étude de la végétation a été installé en 1999 à Wilerau BE – Simme (Service conseil Zones alluviales, à paraître); cette structure permet un examen de la végétation dans des surfaces permanentes jointives espacées de 5 m (cellules). En 2006, un an après la crue, les constats sont les suivants (Fig. 4.23):

- La richesse floristique (nombre d'espèces recensées) augmente aux extrémités du transect où des sédiments fins ont été déposés (bandes 2, 3 et 13). Cet apport permet la germination d'un plus grand nombre de plantes, notamment des herbacées pionnières. Les sédiments proviennent de la Simme (partie gauche du graphique) et de son affluent, le ruisseau «Chirel» (partie droite).
- Globalement, le système évolue peu. L'indice de dynamique (rapport entre le nombre de cellules occupées par des communautés pionnières et le nombre total des cellules du transect) se situe autour de 0.1. (1999: 0.11; 2003: 0.08; 2006: 0.12). A titre de comparaison, un objet dynamique comparable, comme Senseauen FR/BE (non examiné dans cette étude), présente un indice de 0.41.

Fig. 4.23 > Biodiversité le long du transect de Wilerau BE – Etats: 1999, 2003 et 2006.

en haut: Courbe de richesse floristique
en bas: Distribution des communautés pionnières, post-pionnières et climaciques lors du relevé de 2006



Malheureusement, l'effet positif des crues sur les zones alluviales est souvent réduit, voire inversé, par les mesures de remise en état. Dans les trois études de cas où il y a eu de gros changements dus aux crues (catégorie 3), la morphologie du cours d'eau a été artificiellement modifiée, soit immédiatement après les crues, soit jusqu'à 2 ans plus tard: le tracé du cours d'eau est remanié (chenal-pilote), les rives sont stabilisées (digues de sédiments) (Fig. 4.24). Ces interventions restreignent l'espace accordé au cours d'eau, favorisent l'incision et soustraient les terrasses alluviales à la dynamique du cours d'eau (Fig. 4.25).

Les mauvaises remises en état réduisent souvent l'effet positif des crues

Les prochaines crues viendront-elles remanier ces dépôts anthropiques? Il n'y pas de réponse générale. A Ämmenmatt LU – Kleine Emme, lors de la crue d'août 2007, la rivière a rompu la digue non stabilisée érigée en 2005 et a inondé (sans effet négatif majeur) l'espace situé derrière cette protection (Kull, 2007). Par contre, dans plusieurs cas, notamment au Brenno di Blenio – TI, des digues mises en place suite aux crues de 1987 sont encore présentes 20 ans plus tard et restreignent la diffusion des hautes eaux dans la forêt alluviale. Dans les zones alluviales, les mesures de remise en état après les crues doivent viser uniquement la protection de l'homme et des biens importants, comme le préconisent les buts de la protection (Art.4 Ordonnance sur les zones alluviales). Dans les faits et dans l'urgence, la pesée des intérêts n'a pas lieu et ces mesures vont souvent trop loin (Gobat et al., 2007).

Fig. 4.24 > Lors des crues de 2005, le cours d'eau s'est élargi d'environ 80 mètres à l'extérieur du périmètre de la zone alluviale d'Ämmenmatt LU – Kleine Emme.

Des digues non stabilisées ont été mises en place immédiatement après les crues pour protéger une conduite d'eau usée.

Fig. 4.25 > Déviation du cours d'eau vers la droite. Les terrasses alluviales situées à l'aval ne peuvent plus être inondées (état 2007). Figure à comparer avec la figure 4.19.

4.5.5 Bilan et perspectives

Crues: perturbations indispensables

Lors des crues de 2005, des changements majeurs sont intervenus, surtout dans les rivières torrentielles et les torrents. Les zones alluviales, qui constituent généralement des zones de dépôt, ont livré des sédiments et des bois flottants. Les crues constituent une perturbation majeure indispensable aux cycles de rajeunissement des zones alluviales; elles agissent comme une revitalisation spontanée. Une amélioration se produit dans les systèmes naturels alors qu'une péjoration intervient généralement dans les systèmes endigués.

Questions en suspens

Différentes questions sont encore ouvertes. Dans quelle mesure le manque de dynamique observé dans les objets collinéens est lié aux endiguements? Quelles quantités de bois flottant sont déposées dans les zones alluviales? Existe-t-il un seuil à partir duquel la sédimentation dans les terrasses alluviales empêche complètement la relation avec le cours d'eau? Comment évoluent les zones alluviales qui ont subi des mesures d'interventions non conformes?

Améliorations méthodologiques

Pour les prochaines crues, des améliorations pourraient être faites au protocole de relevé, notamment sur la reproductibilité des observations (catégories de changements, dépôts de bois flottant). Par ailleurs, si l'on considère que les zones alluviales constituent des systèmes de références dans le cadre de revitalisation ou pour définir l'espace nécessaire au cours d'eau, les données géomorphologiques et hydrologiques devraient être collectées aussi dans les rivières torrentielles dans lesquelles elles font fréquemment défaut.

Mieux communiquer

Finalement, l'impact positif des crues sur la valeur écologique des zones alluviales pourrait être amélioré. Pour cela les responsables des interventions sur les cours d'eau et surtout les riverains doivent être sensibilisés à la valeur des milieux alluviaux et à l'impact négatif de certaines mesures d'interventions.

4.6 Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen und Gebirgsflüssen

Dieter Rickenmann, Anja Koschni, Michael Chiari, Christian Scheidl, Nancy Canuto

4.6.1 Einführung

Ziele der Untersuchung

Die Abschätzung von Feststofffrachten in steilen Fliessgewässern ist grundsätzlich mit grossen Unschärfen verbunden. Die grosse Zahl der 2005 betroffenen Fliessgewässer, die aufgrund der Ereignisdauer aussergewöhnlichen Frachten und die aufgrund der umfangreichen Dokumentationsarbeiten für das Ereignis vom August 2005 generell sehr gute Datengrundlage stellen eine Gelegenheit dar, neue und vorhandene Methoden zur Ermittlung von Feststofffrachten vertieft zu untersuchen (Rickenmann et al., 2008b). Dabei stehen zwei Aspekte im Vordergrund:

- Die rasche Ermittlung morphologischer Veränderungen (Erosionen, Ablagerungen) im Einzugsgebiet und entlang eines Gerinnes als Basis für eine Bilanzierung der mobilisierten und umgelagerten Feststoffe *nach einem Ereignis* und
- die Abschätzung von Feststofffrachten auf der Basis des Abflussvolumens und unter Einbezug der lithologischen und geotechnischen Eigenschaften des Einzugsgebiets *vor einem Ereignis* (z. B. im Rahmen der Gefahrenbeurteilung).

Methodik

Nach dem Ereignis 2005 wurden in ausgewählten betroffenen Gebieten im Berner Oberland sowie in den Kantonen Ob- und Nidwalden mittels luftgestütztem Laserscanverfahren detaillierte Geländemodelle erhoben. Anhand eines Vergleichs dieser Modelle mit entsprechenden, vor dem Hochwasser 2005 erhobenen Grundlagen, werden die Möglichkeiten zur Bestimmung von Feststoffbilanzen entlang ausgewählter betroffener Gerinne aufgezeigt. Im Weiteren wird anhand des Ereignisses eine einfache Berechnungsmethode für die Abschätzung von Geschiebefrachten bei fluvialem Transport in Gebirgsflüssen und Wildbächen diskutiert und der Einfluss von Niederschlag und geotechnischen Eigenschaften auf die Aktivität von Wildbächen untersucht.

Auswahl der Fallbeispiele

Für die vertiefte Analyse wurden Fliessgewässer ausgewählt, die während des Hochwassers 2005 besonders viel Geschiebe transportierten (Rickenmann et al., 2007). Die Fliessgewässer wurden in Abhängigkeit ihrer Einzugsgebietsgrösse und des Längsgefälles und damit auch des Geschiebeanteils im Abfluss in drei Kategorien eingeteilt. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden primär Wildbäche mit Einzugsgebietsgrössen bis zu 25 km² und Gebirgsflüsse mit Einzugsgebieten von 25 bis 360 km² näher betrachtet.

4.6.2 Ermittlung von Feststoffbilanzen mittels LiDAR-Daten

Light Detection And Range

Das luftgestützte Laserscanverfahren LiDAR (Light Detection And Range) ist eine Fernerkundungstechnik, die es ermöglicht, eine detaillierte und genaue dreidimensionale Abbildung der Erdoberfläche zu erstellen. Der Vergleich von LiDAR-basierten Geländemodellen für den Zustand vor und nach dem Hochwasser 2005 entlang einiger betroffener Gerinne, soll die Möglichkeiten und Grenzen dieser neuen Methode zur Bestimmung von Feststoffbilanzen aufzeigen.

Messverfahren

Beim LiDAR-Messverfahren handelt es sich im Wesentlichen um eine Impulslaufzeitmessung. Üblicherweise werden die ersten Reflektionen (first echo) an Hausdächern, Baumkronen, Strommasten oder Ähnlichem als nicht-Boden Punkte interpretiert und als Grundlage zur Erstellung eines dreidimensionalen digitalen Oberflächenmodells des gescannten Bereiches verwendet. Die letzte Reflektion des Lasers beschreibt die Abbildung der Bodenpunkte. Sie dienen der Erstellung von digitalen Geländemodellen.

Verfügbare Datensätze

Zur Analyse der morphologischen Veränderungen im Zuge der Hochwasserereignisse 2005 wurden folgende LiDAR-Daten für die Gebiete Glyssibach, Chirel, Chiene und Lütschine verwendet:

- Befliegung zwischen Dezember 2005 und Januar 2006
  (Toposys GmbH im Auftrag des BAFU)
  - 1.0 m Grid (Geländemodell)
  - LiDAR-Punktdaten (Gelände und Oberfläche)

- Befliegungen für die gleichen Gebiete aus dem Zeitraum 2001 bis 2003
  (Swissphoto AG im Auftrag von swisstopo)
  - 2.5 m Grid (Geländemodell)
  - LiDAR-Punktdaten (Gelände- und Oberfläche) bis auf 2000 m ü.M.

Problematik Aufnahmezeitpunkt

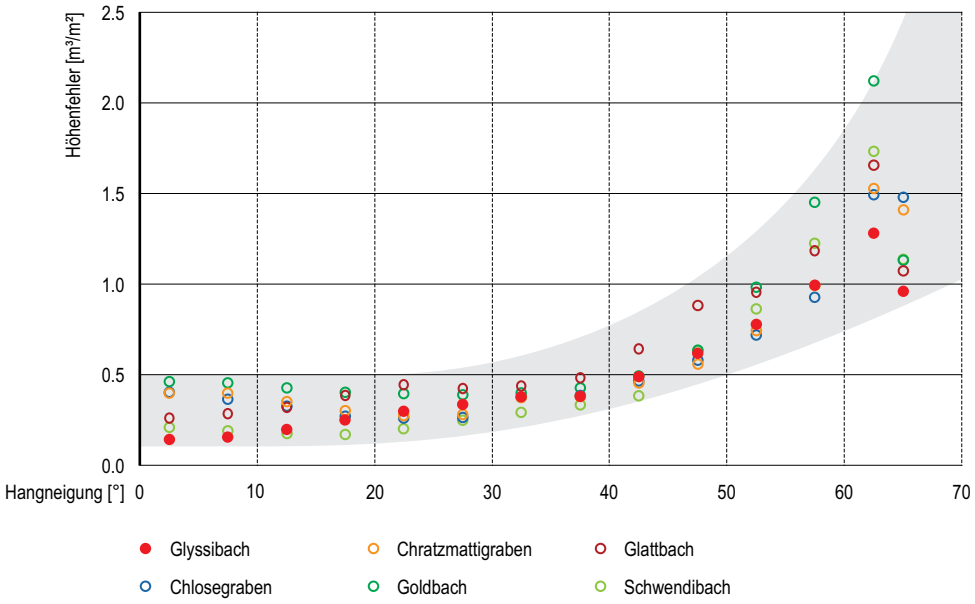
Die aus LiDAR-Daten generierten Geländemodelle entsprechen der geomorphologischen Erscheinung der Erdoberfläche zum Zeitpunkt des Fluges. Im Falle des Hochwasserereignisses 2005 konnten durch eine Subtraktion der beiden Geländemodelle aus unterschiedlichen Befliegungszeitpunkten Erosions- und Ablagerungsbereiche bestimmt werden. Allerdings wurde das abgelagerte Geschiebe nach dem Hochwasser 2005 teilweise sehr schnell geräumt, sodass, wie z. B. beim Glyssibach, nicht mehr überall alle Ablagerungen erfasst werden konnten.

Unschärfen

Bei den LiDAR-Daten können verschiedene Fehlerquellen (z. B. Gerätefehler) für jeden Punkt einen Lage- und Höhenfehler verursachen. Für die Bestimmung der Feststoffbilanzen durch den Vergleich von Geländemodellen interessiert einerseits der relative Lagefehler von bestimmten Objekten oder Flächen. Für die untersuchten Gebiete ist der relative Lagefehler deutlich kleiner als die Auflösungsgenauigkeit des 1 m Rasters (d. h. kleiner als 1.41 m). Andererseits wurden aus dem Vergleich der beiden Geländemodelle, die jeweils von Befliegungen vor und nach dem Hochwasser stammen, die Höhendifferenzen für Gebiete ohne Veränderung der Geländeoberfläche für verschiedene Hangneigungsklassen bestimmt. Daraus kann der relative Höhenfehler in Abhängigkeit der Hangneigung bestimmt werden, wie in Abb. 4.26 für das Gebiet des

Glyssibachs und fünf weitere Wildbachgebiete im Berner Oberland illustriert ist. Grundsätzlich zeigt sich für die sechs untersuchten Gebiete ein ähnlicher Verlauf des relativen Höhenfehlers, welcher ab Hangneigungen über etwa 40° deutlich zunimmt.

Abb. 4.26 > Relativer Höhenfehler in Abhängigkeit der Hangneigungsklassen für das Gebiet des Glyssibachs und fünf weitere Wildbachgebiete im Berner Oberland.



Sedimentbilanz Glyssibach

Tab. 4.8 zeigt einen Vergleich der Sedimentbilanz für den Glyssibach aus der lokalen lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE Glyssibach, 2006) und aus der LiDAR-Analyse, für die drei Hauptbereiche Rutschung Baalen, Gerinne- und Ablagerungsbereich. Die obere und untere Fehlergrenze bei der LiDAR-Analyse basiert auf einem mittleren Höhenfehler als Funktion einer mittleren Hangneigung. Auffallend ist der deutliche Unterschied der zwei Methoden für die Rutschung Baalen, während die Geschiebebilanzen für den Gerinnebereich recht gut übereinstimmen. Für den Ablagerungsbereich konnte keine LiDAR-Analyse gemacht werden, da das Murgangmaterial bereits geräumt war.

Tab. 4.8 > Sedimentbilanz für die drei Hauptbereiche mit Erosion und Ablagerung beim Murgang im Glyssibach.

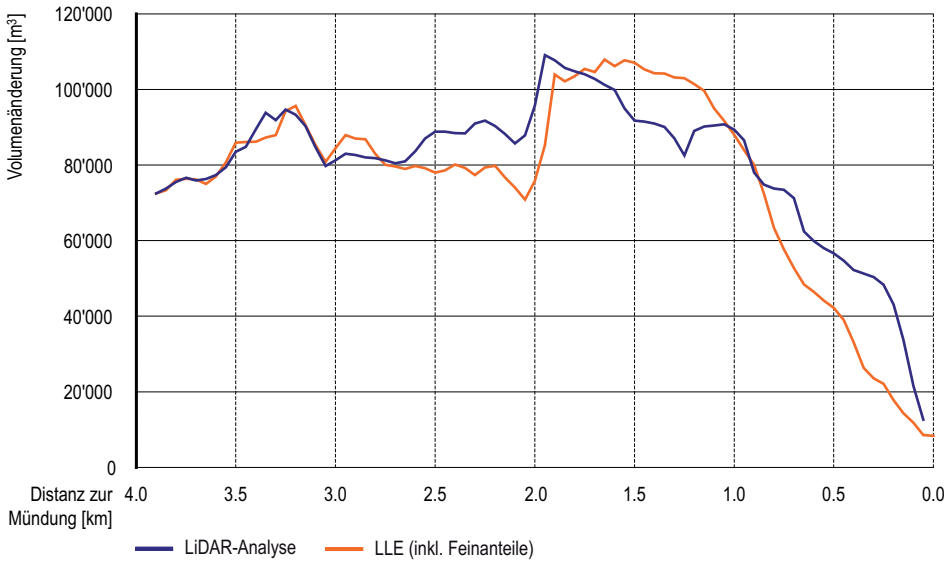
	Erosion im Bereich der Rutschung Baalen	Erosion im Gerinnebereich	Ablagerungen auf dem Kegel
LLE Glyssibach	30'000 m³	35'000–45'000 m³	50'000–80'000 m³
LiDAR-Analyse	53'700 m³ (± 6400 m³)	39'100 m³ (± 19'800 m³)	Analyse nicht möglich

Für die Gebirgsflüsse Chirel, Chiene und Lütschine wurden ebenfalls mit Hilfe eines geographischen Informationssystemes (GIS) die beiden digitalen Geländemodelle verglichen, woraus sich eine flächige Information über die morphologischen Veränderungen ergab. Zusätzlich wurden aus den LiDAR-Daten Querprofile bestimmt. Die Veränderungen in den Querprofilen konnten anhand weiterer Informationen, wie Luftbildern und Ereignisdokumentationen einfacher auf Plausibilität geprüft werden.

Für die beflogenen Bereiche der Gebirgsflüsse Chirel, Chiene und Lütschine wurden aus den Geländemodellen Geschiebefrachtdiagramme ermittelt und mit den Ergebnissen der entsprechenden lokalen lösungsorientierten Ereignisanalysen verglichen. Dabei ist ein genauer quantitativer Vergleich schwierig, da Porenanteile und der Anteil an ausgewaschenem Feinmaterial nicht oder nur ungenau bekannt sind. Abb. 4.27 zeigt als Beispiel die kumulierten Volumendifferenzen für die Chirel aus der LiDAR-Analyse im Vergleich mit der entsprechenden Summenkurve aus der LLE Diemtigtal (Schälchli, Abbeg + Hunzinger, 2006), wobei bei Letzterer das als Schwebstoffe transportierte Feinmaterial mit eingerechnet ist. Grundsätzlich zeigen die Vergleiche für die Chiene und die Lütschine ebenfalls eine qualitativ gute Übereinstimmung. Die relativen quantitativen Unterschiede zwischen Feststofffrachten aus LiDAR- und LLE-Analysen liegen für die untersuchten Gerinne (inkl. Glyssibach) in einem Bereich von ca. +/- 50 %.

Abb. 4.27 > Die aus den LiDAR-Daten ermittelten kumulierten Volumenänderungen (inklusive Feinanteile) für die Chirel im Vergleich zu der im Rahmen der LLE Diemtigtal (Schälchli, Abbeg + Hunzinger, 2006) ermittelten Summenkurve.

Die Kurven zeigen die ausgehend von der Mündung in die Simme bei km 0 kumulierten Volumendifferenzen aus Erosion und Ablagerungen entlang den untersten 4 km der Chirel.



Einsatzmöglichkeiten von LiDAR

Die im Rahmen der Ereignisanalyse betrachteten Beispiele zeigen, dass LiDAR-Daten grundsätzlich ein geeignetes Werkzeug sind, um geomorphologische Veränderungen zu erkennen und zu analysieren. Dies gilt z. B. für die Erstellung von Geschiebebilanzen entlang von Wildbächen und Gebirgsflüssen. Erosions- sowie Ablagerungsbereiche lassen sich räumlich darstellen und geben einen Überblick über die Feststoffverlagerungen. Sind LiDAR-basierte Geländemodelle für den Zustand vor einem Hochwasserereignis vorhanden und erfolgt die Befliegung rasch danach, dann stellen darauf basierte Feststoffbilanzen eine geeignete Alternative zur aufwendigeren Erstellung einer Geschiebebilanz im Rahmen von Ereignisanalysen dar. LiDAR-Daten können auch zur Bilanzierung von Schwemmholzeinträgen in Fliessgewässer bei Hochwasser beitragen (vgl. Kap. 4.4). Schwachpunkte bei der Analyse von LiDAR-Informationen sind Bereiche in steileren Lagen mit mehr als 40° Hangneigung. Hier ergeben sich aufgrund der Messfehler grössere Unsicherheiten bei der Beurteilung von Hangrutschungen und Erosionsflächen. Probleme treten bei LiDAR-Messungen an Wasserflächen auf, da bei mittleren bis hohen Abflüssen im Gerinne die Lage der Sohle nicht zu erkennen ist.

4.6.3 Abschätzung von Feststofffrachten mit einer Geschiebetransport-Formel

Grundlagen Feststofffrachten

In der ausführlichen Dokumentation (Rickenmann et al., 2008b) sind Angaben zu den transportierten Feststofffrachten für insgesamt 76 Ereignisse oder Gerinneabschnitte v. a. in Wildbächen und Gebirgsflüssen vorhanden. Die Schätzungen dieser Feststofffrachten beruhen auf Kartierungen der Ablagerungen (z. B. bei Übersarungen der Wildbachkegel), auf Rückhaltevolumen von gefüllten Geschiebesammlern, auf Auswertungen topographischer Daten aus Luftbildern und LiDAR-Befliegungen sowie auf Angaben zu Lastwagenfahrten beim Räumen der Ablagerungen. Die hier verwendeten Werte der Feststofffrachten beziehen sich auf das Grobgeschiebe.

Unschärfen Feststofffrachten

Bei den Angaben für einige grössere Flüsse wurde angenommen, dass rund 50 % der durch Erosion mobiliserten Feststoffkubaturen aus Feinmaterial bestanden; ein ähnlicher Wert von 45 % wurde bei der Ereignisanalyse des Hochwassers 1987 in der Reuss ermittelt (Bezzola et al., 1991). Die Genauigkeit der Angaben zu den transportierten Feststofffrachten ist unterschiedlich. Für die vorhandenen Daten muss von einer Unsicherheit im Bereich von einem Faktor bis zu zwei ausgegangen werden. Beim Vergleich der beobachteten Feststofffrachten mit einfachen Berechnungen geht es somit um einen Vergleich von Grössenordnungen und um das Erkennen von Trends.

Parameter

Für die weiteren Analysen wurden mithilfe der Landeskarten im Massstab 1 : 25’000 sowie aufgrund von Angaben in Ereignisberichten u. a. die folgenden Parameter bestimmt: Fläche des Einzugsgebietes oberhalb des Ablagerungsortes mit Angaben zur transportierten Feststofffracht, charakteristische Gerinnegefälle sowie Angaben zu den Abflussfrachten. Das charakteristische Gefälle bezieht sich auf die Schlüsselstrecke, also auf den Gerinneabschnitt im jeweils betrachteten Gewässer mit dem geringsten Gefälle, der somit für den Geschiebetransport limitierend wirkt. Da nur in wenigen Fällen eine gemessene Abflussganglinie vorhanden war, wurde die Abflussfracht in den Gerinnen anhand der Niederschlagsdaten abgeschätzt.

Geschiebetransportformel

Die beobachteten Feststofffrachten werden nachfolgend mit einem einfachen Ansatz zur Beschreibung des Geschiebetransportes verglichen. Der über die Hochwasserdauer integrierte Geschiebetransport in Wildbächen und Gebirgsflüssen kann anhand eines Ansatzes von Rickenmann (2001) wie folgt beschrieben werden:

$$F = 1.95\ V_w\ J^{1.5}$$

Dabei ist F die Geschiebefracht [m³], V_w die effektive Abflussfracht [m³] und J das charakteristische Gerinnegefälle. Die so abgeschätzte Geschiebefracht bezieht sich auf das während des Hochwassers transportierte Geschiebevolumen inklusive eines angenommenen Porenanteils von 30 %. Damit ist ein direkter Vergleich mit den hier verwendeten Werten der beobachteten Feststofffrachten möglich, welche ebenfalls das Porenvolumen innerhalb des abgelagerten bzw. erodierten Sedimentes enthalten und sich nur auf das Grobgeschiebe beziehen.

Niederschlagsvolumen

Aus der Analyse von MeteoSchweiz sind für das Ereignis vom August 2005 Niederschlagsdaten in einen 2 km-Raster als Tageswerte (Stationen Analyse) und in einem 1 km Raster als Stundenwerte (Radar Analyse) verfügbar (vgl. Kap. 1). Für die Periode vom 20. August 8:00 Uhr bis 23. August 8:00 Uhr wurden mit beiden Datensätzen mit Hilfe des Geoinformationssystems die durchschnittlichen Niederschlagshöhen über den jeweiligen Einzugsgebieten ermittelt. Aus diesen konnten die Niederschlagsvolumen berechnet werden. In der Ostschweiz sind die Niederschlagswerte aus der Radar Analyse durchschnittlich nur halb so gross wie jene aus der Stationen Analyse. Bei den meisten anderen Einzugsgebieten weichen die Werte maximal 25 % voneinander ab. Insgesamt sind die Unterschiede bei den grossen Einzugsgebieten geringer als bei den Kleinen. Für die hier betrachteten Einzugsgebiete resultieren während der 3-tägigen Hauptperiode aus der Radar Analyse im Durchschnitt rund 14 % geringere Niederschlagsvolumen als aus der Stationen Analyse. Für die weiteren Untersuchungen wurde hier das Niederschlagsvolumen aus den Radardaten verwendet, da diese eine stündliche Auflösung haben.

Relevanter Niederschlag

Mit den Aufzeichnungen der ANETZ Stationen, die in der Nähe der einzelnen Einzugsgebiete liegen, wurde eine relevante Niederschlagsperiode ermittelt, falls zwei zeitlich getrennte Ganglinien des Niederschlages in der Periode vom 20. August 2005 8:00 Uhr bis 23. August 2005 8:00 Uhr identifiziert werden konnten. Als relevanter Niederschlag gilt dabei die längere zusammenhängende Ganglinie des Niederschlages innerhalb des betrachteten Zeitraumes. Wenn bei einem Einzugsgebiet die nächstliegende ANETZ Station zu weit entfernt war, wurde zur Ermittlung des relevanten Niederschlages die Ganglinie der Radardaten genutzt. Für die betrachteten Einzugsgebiete liegt das relevante Niederschlagsvolumen zwischen 59 % und 98 % des Niederschlagsvolumens der drei Tage. das heisst, dass im Durchschnitt 80 % des Niederschlages während des Zeitraumes vom 20. bis 23. August ohne zeitlichen Unterbruch gefallen ist. In den meisten Gebieten dauerte dieser Niederschlag etwa 40 h, mit einer durchschnittlichen Intensität von 2.5 bis 6 mm/h.

Abflussfracht

Für Einzugsgebiete mit Abflussmessstationen bestimmten Eberhard et al. (2007) die Volumenabflusskoeffizienten für die Periode vom 18. August 2005 12:00 Uhr bis zum 23. August 2005 12:00 Uhr. Zur Ermittlung der effektiven Abflussfracht wurden die relevanten Niederschlagsvolumen der hier betrachteten Einzugsgebiete mit diesen Volumenabflusskoeffizienten, welche im Bereich von 0.41 bis 0.86 liegen, abgemindert. Die so ermittelten Abflussvolumen stellen die effektive Abflussfracht V_w dar. Nicht berücksichtigt wurde bei der Ermittlung der effektiven Abflussfracht V_w der Einfluss des Grenzabflusses für den Transportbeginn. In Anbetracht der vorhandenen Unschärfen bezüglich der beobachteten Feststofffrachten und Niederschlagsvolumen ist dieser Effekt von untergeordneter Bedeutung und somit diese Vereinfachung vertretbar.

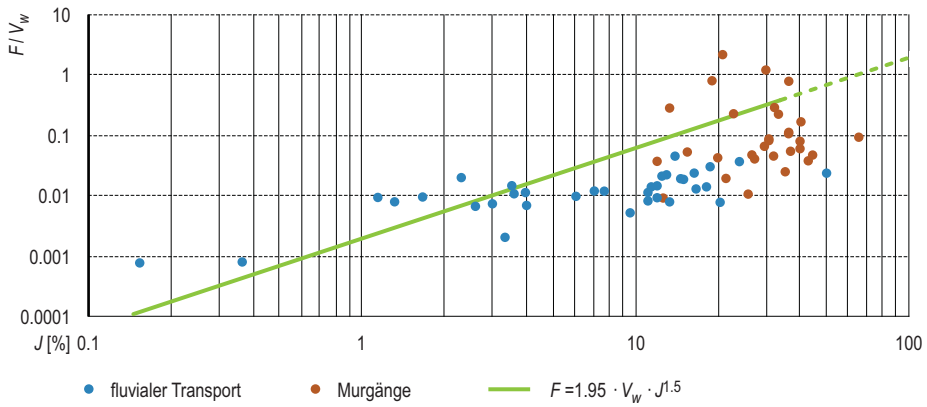
Transportprozesse

In den Untersuchungen wurde zwischen den beiden Hauptprozessen fluvialer Transport (in den Gebirgsflüssen und wenigen Talflüssen) sowie Murgängen unterschieden. Murgänge traten nur in Wildbächen auf. In einigen Fällen war eine Unterscheidung zwischen den beiden Prozessen nicht ganz eindeutig; die Klassierung erfolgte dann nach dem vermuteten dominanten Prozess.

Vergleich von Beobachtung und Berechnung

Abb. 4.28 zeigt einen Vergleich zwischen den beobachteten und den mit Hilfe der Transportformel ermittelten Geschiebefrachten. Aufgrund der grösseren Unschärfen betreffend der Niederschlagsdaten in der Ostschweiz, sind dabei die Daten aus dem Kanton Graubünden nicht berücksichtigt. Für Gerinnegefälle bis etwa 3 bis 5 % liegen in Abb. 4.28 die beobachteten Frachten mehr oder weniger in der Nähe der durch die Geschiebetransportformel gegebenen Linie. Für grössere Gerinnegefälle hingegen zeigt sich, dass die Berechnung im Falle fluvialen Geschiebetransports zu einer deutlichen Überschätzung der beobachteten Frachten führt. Bei den Murgängen liegt ein Teil der Daten im Trend der Daten für fluvialen Transport, während der andere Teil der beobachteten Frachten um die Linie der Geschiebetransportformel streut. Nur relativ wenige Murgangereignisse weisen Frachten auf, die über dem durch die Geschiebetransportformel gegebenen Niveau liegen.

Abb. 4.28 > Beobachtete Geschiebefrachten *F*, normiert mit der relevanten Abflussfracht V_w, in Abhängigkeit des charakteristischen Gerinnegefälles J im Vergleich mit der einfachen Geschiebetransportformel.



Gründe für Abweichungen

Die bei den Hochwassern vom August 2005 in der Schweiz beobachteten Geschiebefrachten sind ab Gerinnegefällen von mehr als etwa 5 % deutlich geringer als die mit der einfachen Geschiebetransportformel berechneten Werte. Ein wichtiger Grund dafür dürfte sein, dass mit der einfachen Geschiebetransportformel die verfügbare Abflussenergie überschätzt wird, weil z. T. bedeutende Anteile des Fliesswiderstandes infolge von Formverlusten durch ausgeprägte Sohlstrukturen und grobe Blöcke nicht berücksichtigt werden. Ein anderer wichtiger Grund für die Abweichungen dürfte die oft begrenzte Geschiebeverfügbarkeit in steileren Gerinnen sein, welche dazu führt, dass die Transportkapazität nicht ausgeschöpft werden kann. Diese möglichen Einflussfaktoren sind in der Sedimenttransportforschung schon länger bekannt. Eine Quantifizierung der Formverluste ist aber schwierig. Ansatzweise konnten diese Verluste anhand von bachtungen zum Geschiebetransport bei vorwiegend kleineren Abflussintensitäten beschrieben werden (Rickenmann, 2001; 2005). Zur Quantifizierung der Formverluste in steilen Gerinnen bei Hochwasser gibt es aber bisher nur wenige Studien (Rickenmann et al., 2006). In diesem Sinne sind die Daten zu den Hochwassern vom August 2005 in der Schweiz eine wertvolle Grundlage für weiterführende Untersuchungen.

4.6.4 Einfluss von Lithologie, Geotechnik und Niederschlag auf die Wildbachaktivität

Grundlagen

Im August 2005 führten die hohen Abflussspitzen und die grossen Wasserfrachten dazu, dass grosse Mengen an Feststoffen transportiert und umgelagert wurden. Innerhalb des Hauptniederschlagsgebietes waren die meisten Gebirgsflüsse betroffen. Bei den Wildbächen wurden insgesamt 54 Ereignisse erfasst, bei welchen in der Regel mehr als 5000 m³ Feststoffe verfrachtet wurden. Dabei handelt es sich in 35 Fällen um Murgänge und in 19 Fällen um fluvialen Feststofftransport. Die entsprechenden Gerinne werden hier als aktive Wildbäche bezeichnet. Es fällt auf, dass in den Einzugsgebieten der Gebirgsflüsse viele Wildbäche nicht oder nur wenig aktiv waren. Ziel dieses Teils der Untersuchung ist die Identifikation von Faktoren, welche den Unterschied zwischen aktiven und nicht aktiven Wildbachgebieten zumindest teilweise erklären könnten. Die wichtigsten Faktoren für das Auftreten von Murgängen oder Geschiebetransport in Wildbächen sind die Topographie (Gerinneneigung), der Niederschlag (Bodensättigung, Oberflächenabfluss) und die geologisch-geotechnischen Eigenschaften des Festgesteins und Lockermaterials.

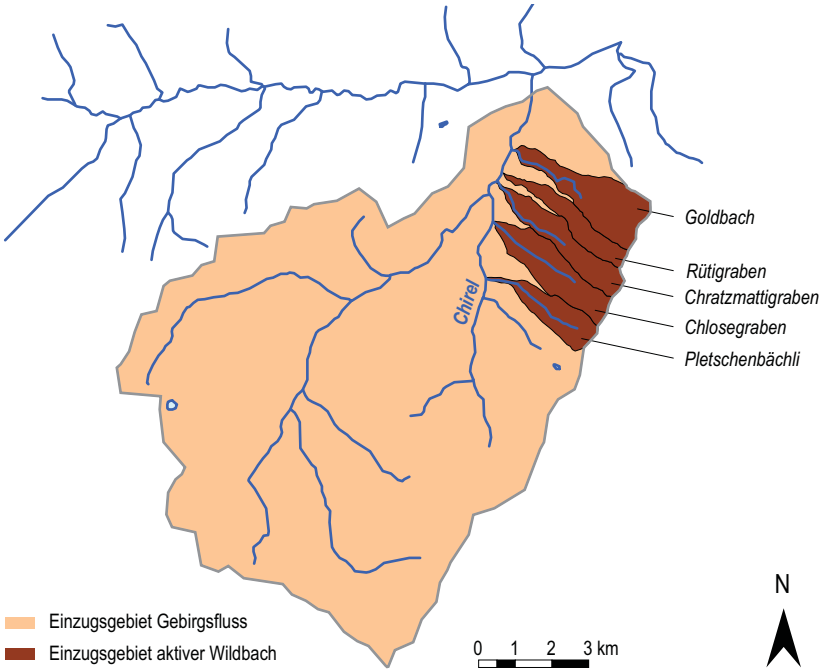
Einflussfaktoren

Die aktiven und nicht aktiven Wildbachgebiete wurden in vereinfachter Weise unter Verwendung folgender Einflussfaktoren untersucht: aufsummierter Niederschlag während der 3-tägigen Hauptperiode sowie lithologisch-geotechnische Eigenschaften des Festgesteins und Lockermaterials. Für die aktiven Wildbachgebiete wird zudem das mittlere Gefälle des Hauptgerinnes berücksichtigt. Die Niederschlagsintensität als Funktion von Ereignisdauer und Niederschlagssumme wurde ebenfalls betrachtet, brachte aber keine neuen Erkenntnisse (Rickenmann et al., 2008a).

Definition aktiver Wildbachgebiete

Als aktiv gelten jene Wildbachgebiete, in welchen wesentliche Geschiebemengen mobilisiert wurden. Die nicht aktiven Wildbachgebiete zählen zum restlichen Einzugsgebiet eines Gebirgsflusses (Abb. 4.29) und weisen keine oder keine starke Feststoffmobilisierung auf.

Abb. 4.29 > Definition der nicht aktiven Einzugsgebiete eines Gebirgsflusses und der aktiven Wildbach-Einzugsgebiete im Gebiet des gleichen Gebirgsflusses (Beispiel Chirel).



Untersuchte Gebiete, Niederschläge

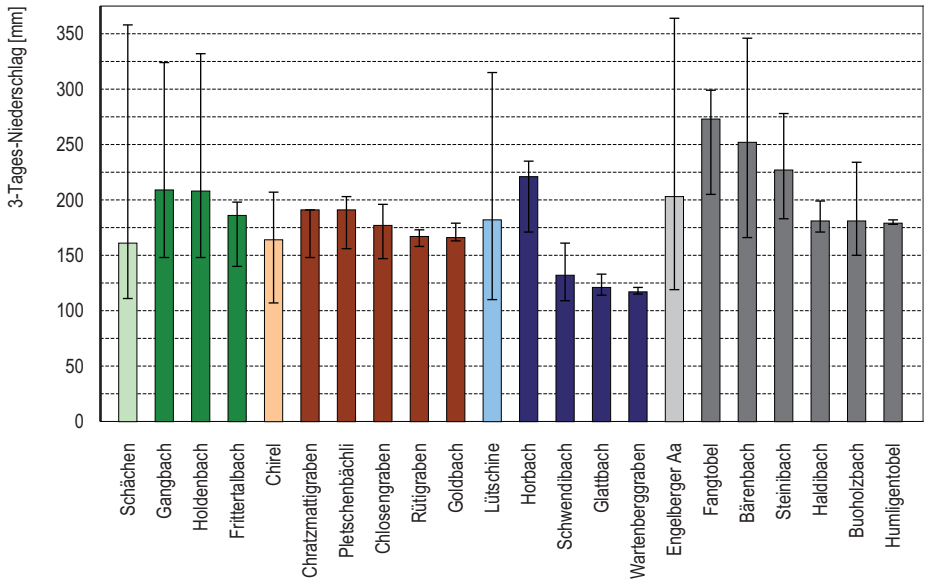
Für die vorliegenden Untersuchungen zur Wildbachaktivität wurden die Einzugsgebiete folgender Gebirgsflüsse betrachtet: Chirel, Lütschine, Engelberger Aa und Schächen. In diesen Gebirgsfluss-Einzugsgebieten waren jeweils nur zwischen 9 und 23 % der Wildbäche (nach Fläche bzw. Anzahl) aktiv, während alle anderen Wildbäche im gleichen Gebirgsfluss-Einzugsgebiet während des Hochwassers 2005 nicht (oder nur wenig) aktiv waren. Abb. 4.30 zeigt die Gebietsniederschläge (3-Tages-Niederschläge) aus der Radar Analyse für die Periode vom 20.8.2005 8:00 Uhr bis zum 23.8.2005 8:00 Uhr sowie die räumlichen Minimal- und Maximalwerte für die gleiche Periode. Aufgrund der Niederschläge allein zeigen sich keine deutlichen Unterschiede. Die Niederschläge sind zwar in allen aktiven Wildbächen des Schächen und der Chirel grösser als in den entsprechenden nicht aktiven Teilen des Einzugsgebietes, die Differenzen sind aber meist gering und erreichen maximal 30 %. Bei der Lütschine und Engelberger Aa weisen mindestens die Hälfte der aktiven Wildbäche geringere Niederschläge auf als die nicht aktiven Teile des Einzugsgebietes.

Geotechnische Karte

Zur Untersuchung möglicher anderer Einflüsse auf die Wildbachaktivität wurden zusätzlich die lithologisch-geotechnischen Eigenschaften der Einzugsgebiete betrachtet. Dazu wurde die Geotechnische Karte der Schweiz verwendet, welche für den Einsatz in ArcInfo aufbereitet ist. Dort sind 30 Klassen der vereinfachten Geotechnischen Karte (BFS GEOSTAT/BUWAL, undatiert) enthalten (siehe auch Rickenmann et al., 2008b).

Abb. 4.30 > Kumulierter 3-Tages-Niederschlag für den nicht aktiven Teil der Gebirgsfluss-Einzugsgebiete (helle Farbtöne) und für die aktiven Wildbach-Einzugsgebiete (dunkle Farbtöne).

Zusätzlich angegeben sind die räumlichen Minimal- und Maximalwerte.



Verwitterungsanfälligkeit

Für die vereinfachte Geotechnische Karte wurden anhand einer qualitativen Klassierung der Anfälligkeit auf mechanische Verwitterung sechs Klassen mit Indexwerten von 1 (geringe Anfälligkeit) bis 6 (grosse Anfälligkeit) gebildet. Mit diesen Indexwerten wurde ein flächengewichteter Mittelwert für die Untersuchungsgebiete berechnet. Diese Mittelwerte zeigen aber nur geringe Unterschiede zwischen den aktiven und den nicht aktiven Teilen für ein gegebenes Gebirgsfluss-Einzugsgebiet und liefern somit keinen Hinweis auf unterschiedliche Wildbachaktivität.

Im Weiteren wurden sowohl für die aktiven als auch für die nicht aktiven Einzugsgebiete die relativen Flächenanteile jeder geotechnischen Einheit am gesamten Einzugsgebiet berechnet. In einem zweiten Schritt wurden diese Flächenanteile getrennt für Zonen mit gleicher Niederschlagssumme (mit Klassenbreiten von 10 mm) bestimmt. Für Gebiete, in welchen eine geotechnische Einheit einen auffällig hohen Flächenanteil aufweist, wurde auch untersucht, ob diese Einheit am Gerinne anliegt (Gerinneanstoss).

Trends

Es zeigt sich die Tendenz, dass z. B. die Geotechnische Einheit «Mergelschiefer bis Kalkphyllite» bei den aktiven Gebieten der Chirel generell grössere Flächenanteile mit Gerinneanstoss aufweist als in den nicht aktiven Gebieten. Eine ähnliche Feststellung gilt auch für gewisse Teile in aktiven Gebieten der Lütschine für die Geotechnischen Einheiten «Mergelschiefer bis Kalkphyllite» und «Kalke, Sandkalke bis Kieselkalke, u. a. mit Mergelschiefern», sowie im Einzugsgebiet des Schächen für die Einheit «Bedeutende Lagen von Mergelschiefern und Mergelkalken». Diese Beobachtungen könnten ein Hinweis sein, dass das Vorhandensein gewisser geotechnischer Einheiten

für die Wildbachaktivität in den betroffenen Gebieten mitverantwortlich ist. Die drei genannten Einheiten beinhalten alle auch Mergelschiefer. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte aber nicht überprüft werden, ob aus den Gerinneabschnitten im Bereich dieser geotechnischen Einheiten auch wesentliche Feststoffmengen mobilisiert wurden.

4.6.5 Folgerungen

Feststoffbilanzen auf Grund von LiDAR-basierten Geländemodellen

Mit Geländemodellen aus LiDAR-Daten konnten für einige vom Hochwasser 2005 betroffene Gerinnebereiche plausible Feststoffbilanzen erstellt werden. Solche Auswertungen erscheinen bei Gebirgsflüssen und Wildbächen mit Gerinnegefällen bis ca. 40° sinnvoll. Hingegen ist bei steileren Gefällen grundsätzlich mit grösseren Fehlern in den Höhenlagen zu rechnen. Die LiDAR-basierten Geländemodelle sollten mit weiteren Informationen wie Luftbildern oder Ereignisdokumentationen auf ihre Plausibilität geprüft werden. Wichtig ist auch eine rasche Befliegung unmittelbar nach einem Hochwasserereignis, damit Feststoff-Ablagerungen möglichst in ihrer ursprünglichen Form erfasst werden können.

Abschätzung von Ereignisfrachten mittels Geschiebetransportformeln

Bei fluvialem Transport in Gebirgsflüssen mit Gerinnegefällen bis etwa 5 % können die Geschiebefrachten bei Hochwasserereignissen in guter Näherung anhand des Abflusses und des Gerinnegefälles abgeschätzt werden. Bei Gerinnegefällen grösser als ca. 5 % ergibt sich hingegen mit dem gleichen Ansatz eine Überschätzung der Geschiebefrachten bis zu etwa einer Grössenordnung. Mögliche Gründe dafür sind bedeutende Formverluste, welche die für den Geschiebetransport verfügbare Abflussenergie vermindern, sowie eine begrenzte Geschiebeverfügbarkeit in steileren Gerinnen. Bei murgangartigem Transport oder bei Murgängen ergibt die gleiche Methode eine brauchbare Annäherung für die Abschätzung der Feststofffrachten bei «grösseren» Ereignissen.

Wildbachaktivität

In den Einzugsgebieten der Gebirgsflüsse wiesen beim Hochwasser 2005 anteilsmässig nur wenige Wildbachgebiete eine grosse Feststofftransportaktivität auf. Die Unterschiede zu den nicht aktiven Wildbachgebieten können nur teilweise mit höheren Niederschlagssummen erklärt werden. Bei der Analyse zum Auftreten von Wildbachereignissen (und der Feststofffrachten) wurden auch die geotechnischen Eigenschaften der Einzugsgebiete betrachtet. Daraus ergeben sich Hinweise, dass einige Gebiete mit Mergelschiefer eine grössere Bereitschaft zur Wildbachaktivität haben könnten. Zur genaueren Bestimmung der Rolle der verschiedenen Einflussfaktoren sind aber noch detailliertere Untersuchungen nötig.

4.7 Erkenntnisse

Unterschiedliche Reaktion der Wildbäche nicht durch Niederschlag allein erklärbar

Die im Niederschlagsgebiet liegenden Wildbäche haben 2005 unterschiedlich reagiert. Anteilsmässig waren vergleichsweise wenige Wildbachgebiete aktiv. Diese wiesen aber eine grosse Feststofftransportaktivität auf. Der Vergleich zwischen aktiven und inaktiven Wildbachgebieten zeigt, dass die unterschiedliche Reaktion nur teilweise durch Unterschiede im Niederschlag erklärt werden kann. Aus dem Einbezug der geotechnischen und lithologischen Eigenschaften ergibt sich, dass insbesondere das Vorhandensein von Mergelschiefern die Bereitschaft zu Wildbachaktivität erhöht haben könnte, liefert aber noch keine abschliessende Erklärung für alle Beobachtungen. Bezüglich des Verhaltens von Wildbächen bei länger anhaltenden Niederschlägen und insbesondere hinsichtlich gebietsspezifischer Niederschlags-Schwellwerte besteht nach wie vor erheblicher Forschungsbedarf.

Geschiebefrachten lassen sich bei Wildbächen mit einem Gefälle von mehr als 5 % nach dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht genügend genau berechnen. Hier müssen noch bessere Methoden entwickelt werden.

Ereignisfracht viermal grösser als Frachten von 1987 und 1999

Die rekonstruierten Ereignisfrachten bewegen sich im Falle der Kleinen Emme und der Reuss unterhalb von Luzern um 120’000 bis 130’000 m³. Sie sind damit in einer ähnlichen Grössenordnung wie die in diesen Flüssen während des gesamten Jahres 1999 transportierten Frachten. Die Ereignisfracht der Reuss bei Amsteg ist mit einigen Unschärfen verbunden. Sie bewegt sich in der Grössenordnung von 200’000 m³ und ist damit 4-mal grösser als die Fracht des Hochwassers von 1987. In der Aare bei Bern wurde 2005 etwa die Hälfte der Fracht des Hochwassers von 1999 transportiert.

Ablagerungen vorherrschend

In den untersuchten Gebirgs- und Talflüssen mit einer Länge von insgesamt knapp 400 km bewegen sich die mittleren Änderungen infolge Erosion und Auflandung durchwegs im Dezimeter-Bereich, die Maximalwerte liegen mehrheitlich zwischen 0.5 und 1 m. In allen betrachteten Flüssen finden sich zwar im Wechsel sowohl Erosions- als auch Auflandungsstrecken. Im Gegensatz zum langjährigen Erosionstrend, der in den meisten Fliessgewässern normalerweise vorherrscht, überwiegen beim Hochwasser 2005 fast ausnahmslos Ablagerungen.

Ereignisfracht entspricht 6 bis 15 Jahresfrachten

In den fünf detaillierter untersuchten Flüssen wurde während des Hochwassers vom August 2005 jeweils eine Geschiebemenge transportiert, die dem 6 bis 15-fachen einer mittleren Jahresfracht entspricht.

Seitenerosion oft durch Flusscharakter vorbestimmt

Der 2005 in Gebirgs- und Talflüssen dominierende Prozess der Seitenerosion lässt sich oft auf den Flusscharakter oder auf das Auftreten bestimmter Gerinneprozesse zurückführen. Eine grosse Zahl potenzieller Seitenerosionsstellen ist daher grundsätzlich a priori als solche erkennbar. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden die 2005 eingetretenen Erosionen, jedoch nicht die in ähnlichen Situationen nicht eingetretenen Erosionen untersucht. Deshalb sind keine Aussagen möglich, wann die Erosion bei einer potenziellen Seitenerosionsstelle auch tatsächlich einsetzt und wann nicht. Angesichts der grossen Zahl an Erosionsstellen mag es erstaunen, dass im August 2005

nicht bedeutend mehr Bauten, Infrastrukturen und Verkehrsträger durch Seitenerosion betroffen waren. In diesem Zusammenhang muss sicher auch von Glück gesprochen werden.

Seitenerosion vermehrt beachten

Die 2005 beobachteten Erosionslängen und Rückgriffweiten sind bedeutend, entsprechen aber letztlich der Erosionsleistung und der Dauer des aufgetretenen Abflusses. Das Hochwasser 2005 zeigt, dass dem Prozess der Seitenerosion jedoch v. a. im Zusammenhang mit längeren Ereignisdauern bei der Gefahrenbeurteilung vermehrt Beachtung zu schenken ist. Die Ereignisanalyse liefert hierzu wichtige Kenngrössen. Die vorhandenen Unschärfen und offenen Fragen zeigen aber auch noch erheblichen Forschungsbedarf.

Schwemmholz gehört zum Hochwasser

Das Ereignis vom August 2005 zeigte einmal mehr, dass mit der Mobilisierung von grossen Feststoffmengen auch die Mobilisierung grösserer Schwemmholzmengen einhergeht. Im Vergleich zu früheren Ereignissen sind die beobachteten Schwemmholzmengen nicht ausserordentlich. Die Problematik besteht daher eher bei der grossen Anzahl potenzieller Engstellen entlang der Fliessgewässer, bei welchen sich das Holz ansammeln und zu Verklausungen führen kann. Schwemmholz gehört zu grossen Hochwasserereignissen und es gilt in erster Linie, potenzielle Schwachstellen zu entschärfen und das Holz – wo immer möglich – weiterzuleiten und an geeigneten Stellen abzulagern bzw. zu entnehmen.

Erosion und Umlagerung zentral für die Verjüngung von Auen

Bezüglich der Auswirkungen des Hochwassers 2005 auf die untersuchten Auengebiete lässt sich ein differenziertes Bild zeichnen. Bei den an Gebirgsflüssen liegenden Gebieten sind die morphologischen Veränderungen durch Erosion und Auflandungen deutlich ausgeprägter, als bei den an Talflüssen liegenden Gebieten. Die mit den morphologischen Veränderungen verbundene Dynamik ist aus ökologischer Sicht sehr positiv zu beurteilen – sie ermöglicht die für eine Aue so wichtige Verjüngung. Das Hochwasser wirkt in diesem Sinne wie eine spontane Revitalisierung. Bei Auen in Talflüssen oder in Auengebieten mit teilweise verbautem Flusslauf dominiert hingegen die Ablagerung von Feinsedimenten, wodurch das den Fluss umgebende Auengebiet sukzessive angehoben wird und so zunehmend eine Entkoppelung der Aue vom Fluss resultiert.

Insgesamt kein unerwartetes Bild

Die durch das Hochwasser 2005 eingetretenen morphologischen Veränderungen und die umgelagerten Geschiebe- und Schwemmholzkubaturen ergeben insgesamt kein unerwartetes Bild. Sie widerspiegeln das Ergebnis eines seltenen Hochwassers, dessen Spitzenabfluss genügend hoch war, die Schwelle für die Tiefen- und Seitenerosion zu erreichen. Deshalb und wegen seiner langen Dauer wurden aussergewöhnliche Feststoff- und Holzmengen mobilisiert und umlagert.

Literatur:

Bezzola G.R., Hunziker R., Jäggi M. 1991: Flussmorphologie und Geschiebehaushalt während des Ereignisses vom 24./25. August 1987 im Reusstal. In: Mitteilung Nr. 4 des Bundesamtes für Wasserwirtschaft sowie Mitteilung Nr. 14 der Landeshydrologie und -geologie, Bern: 101–105.

Bigler AG., Schächli – Abbeg + Hunzinger, Theiler Landschaft GMBH 2006: Bericht Hochwasserschutz Chärstelenbach, Abschnitt Bristen. Amt für Tiefbau, Wasserbau Kanton Uri.

BFS GEOSTAT/BUWAL 1990: Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz, zusammengefasst von geo7 aus der geotechnischen Karte der Schweiz, Erfassung auf Arc/Info (unveröffentlicht).

Cosandey A.-C., Roulier C., Thielen R. 2007: Crues 2005, évaluation des changements dans les zones alluviales. Rapport technique. Service conseil Zones alluviales. Yverdon-les-Bains, Berne.

Eberhard A., Diezig R., Kan C., Sigrist B. 2007: Hydrologie Fliessgewässer. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 39–70.

Fischer M. 2006: Untersuchung über den Zusammenhang zwischen dem Waldflächenverlust und der Schwemmholzproblematik am Beispiel Klosters. Semesterarbeit im Diplomstudiengang 2004 Umweltineurwesen, Hochschule Wädenswil HSW. Zürcher Fachholschule: 20 S.

Flussbau AG SAH 2008: Schlussbericht zum Teilprojekt Prozesse in Gebirgs- und Talflüssen. Ereignisanalyse Hochwasser 2005 (unveröffentlicht).

Gallandat J.-D., Gobat J.-M., Roulier C. 1993: Cartographie des zones alluviales d'importance nationale. Cahier de l'environnement, 199. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Berne: 112 pp.

Gilvear D.J., Bravard J.P. 1993: Dynamique fluviale. In: Masson S.A. (Ed.): Hydrosystèmes fluviaux, Amoros C., Petts G.E., Paris: 61–80.

Gobat J.-M., Havlicek E., Cosandey A.-C., Roulier C., Carraro G. 2007: Recherche Flood'Alps – Les plaines alluviales de l'arc alpin entre sécurité et biodiversité – Rapport final d'application. Université de Neuchâtel, Laboratoire Sol & Végétation. Neuchâtel: 102 pp.

Heiniger P., Petrascheck A. 2003: Schwemmholz und Hochwasserschutz. Wasser, Energie, Luft, 95 (11/12): 373–374.

Hering D., Reich M. 1997: Bedeutung von Totholz für Morpholohie, Besiedlung und Renaturierung mitteleuropäischer Fliessgewässer. Natur und Landschaft 72, Nr 9: 383–389.

Kull P. 2007: communication personnelle, 19 septembre 2007: Amt für Natur- und Landschaftschutz, Kanton Luzern.

NDR Consulting Zimmermann, Thun; Niederer + Pozzi AG, Uznach 2006: Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Glyssibach. Bericht zum Vorprojekt, im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Bern: 44 S.

Rickenmann D. 1997: Schwemmholz und Hochwasser, Wasser, Energie, Luft 89 (5/6): 115–119.

Rickenmann D. 2001: Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. Water Resources Research, 37 (12): 3295–3305.

Rickenmann D. 2005: Geschiebetransport bei steilen Gefällen. In: Tagungspublikation zu VAW 75 Jahre, Festkolloquium 7. Oktober 2005, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 190: 107–119.

Rickenmann D., Chiari M., Friedl K. 2006: SETRAC – A sediment routing model for steep torrent channels. In: Ferreira R., Alves E., Leal J., Cardoso A. (Ed.): River Flow 2006, Taylor & Francis, London: 843–852.

Rickenmann D., Hunzinger L., Cosandey A.-C. 2007: Gerinneprozesse. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 163–180.

Rickenmann D., Hunzinger L., Koschni A. 2008a: Hochwasser und Sedimenttransport während des Hochwassers vom August 2005 in der Schweiz. In: Internationales Symposium Interpraevent 2008, Dornbirn, Österreich. Band 1: 465–476.

Rickenmann D. et al. 2008b: Schlussbericht zum Teilprojekt «Vertiefung Wildbäche», Ereignisanalyse Hochwasser 2005 (in Vorbereitung).

Rickli C., Bucher H. 2006: Schutzwald und Schwemmholz in Wildbacheinzugsgebieten. FAN – Agenda, 06 (1): 17–20.

Schälchli, Abegg + Hunzinger 2006: Hochwasser 2005 im Diemtigtal. Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE). Im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Bern: 53 S. + Anhang.

Service conseil Zones alluviales (à paraître): Handbuch Erfolgskontrolle Auen. Service conseil Zones alluviales. Yverdon-les-bains, Berne.

Waldner P., Rickli C., Köchli D., Usbeck T., Schmocker L., Sutter F. 2007: Schwemmholz. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 181–194.

Wasson J.-G., Malavoi J.-R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L. 1998: Impacts écologiques de la chenalisation des rivières. Gestion des milieux aquatiques. Cemagref.

5 > Ausgewählte Phänomene im Zusammenhang mit Bauwerken

Räumlich stark ausgedehnte Ereignisse wie das Hochwasser 2005 bringen es mit sich, dass eine grosse Anzahl von Bauwerken gleichzeitig durch ein einziges Ereignis betroffen ist. Deshalb ist auch die Wahrscheinlichkeit grösser, bei solchen Ereignissen Phänomene zu beobachten, die sonst eher selten auftreten. In diesem Kapitel werden ausgewählte Beispiele entsprechender Phänomene erläutert, welche in Zukunft eine grössere Beachtung verdienen.

5.1 Einleitung

Ansammlung, Verklausung, Räumung und Entsorgung von Schwemmholz

Ansammlungen von Schwemmholz und Verklausungen bei Brücken und Wehren führten im August 2005 vielerorts zu einer Verschärfung der Situation. Im Bestreben, den durch Holz verlegten Abflussquerschnitt während des Ereignisses wieder frei zu räumen, setzten sich mancherorts die Interventionskräfte grosser Gefahr aus. Nach dem Abklingen des Hochwassers verursachte die Räumung und Entsorgung des Holzes erheblichen Aufwand. In Kap. 5.2 werden deshalb typische Schwachstellen im Zusammenhang mit Schwemmholz vertieft analysiert. Im Vordergrund stehen dabei Brücken und Wehre. Zudem sollten auch die Erfahrungen im Zusammenhang mit der Intervention sowie bei der Räumung und Entsorgung des Holzes zusammengetragen und gesamthaft dargestellt werden.

Instationäre Wellen – Fallbeispiel Kleine Schliere

In der Kleinen Schliere bei Alpnach wurde die Bildung instationärer Wellen beobachtet. Dieses eindrückliche hydraulische Phänomen führt zu einer markanten Reduktion der Abflusskapazität. Die Ursachen und Gründe, die zur Bildung solcher Wellen führen, werden anhand des Fallbeispiels der Kleinen Schliere in Kap. 5.3 untersucht. Das Verständnis des Phänomens ist entscheidend, um geeignete Massnahmen gegen derartige Abflusszustände entwickeln zu können bzw. die Möglichkeit ihres Auftretens in anderen Gewässern beurteilen zu können.

Eintreten «des Undenkbaren» – der Überlastfall Obermatt

Die Vorgänge rund um das Ausgleichsbecken Obermatt an der Engelberger Aa sind ein Paradebeispiel für das Eintreten «des Undenkbaren». Der Ausbruch der Engelberger Aa in das durch einen Erddamm eingefasste Becken führte zum Überströmen des Beckendamms und zu einer Überlastung der Anlage. Das Ziel der in Kap. 5.4 erläuterten Fallstudie ist es, zu verstehen wie es zu dieser Situation kam, welche Gefahr von ihr ausging und mit welchen Massnahmen sich solche unkontrollierbaren Situationen vermeiden lassen. Die Anordnung des Ausgleichsbeckens Obermatt ist typisch für weitere Anlagen, für welche die Ergebnisse der Fallstudie somit auch relevant sein können.

5.2 Interaktion von Schwemmholz mit Hindernissen

Lukas Schmocker, Daniela Lange, Peter Waldner

5.2.1 Einführung

Holzansammlungen und Verklausungen durch Schwemmholz führten während dem Hochwasser vom August 2005 an verschiedenen Orten zu einer Verschärfung der Situation. Nachfolgend wird auf die Prozesse eingegangen, die für die Ablagerung von Schwemmholz massgebend waren. Im Weiteren werden die Mechanismen, die zu Verklausungen an Brücken und Wehren führten, analysiert. Die Transportprozesse von Schwemmholz während des Augusthochwassers 2005 werden nicht näher betrachtet, da einerseits praktisch keine Angaben vorhanden sind und anderseits aus den wenigen Beobachtungen keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

5.2.2 Ablagerungsprozesse

Ablagerungsorte

Während des Hochwasserereignisses vom August 2005 führten die betroffenen Gebirgs- und Talflüsse grosse Mengen an Schwemmholz mit. Dieses wurde z. T. über lange Strecken transportiert und weit entfernt vom Eintragungsort abgelagert, wobei grundsätzlich zwei verschiedene Ablagerungsprozesse unterschieden werden können. Zum einen kam es an Engstellen (z. B. bei Brücken und Wehren) aufgrund eines für die schadlose Durchleitung zu kleinen Querschnittes zur Ansammlung von Schwemmholz. Im ungünstigsten Fall führte dies zur Verlegung des gesamten Abflussquerschnittes (Verklausung), woraufhin an einigen Orten Gerinneausbrüche und Überschwemmungen resultierten. Zum anderen wurde das von den Flüssen mitgeführte Schwemmholz abgelagert (z. B. in Seen und Flussaufweitungen), weil die Bedingungen für den Schwemmholztransport (Strömung, Fliesstiefe) nicht mehr gegeben waren. Nachfolgend wird auf beide Ablagerungsprozesse genauer eingegangen. Die technischen Massnahmen zum Schwemmholzrückhalt, wie z. B. Rechen oder Geschiebesammler, werden in Kap. 7.4 näher betrachtet.

5.2.3 Ablagerung an Brücken

Schadensprozesse

Entlang der betroffenen Gebirgsflüsse wurde beim Augusthochwasser 2005 verschiedentlich der gesamte Brückenquerschnitt verklaust (z. B. an der Chiene, Chirel, Grosse Melchaa). Infolge der grossen Strömungsenergie verkeilte sich das Schwemmholz und türmte sich vor den Brücken auf (Abb. 5.1). Der daraus resultierende Aufstau führte dazu, dass an vielen Stellen die Flüsse über die Ufer traten. Die Ausuferungen hatten bei mehreren Brücken auch Erosionen zur Folge (z. B. bei der Brücke der Brünigbahn in Sarnen). Den hohen Belastungen infolge der durch eine Verklausung noch erhöhten horizontalen Strömungskraft konnten verschiedene Brücken nicht standhalten und wurden vollständig zerstört. z. T. reichte bereits die Anprallkraft des angeschwemmten Holzes aus, um eine Brücke stark zu beschädigen oder gar wegzureissen.

Einfluss des Geschiebes

Einen massgebenden Einfluss auf das Entstehen einer Verklausung in Gebirgsflüssen hatten auch die grossen Mengen an transportiertem Geschiebe. Geschiebeablagerungen im Bereich der Brücken führten zur Verkleinerung des Durchflussquerschnittes und begünstigten so das Hängenbleiben des Holzes. So kam es z. B. bei abnehmendem Abfluss in der Chirel und gleichzeitig steigendem Abfluss in deren Vorfluter Simme zu einem Rückstau in der Chirel und infolgedessen zu Geschiebeablagerungen im Gerinne. Die Geschiebefront wanderte aufwärts und reduzierte die Durchflussquerschnitte der Brücken über die Chirel (geo7 und Schälchli, Abegg + Hunzinger, 2006). Bei Talflüssen traten bei Brücken keine Verklausungen auf, da die Brücken grosse lichte Höhen und Breiten aufweisen. Verschiedene Brücken wurden jedoch durch anprallendes Schwemmholz beschädigt und z. T. kam es zu kleinen Holzansammlungen an den Pfeilern oder Widerlagern (Abb. 5.2).

Abb. 5.1 > Verklausung der Eisenbahnbrücke über die Grosse Melchaa in Sarnen OW.

Es kam zur Verklausung des gesamten Gerinnequerschnittes und die Brücke wurde kurze Zeit später aufgrund der Erosion an den Widerlagern weggerissen.

Foto: Kt. OW

Abb. 5.2 > Beschädigung der Holzbrücke über die Reuss in Sins AG durch anprallendes Schwemmholz.

Schwemmholzansammlung am Pfeiler.
Es kam zu keiner Verklausung, da die Bäume unter der Brücke durchgedrückt wurden.

Foto: Amt für Tiefbau Kt. ZG

Untersuchte Flussabschnitte

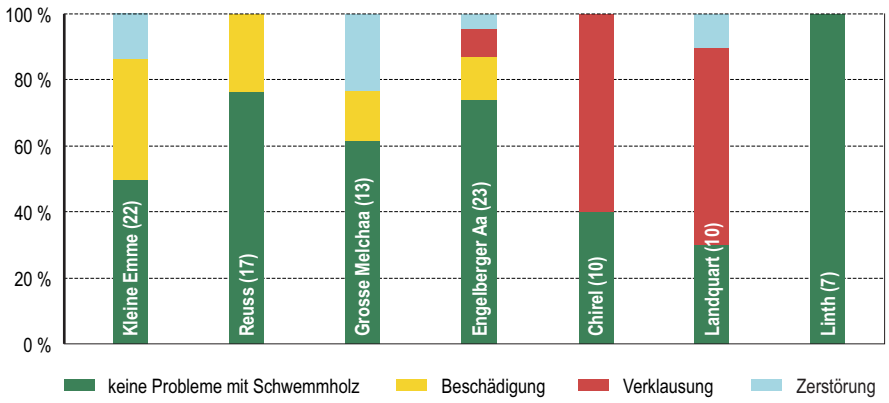
Für die Flüsse Kleine Emme, Reuss, Grosse Melchaa, Engelberger Aa, Chirel, Landquart und Linth wurde abgeschätzt, an wie vielen der vorhandenen Brücken es während des Hochwassers 2005 zu Beschädigungen durch Schwemmholz kam (Abb. 5.3). Dabei wurden diejenigen Flussabschnitte betrachtet, bei denen Probleme mit Schwemmholz in den Ereignisdokumentationen verzeichnet waren. Es war jedoch nicht möglich, alle Problemstellen genau zu erfassen, da Verlegungen mit Schwemmholz teilweise unbeobachtet auftreten und sich wieder lösen können. An der Landquart und der Linth wurden relativ kurze Flussabschnitte betrachtet, da nur sehr lokal Probleme mit Schwemmholz aufgetreten sind. Die totale Anzahl Brücken in einem Flussabschnitt wurde aus den Landeskarten der Schweiz (1 : 25’000) abgeschätzt.

Klassifizierung der Probleme

Die Beurteilung der Probleme mit Schwemmholz führten zu einer Klassifizierung in (a) keine Probleme mit Schwemmholz, (b) Beschädigung infolge Anpralls, (c) Beschädigung infolge Verklausung oder (d) Zerstörung. Zu einer Zerstörung der Brücken können sowohl anprallendes Schwemmholz als auch eine Verklausung geführt haben. Aus den vorhandenen Beobachtungen ist es jedoch nicht in allen Fällen möglich, diese Schadensursachen zu unterscheiden. Brücken, bei denen Probleme infolge von Umströmung, Unterspülung, Kolkerscheinungen oder Erosion auftraten, nicht jedoch infolge von Schwemmholz, wurden der Kategorie (a) zugeordnet. Brücken, bei denen Geschiebeablagerungen im Bereich der Brücke einen Einfluss auf die Verklausung hatten, wurden der Kategorie (c) zugeordnet.

Abb. 5.3 > Klassierung der Brücken in ausgewählten Flussabschnitten hinsichtlich Problemen mit Schwemmholz.

In Klammern ist die Anzahl der betrachteten Brücken angegeben.



Fast jede zweite Brücke durch Schwemmholzprobleme betroffen

Total waren von den untersuchten Brücken ca. 40 % von Schwemmholzproblemen betroffen. An der Chirel und der Landquart kam es bei allen Brücken, bei denen Probleme infolge des Schwemmholzaufkommens registriert wurden (ca. 60 %) zu einer Verklausung des Gerinnequerschnittes.

Chirel

An der Chirel wurden die Verklausungen massgeblich durch das hohe Geschiebeaufkommen beeinflusst, da grosse Blöcke die Brückenquerschnitte zusätzlich verlegten (geo7 und Schälchli, Abegg + Hunzinger, 2006). Infolge der Verklausungen ist die Chirel an mehreren Stellen aus dem Gerinne ausgebrochen.

Landquart

Durch die Landquart wurde insbesondere in Klosters viel Schwemmholz transportiert, wodurch es zu Verklausungen an mehreren Brücken kam. Aufgrund des grossen Geschiebeaufkommens war die Abflusskapazität der Landquart bereits überschritten, und die Verringerung der Durchflussquerschnitte begünstigte zusätzlich das Hängenbleiben von Schwemmholz. Vor allem die Verklausung des Fussgängerübergangs Schwimmbad/Doggiloch führte zur Bildung einer Schwemmholzansammlung von mehreren hundert Metern Länge und infolge des grossen Aufstaus zum Ausufern der Landquart (Amt für Wald Kanton Graubünden, 2006).

Kleine Emme

Im untersuchten Flussabschnitt der Kleinen Emme waren ca. 50 % der Brücken von Problemen mit Schwemmholz betroffen. In Wolhusen und Reussbühl wurden mehrere Brücken durch anprallendes Schwemmholz beschädigt (Kanton Luzern, 2005). Zwischen Wolhusen und Luzern wurden drei Brücken zerstört. Ob eine vollständige Verklausung des Gerinnequerschnittes oder anprallendes Schwemmholz der Grund für die Zerstörung dieser drei Brücken war, kann allein aufgrund der Beobachtungen nicht rekonstruiert werden. Da zwei Brücken eine Fachwerkkonstruktion aufwiesen, könnte der erhöhte Strömungsdruck infolge des im Fachwerk verkeilten Holzes die Zerstörung verursacht haben.

Grosse Melchaa

An der Grossen Melchaa staute sich das Wasser infolge der Verklausung bei der Eisenbahnbrücke kurz vor der Mündung in den Sarnersee und überströmte die Dämme beidseitig (Abb. 5.1). Es kam zur Erosion des Dammes sowie im Bereich des rechten Brückenwiderlagers, wodurch die Eisenbahnbrücke vom Widerlager stürzte. Der Dammbruch führte zum Ausbruch der Grossen Melchaa (Kanton Obwalden, 2006). Stromauf der Eisenbahnbrücke befinden sich ein Fussgängersteg sowie zwei Autobrücken. Von diesen drei Brücken wurde lediglich der Fussgängersteg durch anprallendes Schwemmholz leicht beschädigt.

Engelberger Aa

Die Brücken entlang der Engelberger Aa wurden durch das anprallende Schwemmholz z. T. stark beschädigt. Verklausungen wurden jedoch nur bei der Militärbrücke Geren und beim Lättensteg vermutet bzw. festgestellt (Oeko-B AG / Niederer + Pozzi Umwelt AG, 2006). Ungefähr 70 % der Brücken wiesen nach dem Augusthochwasser 2005 keine sichtbaren Schäden auf.

Reuss

An der Reuss, bei der die Brücken grössere Abflussquerschnitte aufweisen, kam es zu keinen Verklausungen. Einzelne Brücken wurden durch anprallendes Schwemmholz beschädigt (z. B. Holzbrücke in Sins, Abb. 5.2). Das Schwemmholz führte v. a. bei den verschiedenen Wehren entlang der Reuss zu Problemen, worauf im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

Linth

Bei den kritischen Brücken an der Linth (Linthbrücke, Linthbrüggli, Vrenelibrücke) war die Abflusskapazität nur noch knapp genügend. Durch Intervention und Schwemmholzentnahme mittels Kranlastwagen konnten Schäden jedoch verhindert werden (Linthverwaltung, 2006).

5.2.4 Ablagerung an Wehren

Wehr Perlen und Bremgarten

In Talflüssen verursachte das anfallende Schwemmholz v. a. bei den Wehren Probleme. Es verkeilte sich besonders bei Wehren mit unterströmten Schützen und schmalen Wehrfeldbreiten. Beim Wehr Perlen wurden zwei der drei Wehrfelder vollständig mit Holz verlegt, und die Reuss uferte beidseitig aus. Im Rahmen der Intervention wurde auf der rechten Seite ein Abflusskorridor um das Wehr herum geschaffen (Abb. 5.4). Beim Kraftwerk Bremgarten-Zufikon bildete sich ein Schwemmholzteppich vor den Wehrfeldern. Dabei wurden die Grundablässe von zwei Wehrfeldern auf der Kurvenaussenseite u. a. durch Wurzelstöcke verlegt.

Wehr Windisch

Bei der Wehranlage in Windisch wurde das Schwemmholz von der Reuss auf der Kurvenaussenseite antransportiert und gelangte so in den Kraftwerkskanal. Das Holz führte zu einer Verklausung am Pfeiler eines Dienststeges, was zu dessen Einsturz führte. Der Einlauf zum Kraftwerkskanal und das Spülschütz wurden durch das Holz vollständig verlegt (Abb. 5.5). Diese Verklausungen verstärkten die Ausuferungen ins Siedlungsgebiet und erschwerten die Interventionen. Am überströmten Dachwehr blieb kein Holz hängen, jedoch wurden an der gesamten übrigen, mit mehreren Pfeilern gegliederten Wehrschwelle Holzansammlungen registriert.

Abb. 5.4 > Verklausung beim Wehr Perlen LU.

Holz verklauste die zwei Wehrfelder auf der linken Seite, woraufhin die Reuss rechts um das Wehr floss.

Foto: Schweizer Luftwaffe

Abb. 5.5 > Verklausung beim Wehr Windisch AG.

Die Verklausung des Kraftwerkskanals verstärkte die linksseitige Ausuferung der Reuss.

Foto: Kantonspolizei Aargau

Matteschwelle Bern

In der Aare in der Stadt Bern kam es zu grossen Schwemmholzablagerungen an der Matteschwelle und vor dem Einlaufrechen des Kraftwerks Matte. Das Schwemmholz wurde durch die markante Rechtskurve der Aare vor der Matteschwelle grösstenteils auf der linken Seite (Kurvenaussenseite) antransportiert. Es kam zunächst zu Verklausungen der in Fliessrichtung gesehen hinteren Wehrfelder. Die Wehrfelder sind grösstenteils als unterströmte Tafelschützen ausgebildet und weisen in voll geöffnetem Zustand eine Breite von 4 m und eine lichte Höhe von 0.75 m auf. Durch die Verklausungen der Wehrfelder bildete sich eine grosse Schwemmholzansammlung. Der damit verbundene Rückstau führte dazu, dass die Aare oberhalb der Schwelle über die Ufer trat und das Mattequartier überflutete.

5.2.5 Ablagerungen in breiten Flussabschnitten und Seen

Ablagerungsprozesse

In Überflutungsflächen und breiten Flussabschnitten lagerte sich Schwemmholz bei abklingendem Hochwasser ab. Bei grossen Gerinnebreiten waren die Abflusstiefen und Fliessgeschwindigkeiten zu gering, um das Holz zu transportieren (Abb. 5.6) oder die Vegetation übernahm die Funktion eines Schwemmholzrechens (Abb. 5.7). Da nur für wenige Aufweitungen Angaben über ablagerte Schwemmholzmengen vorhanden sind, lassen sich diese Beobachtungen nicht verallgemeinern.

Abb. 5.6 > Schwemmholzablagerung der Engstligen in der Aufweitung bei Frutigen BE.

Die Breite in der Aufweitung ist bis zu sechsmal grösser als die Flussbettbreite oberhalb der Aufweitung.

Foto: Ramu Ingenieur AG Frutigen

Abb. 5.7 > Schwemmholzablagerung der Reuss in der Aufweitung Chamau ZG.

In der Aufweitung verdreifachte sich die Flussbreite und es wurden ca. 1000 m³ Schwemmholz (locker) abgelagert.

Foto: Kantonspolizei Aargau

Schwemmholzteppiche in Seen

Beim Abklingen der Hochwasserwelle lagerte sich das Schwemmholz auch an flachen Ufern, auf Vorländern oder direkt im Gerinne ab. Solche Ablagerungen sollten im Nachgang des Ereignisses geräumt werden, da sie bei einem nächsten Hochwasser wieder mobilisiert werden können. Im Einmündungsbereich von Flüssen in Seen bildeten sich z. T. grosse Schwemmholzteppiche (z. B. Sarner- und Thunersee).

5.2.6 Verklausungswahrscheinlichkeit

Grundlagen

Ob es an einem Bauwerk zu einer Verklausung kommt, ist einerseits von den Mengen und Grössen des Schwemmholzes und anderseits von den Abmessungen des kritischen Querschnittes (Sohlenbreite *B* und lichte Höhe *H)* abhängig. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Stämme (W_S) oder Wurzelstöcke (W_W) erfolgten nach Bezzola et al. (2002). In Tab. 5.1 sind diese Wahrscheinlichkeiten für ausgewählte Brücken dargestellt. Der Berechnung wurden eine Stammlänge von 10 m (bzw. von 20 m im Fall der Kleinen Emme) sowie für Wurzelstöcke ein mittlerer Durchmesser des Wurzeltellers von 1 m zugrunde gelegt. Die Stammlängen entsprechen dabei oberen Werten aus den Schwemmholzaufnahmen der WSL (Waldner et al., 2007 und Kap. 4.4). Die Wurzelstockabmessungen wurden aus Fotos geschätzt, da keine Angaben vorlagen. Je nach Einzugsgebiet können die tatsächlichen Abmessungen somit von den hier getroffenen Annahmen abweichen.

Tab. 5.1 > Wahrscheinlichkeiten des Verhängens einzelner Stämme (W_S) und einzelner Wurzelstöcke (W_W) für ausgewälte Brücken nach Bezzola et al. (2002).

Bei den rot markierten Brücken kam es während des Augusthochwassers 2005 zu einer Verklausung oder Zerstörung der Brücke infolge von Schwemmholz.

		B [m]	H [m]	W_S	W_W
Grosse Melchaa, Sarnen OW	Brücke Autobahn	10.60	3.00	0.06	0.24
	Fussgängersteg	8.58	2.70	0.09	0.40
	Brücke Brünigstrasse	11.60	3.30	0.05	0.11
	Eisenbahnbrücke	9.50	2.30	0.07	0.67
Chiene, Kien BE	Dorfbrücke	9.00	2.00	0.08	0.95
Chirel, Oey BE	Eisenbahnbrücke	12.95	2.70	0.04	0.40
Kleine Emme LU	Ringgeisteg	23.40	4.42	0.08	0.03
	Ennigerbrücke	28.30	4.00	0.05	0.16
	Viscosesteg	28.00	5.00	0.05	0.00
Linth, Escherkanal GL	Molliserbrücke	14.00	5.60	0.03	0.00
	Linthbrücke	16.60	5.60	0.01	0.00
	Chupfernsteg	18.00	4.50	0.01	0.00

Verklausungswahrscheinlichkeit erlaubt Risikoabschätzung

Die abgeschätzten Wahrscheinlichkeiten des Verhängens einzelner Stämme bewegen sich für die meisten der betrachteten Brücken zwischen 5 und 10 %, was bedeutet, dass sich jeder 10. bis 20. Stamm an der Brücke verfangen kann, wodurch sich wiederum die Wahrscheinlichkeit für das Verhängen weiterer Stämme und somit für die Bildung einer Verklausung erhöht. Die Werte für das Verhängen einzelner Wurzelstöcke (bzw. von Stämmen mit Wurzeltellern) sind deutlich höher. Bei der Mehrheit der Brücken mit hohen rechnerischen Wahrscheinlichkeiten für das Verhängen einzelner Stämme und Wurzelstöcke kam es während des Augusthochwassers 2005 auch tatsächlich zu einer Verklausung. Im Gegensatz dazu kam es in einigen Fällen, bei denen die rechnerische Wahrscheinlichkeit einer Verklausung klein oder sogar null war, bei schlechter Brückenausbildung zu Problemen mit Schwemmholz. Bei diesen Brücken begünstigten eine nicht glatt ausgebildete Untersicht der Brücke (Fachwerk, offene Konstruktionen, Werkleitungen) sowie Pfeiler oder seitliche Widerlager das Hängenbleiben von Stämmen und Wurzelstöcken.

Erhöhtes Risiko bei Fachwerkbrücken

Bei den drei zerstörten Brücken an der Kleinen Emme kann – wie bereits ausgeführt – nicht mehr rekonstruiert werden, ob es zu einer vollständigen Verklausung des Gerinnequerschnittes kam. Der Ringgeisteg sowie der Viscosesteg wiesen Fachwerkkonstruktionen auf, welche ein Verkeilen des Holzes begünstigten. Die Zerstörung kann daher auch durch Anprall oder erhöhten Strömungsdruck nach teilweiser Verlegung verursacht worden sein. In Sarnen passierte das Schwemmholz drei Brücken ohne Probleme und erst bei der Eisenbahnbrücke kam es zu einer Verklausung (Kanton Obwalden, 2006). Nebst der kleineren lichten Höhe im Vergleich zu den weiter oben liegenden Brücken hängt dies vermutlich massgeblich mit der Fachwerkausbildung der Eisenbahnbrücke zusammen.

Bei der Beurteilung einer Brücke hinsichtlich der Gefahr einer Verklausung, spielt somit die konstruktive Ausbildung der Brücke sowie beispielsweise das Vorhandensein untergehängter Leitungen eine entscheidende Rolle. Die Abschätzung der Verklausungswahrscheinlichkeit kann nur einen ersten Anhaltspunkt für die Gefahrenbeurteilung liefern, da hier die Ausbildung der Brücke nicht miteinbezogen wird. Die Analysen nach dem Hochwasser 2005 zeigen, dass ein genügend grosser Gerinnequerschnitt unter der Brücke, eine glatte Untersicht und eine Verschalung der Brücke ein Durchleiten des Schwemmholzes begünstigen.

Ausbildung der Brücke spielt entscheidende Rolle

5.2.7 Intervention

Während des Augusthochwassers 2005 wurde an verschiedenen Brücken und Wehren versucht, mittels Intervention das Hängenbleiben von Holz zu verhindern (z. B. Linthbrücken am Escherkanal, Brücke Mühlau an der Reuss). Vor allem in Talflüssen wurde mit Hilfe von Baggern oder Greifern das Holz, das sich an Brücken verkeilte, unter den Brücken hindurchgedrückt. Für diese Art der Notmassnahme war die Zugänglichkeit mit grossen Maschinen Voraussetzung. Die Massnahmen zum Durchleiten des Holzes zum Schutz eines einzelnen Bauwerkes sind jedoch nur lokal wirksam, da das Schwemmholz dadurch flussabwärts verlagert wird, wo unter Umständen noch grössere Probleme auftreten können. Bei Wehren, an denen sich das Holz in Form von Schwemmholzteppichen ablagerte, wurde versucht, das Holz vom Ufer oder von der Wehrbrücke aus zu entfernen. Bei guter Zugänglichkeit und geringen Fliessgeschwindigkeiten, wie es beispielsweise beim Wehr in Bremgarten-Zufikon der Fall war, hat sich die Interventionsmethode mittels Greifern und Baggern gut bewährt.

Interventionsmethoden bei Talflüssen

Beim Wehr Perlen mussten infolge der Umströmung des Wehres (Abb. 5.4) die Interventionen mittels Maschinen vom Ufer aus eingestellt werden. Bei abklingendem Hochwasser wurde daraufhin versucht, die Verklausung des mittleren Wehrfeldes zu sprengen (Abb. 5.12). Doch auch mit der Sprengung war es nicht möglich, die Verklausung vollständig zu lösen. Die Bäume mussten daraufhin einzeln zersägt und mit Greifern entfernt werden. Im Mattequartier musste die Entfernung des Schwemmholzes ebenfalls vorübergehend eingestellt werden, da die Aare infolge Rückstaus linksseitig ausuferte und den Interventionsplatz überschwemmte. Bei der Scherzligschleuse in Thun wurde versucht, die verkeilten Baumstämme mittels Motorsäge zu zerkleinern und so die Verklausung zu lösen. Interventionen mittels Sprengungen und Motorsägen waren im Allgemeinen sehr zeitintensiv und führten daher nicht zu einer raschen Lösung. Zudem waren sie mit einer grossen Gefahr für die direkt Beteiligten verbunden.

Die anfallende Schwemmholzmenge in den Gebirgsflüssen war meist nicht zu bewältigen (z. B. Grosse Melchaa, Chirel, Landquart). Eine bereits bestehende Verklausung konnte infolge des stark verkeilten Holzes und des grossen Strömungsdrucks nicht mehr gelöst werden. In Sarnen musste die Intervention an der Eisenbahnbrücke eingestellt werden (Abb. 5.1), da die Grosse Melchaa aufgrund der Verklausung über die seitlichen Dämme ausbrach.

Interventionsmethoden bei Gebirgsflüssen

Schwemmgutsperren in Seen haben sich bewährt

Bei allen betroffenen Seen konnte das Schwemmholz grösstenteils durch eine rasche Intervention im Einmündungsbereich zurückgehalten werden. Für den Rückhalt haben sich dabei Schwemmgutsperren sehr gut bewährt (Kap. 5.2.9). Ohne Intervention verteilte sich das Schwemmholz infolge Wellengangs und Wind sehr schnell über den See (z. B. Sarner- und Bielersee) und hat so z. T. die Schifffahrt gefährdet und sich in den Uferzonen festgesetzt.

5.2.8 Räumung

Nachfolgend wird detailliert auf die Räumung des Schwemmholzes aus dem Thuner-, Brienzer-, Vierwaldstätter-, Urner- sowie dem Sarnersee eingegangen. Die Menge des geräumten Holzes ist dabei immer in m³ Lockervolumen angegeben. Im Weiteren werden die Räumungsmethoden von Verklausungen an Wehren und Brücken aufgezeigt. Dabei wurden Beispiele ausgewählt, die gut dokumentiert sind und auch Aussagen über die Kosten zulassen. Aussagen über die Räumung von Schwemmholzansammlungen im Uferbereich entlang oder direkt in den Gerinnen können aufgrund fehlender Angaben nicht getroffen werden.

5.2.9 Räumung von Schwemmholz in Seen

Räumungsmethoden

In den Fällen, wo die Ausbreitung des Schwemmholzes mit Hilfe von Schwemmgutsperren verhindert wurde, erfolgte die Räumung aus den Seen sehr effizient mit Entnahmeschiffen (Pontons, Nauen), die mit Baggern und Greifern ausgerüstet waren. Da in einem See die Fliessgeschwindigkeit praktisch null beträgt, trieb das Holz lose an der Oberfläche, wodurch es bei der Entnahme keine Probleme gab. Am Ufer wurde das Holz dann auf Lastwagen umgeladen und an Zwischenlagerplätze transportiert.

Thuner- und Brienzersee

Im Kanton Bern wurden mittels mobiler Schwemmgutsperren auf dem Thunersee 17’000 m³ und auf dem Brienzersee 8500 m³ Schwemmholz zurückgehalten (Abb. 5.8). Somit konnte die Gefahr bei den Schleusen in Interlaken und Thun verringert werden. Dazu mussten jedoch die Schwemmgutsperren von anderen Kantonen angefordert sowie behelfsmässige Sperren eingesetzt werden. Da alle Sperren schliesslich auf dem Thuner- und Brienzersee eingesetzt wurden, konnte das Schwemmholz auf dem Bielersee nicht effizient an der Ausbreitung gehindert werden. Ungefähr 5000 m³ Schwemmholz verteilten sich daher auf dem Bielersee und gelangten in die Uferzonen, wodurch die Kosten für die Räumung markant anstiegen.

Vierwaldstättersee

Im Einmündungsbereich der Engelberger Aa in den Vierwaldstättersee wurden ebenfalls mittels auf Ponton installierten Greifern 1000 m³ Schwemmholz aus dem See entfernt (Abb. 5.9). Da keine Schwemmgutsperren vorhanden waren, war ein sofortiges Eingreifen nötig, um die Sicherheit der Schifffahrt zu gewährleisten. Abgetriebene Baumstämme wurden von Militärbooten aus einzeln aus dem See entfernt.

Abb. 5.8 > Schwemmholzteppich beim Kanderdelta im Thunersee BE.

Rund 17'000 m³ Schwemmholz wurden mit Schwemmgutsperren im Kanderdelta zurückgehalten.

Foto: Wasserwirtschaftsamt Kanton Bern

Abb. 5.9 > Räumung des Schwemmholzes aus dem Vierwaldstättersee bei Buochs NW.

Die Entnahme mit Greifern hat sich bei den betrachteten Seen gut bewährt.

Foto: Amt für Wald und Energie / Tiefbauamt Kanton Nidwalden

Sarnersee

Ebenfalls ohne den Einsatz von Schwemmgutsperren wurde ca. 8000 m³ Holz aus dem Sarnersee entfernt. Viel Holz verteilte sich über den See, bildete lose Ansammlungen oder lagerte sich an Schilfgürteln und Uferzonen ab (Abb. 5.10). Dieses Holz musste dann unter grossem Aufwand aus dem See entfernt werden.

Abb. 5.10 > Schwemmholzablagerungen bei der Mündung der Grossen Melchaa in den Sarnersee OW.

Da keine Schwemmgutsperren zum Einsatz kamen, lagerte sich das Schwemmholz im Uferbereich und in den Schilfgürteln ab.

Foto: Schweizer Luftwaffe

Abb. 5.11 > Räumung des Schwemmholzes bei der Matteschwelle in Bern.

Foto: Feuerwehr Stadt Bern

Urnersee

Aus dem Urnersee wurden ca. 10’000 m³ Schwemmholz entfernt. Der grösste Teil des Holzes konnte durch auf Pontons installierten Greifern entfernt werden. Kleine Schwemmholzansammlungen wurden mit Hilfe von behelfsmässigen Sperren, die zwischen zwei Booten befestigt wurden, auf dem See gesammelt und ans Ufer geschleppt. Die komplette Räumung kleiner Stämme und Äste im Bereich der Ufer und Schilfgürtel nahm etwa zwei Wochen in Anspruch.

5.2.10 Räumung von Verklausungen und Gerinnen

Aufwendige Räumung der Verklausungen

Die Entfernung von Verklausungen bei Brücken hat sich während des Augusthochwassers 2005 als sehr schwierig gestaltet, da das Holz infolge des Strömungsdruckes sehr stark ineinander verkeilt war. Die Schwemmholzansammlungen vor den meisten Wehren in Talflüssen (Bremgarten-Zufikon, Windisch, Matteschwelle Bern) verhielten sich ähnlich wie diejenigen in Seen. Bei gegebener Zugänglichkeit war dort die Räumung mit grossen Maschinen gut möglich (Abb. 5.11). Beim Wehr Perlen konnte jedoch auch mit schweren Baumaschinen das Holz nicht entfernt werden, und auch eine Sprengung blieb ohne Erfolg. (Abb. 5.12). Bei der Mühleschleuse in Thun mussten die Bäume von Hand zersägt werden (Abb. 5.13).

Abb. 5.12 > Sprengung der Verklausung beim Wehr Perlen, Kt. LU.

Foto: P. Henz, Perlen Papier AG

Abb. 5.13 > Räumung der Mühleschleuse in Thun, Kt. BE.

Foto: Wasserwirtschaftsamt Kanton Bern

Über die Räumung von Schwemmholz aus Wildbächen und Schluchtstrecken oder entlang der Flussufer sind keine detaillierten Angaben vorhanden.

5.2.11 Entsorgung

Verschmutztes Schwemmholz für Verbrennung nicht geeignet

Probleme bei der Entsorgung und speziell bei der Verbrennung von Schwemmholz bildeten Fremdbestandteile wie Altreifen, Eisen, Plastik sowie der hohe Mineralanteil. Infolge der z. T. langen Transportstrecken in den Flüssen war das Schwemmholz stark mit Sand und Silt verschmutzt. Tab. 5.2 gibt eine Zusammenstellung der angewandten Entsorgungsmassnahmen inklusive der ungefähr angefallenen Kosten. Die Kosten beinhalten dabei sowohl den Aufwand für die Räumung des Schwemmholzes als auch für dessen Entsorgung.

Tab. 5.2 > Geräumte Schwemmholzvolumina an verschiedenen Orten, angewandte Entsorgungsmassnahmen sowie grob geschätzte Kosten für die Räumung und Entsorgung.

Ort	Schwemmholzvolumen locker [m³]	Entsorgung	Kosten [CHF]
Thuner-, Brienzer- und Bielersee	31'000	Holzschnitzel für Prozess- und Heizwärme, Rohstoff für Spanplatten	2'300'000
Vierwaldstättersee	1'000	Deponie	150'000
Urnersee	10'000	Geschreddert, Deponie	630'000
Sarnersee	7'000	Geschreddert, Deponie, kleiner Teil Holzschnitzel	142'000
KW Bremgarten-Zufikon	3'000	Holzschnitzel für Heizungen	400'000
Wehr Windisch	3'000	Holzschnitzel als Abdeckmaterial	120'000
Wehr Perlen	1'000	Holzschnitzel	130'000
Wehr Matteschwelle Bern	1'200	Holzschnitzel für Heizwärme	65'000
Aufweitung Chamau	500	Schnitzel für Landschaftsgärtnerei	19'000
Klosters	14'000	Geschreddert, Rohstoff für Spanplatten	300'000

Mehrheitlich Schnitzelherstellung

Fast überall wurde das Schwemmholz geschreddert und zu Holzschnitzeln verarbeitet. Nachfolgend wird etwas genauer auf die Schwemmholzverwertung am Brienzersee eingegangen, bei der das Schwemmholz nach einer speziellen Aufbereitung verbrannt werden konnte.

Brienzersee

Rund 8600 m³ Schwemmholz aus dem Brienzersee wurden zwischengelagert und in vier Arbeitsgängen zu 7800 m³ Holzschnitzel verarbeitet. Nach einer Vorsortierung wurde das Holz zerrissen, mit einem 25 mm und einem 10 mm Lochsieb gesiebt und schliesslich gehackt (Abb. 5.14 und Abb. 5.15). Der verbleibende, nicht zur Verbrennung geeignete Siebrestanteil, betrug nur noch rund 300 m³ und wurde zur Rekultivierung verwendet. Die Holzschnitzel wurden kostenlos ans benachbarte Holzschnitzel-Fernheizwerk abgegeben und unter Beimischung von je einem Drittel Frisch- und Altholz verbrannt. Der gesamte Verarbeitungsprozess des Schwemmholzes dauerte rund vier Wochen. Die Kosten für die Verarbeitung betrugen 240'000 CHF, also ca. 30 CHF pro m³ hergestellte Holzschnitzel.

Sarnersee

Ein kleiner Teil des Schwemmholzes aus dem Sarnersee wurde nach dem Augusthochwasser 2005 in einer Spezialschnitzelheizung in Sachseln verbrannt. Da die Kosten für eine Verbrennung des Holzes jedoch sehr gross waren, wurde der Grossteil des Schwemmholzes auf einer Deponie entsorgt.

Abb. 5.14 > Schnitzelherstellung mittels mobilem Grosshacker auf dem Flugplatz Bönigen, Kt. BE.

Abb. 5.15 > Zwischenlager der Holzschnitzel auf dem Flugplatz Bönigen, Kt. BE.

Fotos: Wasserwirtschaftsamt Kanton Bern

Kraftwerk Bremgarten-Zufikon

Aus dem angefallenen Schwemmholz beim Kraftwerk Bremgarten-Zufikon wurden Schnitzel hergestellt. Bei der Verbrennung in kleinen Heizungen nach dem Augusthochwasser 2005 ergaben sich jedoch Probleme infolge des vorhandenen Eisenanteils und ausserdem war der Anfall an Asche sehr gross. Zukünftig anfallende Schwemmholzmengen sollen in einer neu geplanten Grossheizung verbrannt werden.

5.2.12 Folgerungen

Problemstellen

Bei fast der Hälfte der untersuchten Brücken kam es während des Hochwasserereignisses vom August 2005 zu Problemen mit Schwemmholz. In Gebirgsflüssen ist dabei meistens der Querschnitt für ein schadloses Durchleiten des Holzes zu klein und es kommt daher zu Holzansammlungen und Verklausungen. Geschiebeablagerungen und das Hängenbleiben von Holz im Bereich der Brücken begünstigen sich dabei gegenseitig. In Talflüssen ergeben sich Probleme mit Schwemmholz hauptsächlich bei den Wehren. Verklausungen von einzelnen Wehrfeldern führen dort zu einem Aufstau und – je nach den örtlichen Gegebenheiten – zu einer Ausuferung der Talflüsse. Brücken über Talflüsse sind v. a. durch anprallendes Schwemmholz gefährdet.

Einfluss der Bauwerksausbildung

Durch Berechnung der Verklausungswahrscheinlichkeit und zusätzlichem Einbezug der Brückenausbildung können potenzielle Schwachstellen erkannt werden. Fachwerkausbildungen, offene Konstruktionen sowie Werkleitungen unter den Brücken begünstigen die Bildung von Holzansammlung bzw. die Ausbildung einer Verklausung. Ein schadloses Weiterleiten des Holzes kann mit einer Verschalung der Stirnseite, einer glatten Ausbildung der Brückenuntersicht sowie einem gleichmässigen Gerinneprofil im Bereich der Brücke erreicht werden.

Intervention

Bei Gebirgsflüssen ist eine Intervention während des Ereignisses, beispielsweise das Verhindern oder Lösen einer Verklausung, sehr schwierig. In Talflüssen können mit Hilfe von Baggern oder Greifern Holzansammlungen vor Brücken gelöst und so ein Weiterleiten des Schwemmholzes erreicht werden. Das Problem wird auf diese Weise jedoch nur flussabwärts verlagert. Die Intervention kann nur eine lokale sowie notfallmässige Lösung darstellen.

Räumung aus Seen

Prinzipiell sind Seen geeignete Orte für die Entfernung des Schwemmholzes. Entnahmeschiffe und Greifer sind eine bewährte Methode der Räumung. Mit den Schwemmgutsperren besteht zudem eine effiziente Möglichkeit, das Schwemmholz an der Ausbreitung zu hindern. Um die Verteilung des Holzes auf dem See zu verhindern, ist jedoch ein sofortiges Eingreifen erforderlich.

Ganzheitliche Betrachtung notwendig

Die Analyse der Probleme während des Hochwassers im August 2005 zeigt, dass für eine ganzheitliche Lösung der Schwemmholzproblematik das gesamte Einzugsgebiet betrachtet werden muss. Dazu sind Abschätzungen des Schwemmholzaufkommens im Einzugsgebiet und die Kenntnis der kritischen Stellen sowie geeigneter Ablagerungsorte entlang der Flüsse erforderlich. Nur so ist es möglich, ein integrales Schwemmholzkonzept zu erarbeiten und optimale Massnahmen zu planen.

Lokal hohe Intensitäten

Die während des Hochwasserereignisses 2005 abgelaufenen Prozesse bei der Ansammlung oder der Verklausung von Schwemmholz an einem Hindernis entsprechen im Grunde den bisherigen Erfahrungen. Die Menge an transportiertem Holz sowie die daraus resultierende hohe Anzahl an Problemstellen in Talflüssen waren jedoch aussergewöhnlich. Um solche Schwachstellen in Zukunft zu reduzieren, ist eine Beurteilung aller Brücken und Wehre hinsichtlich des Verhaltens von Schwemmholz an Engstellen unerlässlich.

5.3 Wellenbildung im Traversensystem – Fallbeispiel Kleine Schliere

Peter Rutschmann, Georg Premstaller, Gian Reto Bezzola

5.3.1 Einführung

Aussergewöhnliche hydraulische Phänomene

Bei aussergewöhnlichen Abflüssen können hydraulische Phänomene auftreten, die sonst nicht so ausgeprägt sind – Phänomene, welche die Kapazität eines Fliessabschnittes limitieren, bevor die mittels herkömmlicher Berechnungsansätze ermittelte Abflusskapazität erreicht wird. Ein solches Phänomen soll nachfolgend beschrieben werden, mit dem Ziel, dessen Erscheinungsform und die Gründe seiner Entstehung zu erklären sowie mögliche Massnahmen zu dessen Beeinflussung aufzuzeigen.

Zwei Typen von Wellen in der Kleinen Schliere

Während des Hochwassers vom August 2005 wurde an der Kleinen Schliere in Alpnach eine intensive Wellenbildung beobachtet. Zwei unterschiedliche Typen von Wellen traten dabei auf (Abb. 5.16):

- *Stationäre, stehende Wellen,* die in regelmässigen Abständen in Flussmitte auftraten und
- *Instationäre, sehr hohe Einzelwellen,* die sich in unregelmässigen zeitlichen Abständen mit der Strömung flussabwärts bewegten.

Die Ursachen für diese beiden Wellentypen sind unterschiedlicher Art, worauf in diesem Beitrag näher eingegangen werden soll.

Abb. 5.16 > Wellenbildung in der Kleinen Schliere während dem Hochwasser vom August 2005; stationäre, stehende Wellen in Flussmitte (links) und instationäre Einzelwelle (rechts).

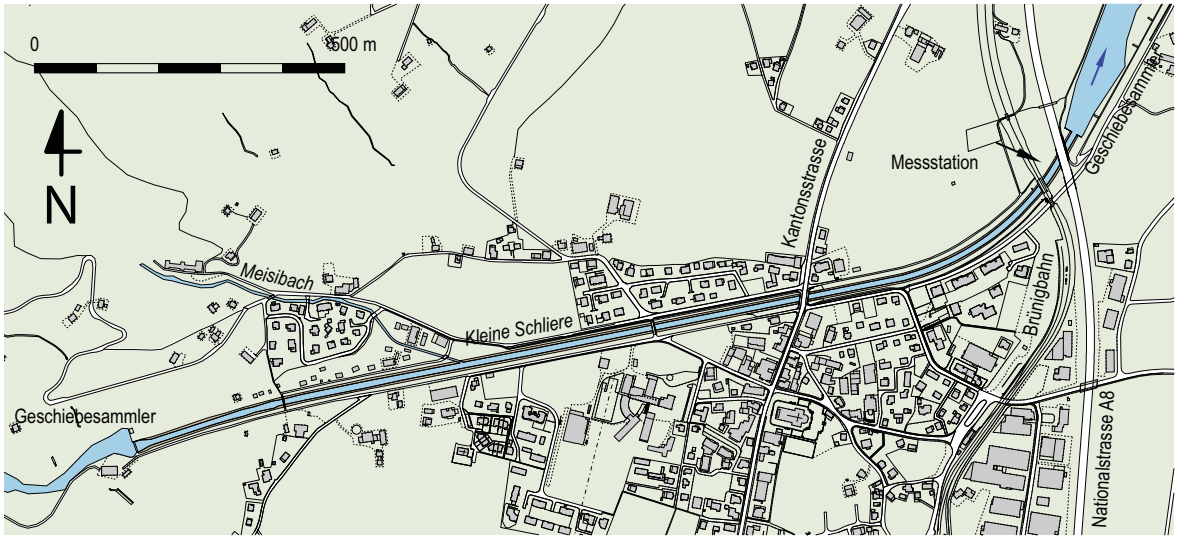
Bei den gezeigten Bildern handelt es sich um Standbilder aus einer Videoaufnahme von Mirella Gasser, Alpnach. Die Aufnahmen zeigen den Abschnitt unterhalb der Kantonsstrassenbrücke bei Fluss-Kilometer 1.6).

5.3.2 Die Kleine Schliere

Einzugsgebiet und Verlauf

Das Einzugsgebiet der Kleinen Schliere weist eine Fläche von rund 22 km² auf und liegt südwestlich des Pilatus in der Gemeinde Alpnach OW. Auf den letzten 3 km vor ihrer Mündung in den Alpnachersee fliesst die Kleine Schliere zunächst in überhöhter Lage auf ihrem markanten Schwemmkegel annähernd in östlicher Richtung (Abb. 5.17). Am Fuss des Kegels, im Bereich der Querung der Brünigbahn und der Nationalstrasse A8 schwenkt das Gerinne in einer langgezogenen Linkskurve Richtung Norden und mündet bei Alpnachstad in den Alpnachersee. Flussabwärts der Autobahnbrücke ist ein grösserer Geschiebesammler angeordnet, der die Geschiebezufuhr in den deutlich flacheren Abschnitt zwischen dem Fuss des Kegels und dem Alpnachersee begrenzt. Ein weiterer, jedoch bedeutend kleinerer Geschiebesammler findet sich am Kegelhals.

Abb. 5.17 > Kanalisierter und mit Traversen stabilisierter Abschnitt der Kleinen Schliere zwischen den beiden Geschiebesammlern am Kegelhals und am Fuss des Kegels.



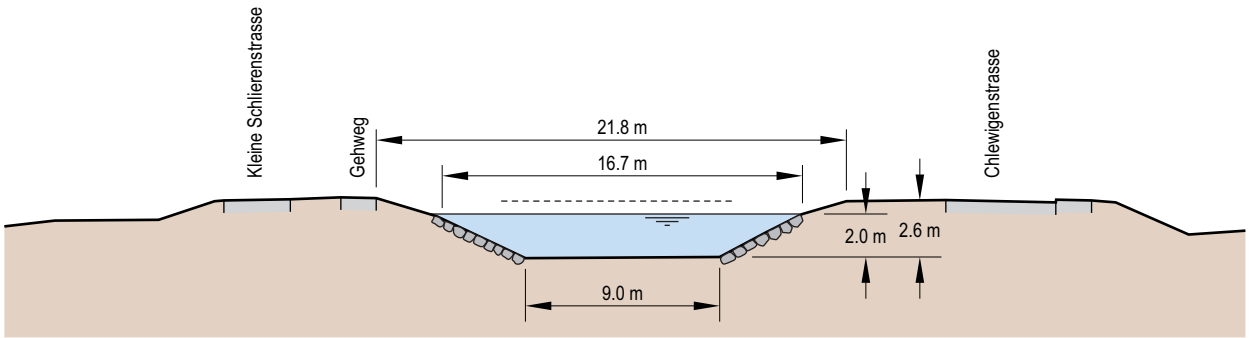
Kartengrundlage: AV 93, digitaler Übersichtsplan 1 : 10'000.

Kanalisiertes Gerinne auf dem Schwemmkegel

Zwischen den beiden Geschiebesammlern am Kegelhals und am Fuss des Kegels ist die Kleine Schliere kanalisiert. Das Gerinne weist einen trapezförmigen Querschnitt mit rund 9 m Sohlenbreite auf (Abb. 5.18). Bis in eine Höhe von 2 m sind die mit 1 : 2 geneigten seitlichen Böschungen gepflästert. An die Pflästerung schliesst bis zur Böschungsoberkante die Gransnarbe an. Etwa 500 m flussabwärts des Geschiebesammlers am Kegelhals mündet von der orographisch linken Seite der Meisibach in die Kleine Schliere. Das vom Meisibach entwässerte Teileinzugsgebiet weist eine Fläche von 4.6 km² auf.

Abb. 5.18 > Typischer Querschnitt der Kleinen Schliere unmittelbar flussaufwärts der Kantonsstrassenbrücke.

Angegeben sind der mittlere maximale Wasserstand (ausgezogene Linie) sowie der maximale Wasserspiegel infolge der stationären, stehenden Wellen (gestrichelte Linie).

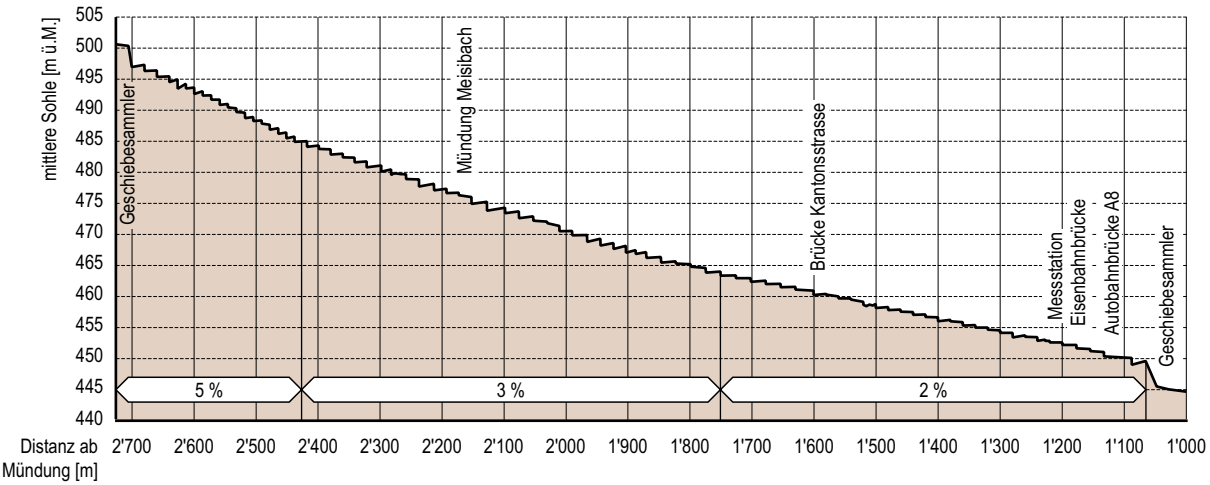


Gefälle, Längenprofil und Sohlensicherung

Auf dem Kegel nimmt das Längsgefälle von 5 % am Kegelhals auf rund 2 % im unteren Bereich zwischen der Kantonsstrassenbrücke und dem Geschiebesammler am Fuss des Kegels ab. Aufgrund des relativ grossen Längsgefälles und des eher feinen Sohlenmaterials ist die Sohle der Kleinen Schliere durch niedrige Querwerke stabilisiert. Insgesamt über 90 solcher Traversen finden sich im rund 1.6 km langen Abschnitt zwischen den beiden Geschiebesammlern (Abb. 5.19). Der durchschnittliche Abstand der Traversen beträgt im steileren Bereich rund 15 m und in den flacheren Bereichen rund 20 m; die mittleren Absturzhöhen bewegen sich um 50 cm.

Abb. 5.19 > Längenprofil und mittleres Längsgefälle der Kleinen Schliere auf ihrem Kegel.

Gezeigt ist der kanalisierte Abschnitt zwischen den beiden Geschiebesammlern am Kegelhals und am Fuss des Kegels. Die für das Längsgefälle angegebenen Werte entsprechen dem Bruttogefälle (Gefälle der Verbindungslinie durch die Traversenkronen).



Quelle: Integralprojekt Kleine Schliere, Vorprojekt (Aufnahme: Ingenieurbüro ZEO AG vom 27.04.1999).

Abflüsse August 2005

Mit knapp 90 m³/s wurde am 22. August 2005 der grösste Spitzenabfluss seit Beginn der Abflussmessungen an der Kleinen Schliere im Jahre 1979 beobachtet (Eberhard et al., 2007). Der bisherige Maximalabfluss von 59 m³/s, registriert im August 1982, wurde somit deutlich übertroffen. Bei einer Sohlenbreite von 9 m und einer Abflusstiefe von 2 m entspricht der Spitzenabfluss vom August 2005 im zentralen Bereich des Gerinnes einer spezifischen Belastung (Abfluss pro Laufmeter Gerinnebreite) von rund 7 m²/s.

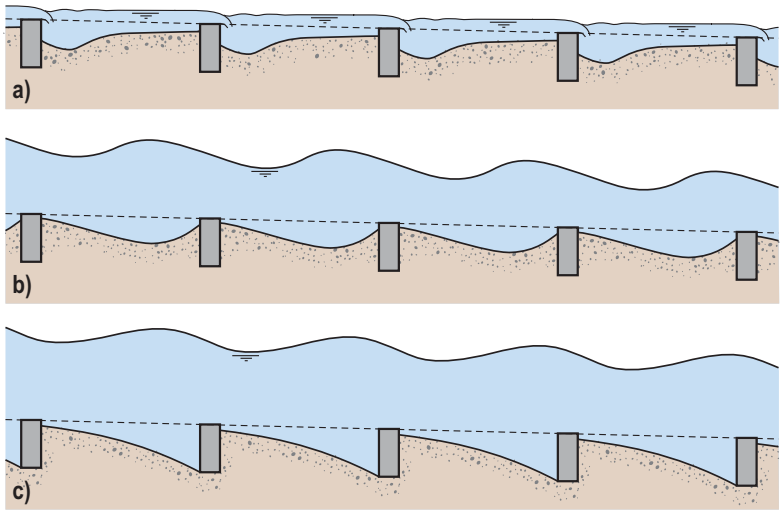
5.3.3 Besonderheiten des Traversensystems

Umschlagen des Kolks

Bei kleinen Abflüssen wirken die Traversen als Überfälle, grössere Abflüsse schiessen wellenförmig über die Traversen und können bei hohen Beanspruchungen zu einem Umschlagen des Kolks führen (Abb. 5.20). Dieser konzentriert sich dann an der Oberwasserseite der Traversen und gefährdet deren Stabilität.

Abb. 5.20 > Abflusszustände und charakteristische Sohlenverläufe im Traversensystem.

a) Bei kleinen Abflüssen wirken die Traversen als vollkommene Überfälle. b) Bei mittleren Abflüssen ergibt sich ein stark gewellter Wasserspiegel, der im Mittel parallel zur Verbindungslinie der Traversenkronen ist. c) Bei noch grösseren Abflüssen kann der Kolk umschlagen, die Sohle tieft sich im Oberwasser der Traversen stark ein.

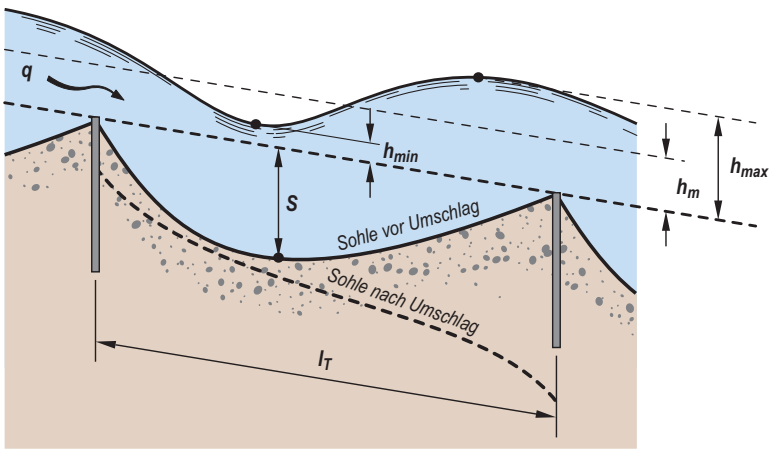


nach Volkart (1972)

Berechnung des Traversensystems

Volkart (1972) führte umfangreiche Modellversuche zu Wasserspiegellagen und den Kolktiefen im Traversensystem durch. Die aus den Versuchen abgeleiteten Berechnungsansätze erlauben die Abschätzung des Mittelwerts sowie der Maxima und Minima der Wasserspiegellage sowie der Kolktiefe (Abb. 5.21). Weiter leitete Volkart (1972) aus seinen Versuchen ein Stabilitätskriterium ab, mit Hilfe dessen beurteilt werden kann, ob ein Umschlagen des Kolks zu erwarten ist. Tab. 5.3 zeigt die Resultate der Berechnung der Abfluss- und Kolktiefen sowie der Anwendung des Stabilitätskriteriums für das Hochwasser 2005 an der Kleinen Schliere.

Abb. 5.21 > Definition der Parameter zur Berechnung des Traversensystems.



nach Volkart (1972)

Tab. 5.3 > Berechnete Abflusstiefen (Mittelwert, Maximum und Minimum) und Kolktiefe zwischen den Traversen.

Die Abfluss- und Kolktiefen zwischen den Traversen werden jeweils ab der Verbindungslinie durch die Traversenkronen gemessen. Das Stabilitätskriterium gibt an, ob ein Umschlagen des Kolks gemäss Abb. 5.21 zu erwarten ist.

Abschnitt				vor Mündung Meisibach	nach Mündung Meisibach	Kantonsstrassenbrücke
Abfluss	Q [m³/s]	90	70	90	90	90
spezifischer Abfluss	q [m²/s]	7	5.5	7	7	7
Gefälle	J [%]	5	5	3	2	2
Traversenabstand	l_T [m]	13	13	20	20	20
mittlere Abflusstiefe	h_m [m]	1.6	1.2	1.85	2.1	2.1
maximale Abflusstiefe	h_{max} [m]	2.4	1.8	2.5	2.6	2.6
minimale Abflusstiefe	h_{min} [m]	0.8	0.5	0.85	1.1	1.1
Kolktiefe	S [m]	3.1	2.6	3.2	2.6	2.6
Stabilitätskriterium		Umschlag	Umschlag	kein Umschlag	kein Umschlag	kein Umschlag

Berechnungsannahmen

Die Berechnungen wurden für einen Wert von $d_{90} = 15$ cm für den massgebenden Korndurchmesser des Sohlenmaterials durchgeführt. Für den Abfluss im Abschnitt vor der Mündung des Meisibachs wird im Sinne einer Sensitivitätsanalyse einerseits der 2005 beobachtete Spitzenabfluss, andererseits ein um den flächenmässigen Anteil des Teileinzugsgebiets des Meisibachs reduzierter Abfluss betrachtet.

Ursache für Abflussinstabilitäten

Die Ergebnisse der Berechnung stimmen im flacheren Abschnitt bei der Kantonsstrassenbrücke bezüglich der mittleren Abflusstiefe und der maximalen Abflusstiefe (unter Berücksichtigung der stationären, stehenden Wellen) sehr gut mit den Beobachtungen während des Ereignisses überein. Sie bestätigen die grundsätzliche Anwendbarkeit des Ansatzes von Volkart (1972) für den Fall der Kleinen Schliere. Die Höhe der bedeutend höheren instationären Wellen kann mit dem Berechnungsansatz allerdings nicht ermittelt werden. Hingegen zeigt das Stabilitätskriterium, dass im steileren Bereich der Kleinen Schliere vermutlich ein Umschlagen des Kolks stattgefunden hat. Die damit verbundene, relativ plötzlich erfolgende Änderung der Geometrie der Becken zwischen den Traversen dürfte mit grosser Wahrscheinlichkeit eine massgebliche Ursache für die Bildung der instationären Wellen dargestellt haben. Infolge der intensiven Geschiebeführung, welche während des Hochwassers 2005 die Kolkbildung stark beeinflusst hat, dürfte dieser Umschlag aber temporärer Natur gewesen sein und nur einzelne bzw. eine begrenzte Zahl von Becken betroffen haben. Eine analoge Berechnung für den Spitzenabfluss von 1982, dem zweitgrössten Abfluss seit Messbeginn, zeigt, dass dieses Phänomen damals vermutlich nicht aufgetreten ist.

Stationäre, stehende Wellen

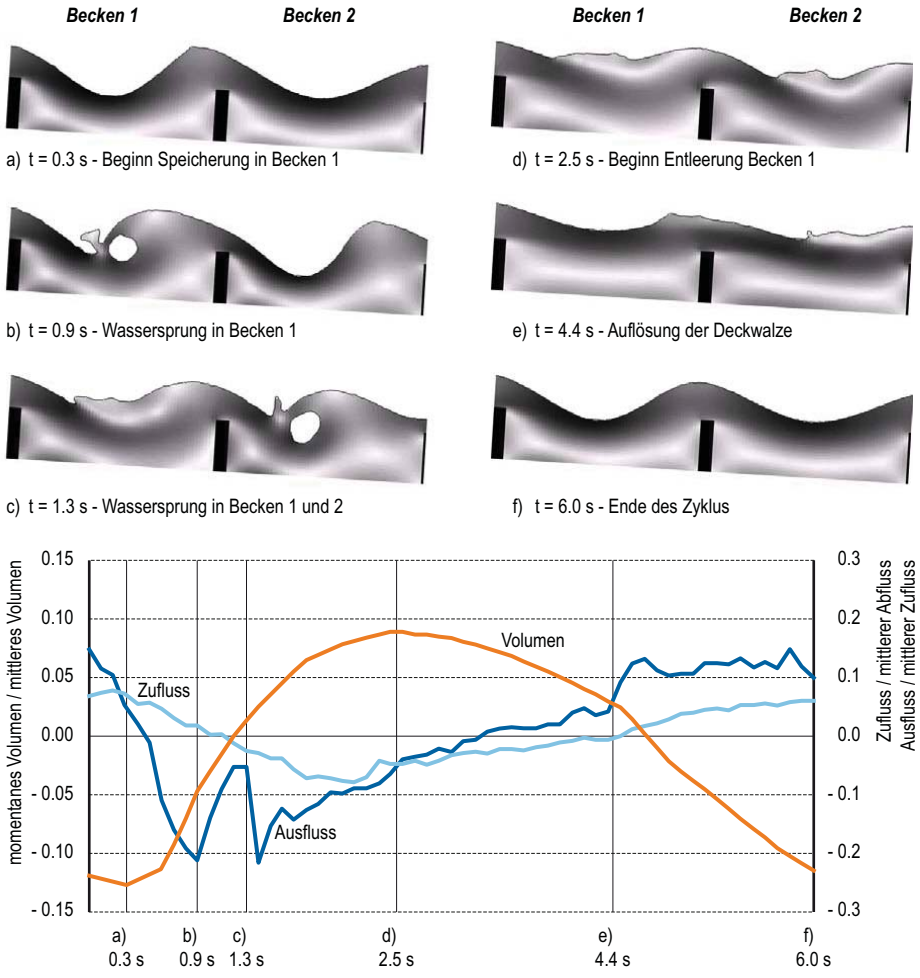
Stationäre, stehende Wellen werden oft auch als «Kamelbuckel» bezeichnet und treten im vorliegenden Fall als Folge der regelmässig angeordneten Traversen und der sich bei Hochwasser einstellenden Kolke auf. Dies bestätigten auch die im Rahmen des Hochwasserschutzprojekts durchgeführten hydraulischen Modellversuche an der Universität Innsbruck. Für den Abschnitt zwischen der Einmündung des Meisibachs und der Kantonsstrassenbrücke wurden im Massstab 1 : 35 Versuche mit beweglicher und

befestigter Sohle durchgeführt. Die Versuche zeigten auf, dass sich im Fall mit beweglicher Sohle ein komplexes Strömungsmuster einstellt. Der Abfluss konzentriert sich stark auf den Stromstrich, wo hohe Geschwindigkeiten auftreten. Im ufernahen Bereich resultieren infolge der lokal geringeren Abflusstiefen kleinere Geschwindigkeiten und die spezifische Energiehöhe entspricht hier praktisch der Abflusstiefe. In Flussmitte treten als Folge der Traversen und der grossen Geschwindigkeiten hohe Sohlbeanspruchungen und damit Kolke auf. Diese wiederum haben einen Einfluss auf den Wasserspiegel und sind im vorliegenden Fall die Ursache für die stationären, stehenden Wellen. Im Modellversuch wurde in einer speziellen Versuchsserie die Sohle mittels grober Geschiebekomponenten angereichert, worauf die Wellen nicht mehr auftraten und sich die Strömung gleichmässiger verlief. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Volkart (1972), wonach der Bildung und dem Umschlagen des Kolks durch eine Abpflästerung der Sohle zwischen den Traversen begegnet und so die Stabilität des Traversensystems erhöht werden kann.

Instationäre, laufende Wellen

Instationäre Wellen, die sich entlang des Gerinnes fortbewegen, wurden bereits 1991 an einem kleineren Gebirgsfluss, der Ruetz, in der Nähe von Innsbruck beobachtet und von einem Betrachter gefilmt. Damals wurden die seitlichen Dämme, die auf einen 100-jährlichen Abfluss dimensioniert waren, durch die laufende Welle bereits bei einem 20-jährlichen Hochwasserabfluss schwallartig überflutet (Ganz, 2003). Es kam zu Schäden auf einem nahe liegenden Campingplatz, Menschenleben waren zum Glück keine zu beklagen. Im Rahmen einer Dissertation an der Universität Innsbruck untersuchte Ganz (2003) das Phänomen instationärer Wellen im physikalischen Modell. Premstaller (2006) führte die Untersuchungen fort, wobei er eine hybride Methodik verwendete, d. h. er kombinierte physikalische Versuche und numerische Berechnungen. Premstaller konnte zeigen, dass die Ursache für die Bildung instationärer Wellen in der Dynamik des Wechselsprungs liegt. Tritt in einem Becken ein Wechselsprung auf, so ist dessen Position nicht fest, sondern unterliegt instationären Schwankungen. Dies führt dazu, dass sich in einem Feld periodisch (Wasser-)Masse ansammelt und beim Vorliegen einer genügend grossen Stützkraft auch wieder entleert (Abb. 5.22). Dieser Massenaustausch findet bei jedem Wechselsprung statt. Besonders ausgeprägt ist er allerdings, wenn im Feld ein oszillierender Wechselsprung auftritt und v. a. wenn sich die Geometrie des Beckens durch Kolkung (bzw. Ablagerung) innert kurzer Zeit verändert. In diesen Fällen ist die räumliche Verschiebung von Masse viel grösser als beim klassischen Wechselsprung. Premstaller und Rutschmann (2007) haben gezeigt, dass grosse Wellen auftreten können, wenn die Froude-Zahl über einer Absturzschwelle den Wert 1.4 aufweist.

Abb. 5.22 > Numerisch simulierte Zustände in zwei aufeinander folgenden Schwellenfeldern (oben) und Massenbilanzen für das erste Feld (unten).



aus Premstaller (2006)

Wellenausbreitung

Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen abhängig von der Quadratwurzel der Wassertiefe ist, bewegen sich kleinere Wellen langsamer, grössere aber schneller flussabwärts. Obliegt nun die Wechselsprungbildung in einem Feld einer gewissen Zufälligkeit und entstehen hieraus einmal etwas kleinere und einmal etwas grössere Massenverschiebungen, so breiten sich die entsprechenden Wellen – wie dies auch im Fall der Kleinen Schliere beobachtet wurde – unterschiedlich schnell aus und grössere Wellen können kleinere bei genügender Fliesszeit einholen.

5.3.4 Folgerungen

Ursachen

In der Kleinen Schliere zeigte sich während des Hochwassers vom August 2005 ein hydraulisches Phänomen, wie es in dieser Form in der Schweiz erstmalig beobachtet und dokumentiert wurde. Das heisst allerdings nicht, dass entsprechende Zustände nicht auch an anderen Gewässern bereits aufgetreten sind oder auftreten können. Wie das Beispiel der Kleinen Schliere zeigt, ist die Ursache für das Auftreten von Wellen – insbesondere der hohen, instationären Einzelwellen – im Wesentlichen auf das in der Kleinen Schliere vorhandene Traversensystem zurückzuführen. Vor allem in dem mit 5 % Längsgefälle deutlich steileren Abschnitt des korrigierten Gerinnes werden bei seltenen Abflüssen Bedingungen erreicht, die günstig für die Entstehung von Abflussinstabilitäten und somit von instationären Wellen sind.

Erkenntnisse und Konsequenzen

Aus der Analyse des Fallbeispiels der Kleinen Schliere leiten sich folgende Erkenntnisse und Konsequenzen ab:

- Gerinne mit Traversensystemen dürfen im Rahmen der *Gefahrenbeurteilung* nicht allein aufgrund einfacher Berechnungsansätze bezüglich ihrer Abflusskapazität beurteilt werden. Bei der Beurteilung müssen auch die Bildung von *stationären stehenden Wellen* sowie von noch höheren, instationären Einzelwellen sorgfältig geprüft werden. Diesen Phänomenen ist insbesondere bei längeren Traversensystemen entsprechende Beachtung zu schenken.
- Bei der *Massnahmenplanung* sollten prismatische Gerinne mit in regelmässigen Abständen angeordneten Traversen wenn möglich vermieden werden bzw. nur nach eingehender und sorgfältiger Prüfung der möglichen Abflusszustände und unter Berücksichtigung aller übrigen relevanten Aspekte (wie z. B. der Kolkbildung) in Betracht gezogen werden. Da Traversen – v. a. bei grösseren Absturzhöhen – die Durchgängigkeit erschweren und daher aus ökologischer Sicht nicht unproblematisch sein können, sind im Rahmen der Projektierung auch Alternativen zu prüfen. Alternativen zur Sohlenstabilisierung mittels Traversen sind beispielsweise eine grössere Sohlenbreite (Reduktion des spezifischen Abflusses und damit der Sohlenbeanspruchung) oder die Stabilisierung mittels einer kleineren Zahl von Fixpunkten in Form von Blockrampen.

Zur *Sanierung* bestehender Traversensysteme bestehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Limitierung oder Verhinderung der Kolkbildung zwischen den Traversen durch Abpflästerung oder Anreicherung des Sohlenmaterials mit gröberen Komponenten. Bezüglich der Bemessung für diesen Fall sei auf Volkart (1972) verwiesen.
- Lokale Aufweitung des Gerinnes unmittelbar flussabwärts der Traversen in Form eines Rücksprungs der Uferböschungen. Solche Aufweitungen erlauben nicht nur eine seitliche Belüftung des Überfallstrahls, sondern wirken auch dämpfend auf Abflussinstabilitäten.

5.4 Überströmen eines Dammes – Fallbeispiel Ausgleichsbecken Obermatt

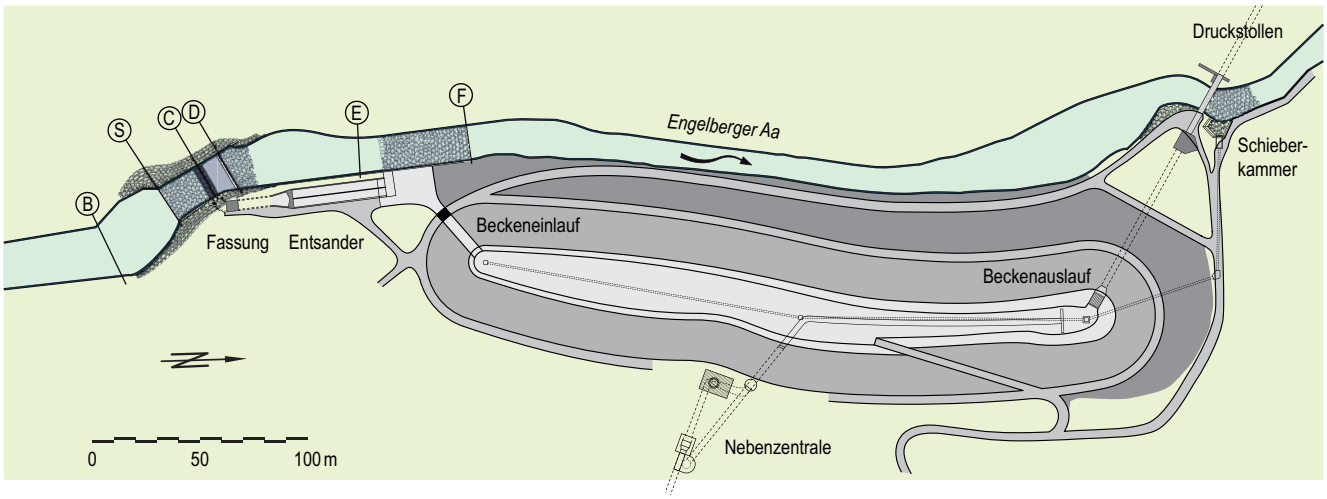
Javier Neves da Silva, Jean-Louis Boillat, Burkhard Rosier, Anton Schleiss

5.4.1 Einführung

Tirolerwehr mit Entsanderanlage

Das Ausgleichsbecken Obermatt der Kraftwerke Engelbergeraa AG befindet sich an der Engelberger Aa zwischen Engelberg und Grafenort. Ein Teil des Abflusses der Engelberger Aa wird mit einem Tirolerwehr gefasst und über eine Entsanderanlage in das Ausgleichsbecken eingeleitet (Abb. 5.23). Im Normalfall beschränkt die mit einem Rechen geschützte Öffnung auf der Wehrschwelle den Zufluss zum Ausgleichsbecken. Durch einen Druckstollen wird das Wasser aus dem Ausgleichsbecken in das Kraftwerk Dallenwil geleitet und dort abturbiniert.

Abb. 5.23 > Situationsplan des Ausgleichsbeckens Obermatt an der Engelberger Aa.



5.4.2 Ereignisablauf

Überflutung der Fassungsanlage beim Hochwasser

Während dem Hochwasser vom August 2005 ist die Engelberger Aa unterhalb der Schwelle des Tirolerwehres entlang der Entsanderanlage über die Ufer getreten (Abb. 5.23, zwischen den Profilen D und E). Grund dafür war eine temporäre, rund 20 min anhaltende, Auflandung im Bereich des Gefällewechsels bei der Fassung in Folge eines massiven Geschiebeeinstosses aus dem Schiessibach wenig oberhalb des Ausgleichsbeckens (Eberli, 2008).

Abb. 5.24 > Austrittstelle im Bereich der Entsanderanlage zwischen dem Tirolerwehr der Fassungsanlage (am rechten oberen Bildrand) und dem oberen Ende des Ausgleichsbeckens.

Foto Schweizer Luftwaffe, 24.08.2005

Verfüllung von Entsander und Einlaufbauwerk mit Geschiebe und unkontrollierter Wassereintritt ins Becken

Die Entsanderanlage sowie der Einlaufbereich in das Ausgleichsbecken wurden innert kurzer Zeit mit Geschiebe verfüllt. Dadurch konnte die Engelberger Aa unkontrolliert in das Ausgleichsbecken eintreten, wie aus Abb. 5.24 auf Grund der Übersarungsspuren ersichtlich ist. Die Geschwemmselspuren am Umfassungszaun des Beckens zeigen, dass Wasser lokal mit einer Tiefe von bis zu 50 cm über den Umfassungsweg direkt in das Becken geströmt ist. Gleichzeitig floss Wasser mit Geschiebe über das Einlaufbauwerk ins Becken, was zu den in Abb. 5.24 sichtbaren, deltaförmigen Ablagerungen im Bereich des Beckeneinlaufs führte.

5.4.3 Gefährdung des Umfassungsdammes des Ausgleichsbecken

Überströmen des Umfassungsdammes

Der ungewollte Füllvorgang des Beckens hat anschliessend zu einem Überströmen des Umfassungsdammes des Beckens geführt (Abb. 5.25). Ein kontrollierter Überlauf über eine Notentlastungsanlage war nicht möglich, da eine solche Vorrichtung fehlt. Der tief liegende Beckenauslauf bzw. die Kraftwerkszentrale waren nicht in der Lage den Wasserspiegel im Becken bei diesem aussergewöhnlichen Zufluss zu kontrollieren.

Erosion der grasbewehrten Böschung

Laut Beobachtungen betrug die Tiefe des den Beckendamm überströmenden Wassers auf der Dammkrone etwa 0.1 m (Kanton Obwalden, 2006). Dies entspricht einer spezifischen Überfallmenge (Wassermenge pro Laufmeter) von 0.1 m²/s. Da allerdings die Dammkrone des Ausgleichsbeckens nicht exakt horizontal verläuft, war die Intensität des entlasteten Abflusses nicht überall gleich (Abb. 5.25). Aus diesem Grund sind nicht entlang des gesamten Dammrückens Erosionen aufgetreten und die Erosion hat zudem auf unterschiedlichen Höhen eingesetzt. Je nach Intensität des Überströmens

hat die Erosion auf einer Höhe von etwa 4.5 bis 8 m unterhalb der Dammkrone begonnen (Abb. 5.26).

Erosionswiderstand der Dammböschung

Gemäss der Literatur (Lachat, 1994) bewegt sich die Grenzbelastung einer Grasnarbe zwischen 20 und 100 N/m². Bei Überströmen des Damms mit einem spezifischen Abfluss von 0.1 m²/s resultieren rechnerisch maximale Schubspannungen von ca. 90 N/m² auf der Höhe der beobachteten Erosionsstellen. Diese Beanspruchung entspricht dem oberen Grenzwert für den Erosionswiderstand der Grasnarbe und erklärt somit das Einsetzen der Erosion an den beobachteten Niveaus auf dem Dammrücken. Um die Erosion zu stoppen, hätte das darunter liegende Dammmaterial einen mittleren Korndurchmesser von 5 bis 10 cm aufweisen müssen. Da der Dammkörper aus Material mit einem mittleren Korndurchmesser von 2 bis 3 cm aufgebaut ist, war dieser während des Hochwassers infolge der einsetzenden Erosion ernsthaft gefährdet. Ein etwas höherer und länger anhaltender spezifischer Abfluss hätte eine Breschenbildung und somit das Auslaufen des Ausgleichsbeckens bewirken können.

Abb. 5.25 > Situation nach Durchgang der Hochwasserspitze.

Kantonspolizei Obwalden, 23.08.05, ca. 08:40 Uhr

Seitenerosion entlang des Beckens

Eine weitere Gefährdung des Ausgleichsbeckens resultierte dadurch, dass die Engelberger Aa entlang des Beckens über ihre Ufer trat und dadurch der Uferschutz zerstört wurde. Dies führte zur teilweisen Erosion des Fusses des Umfassungsdammes (Abb. 5.27). Während der Hochwasserspitze betrug der Wasserstand am Dammfuss etwa 2 bis 3 m.

Abb. 5.26 > Erosion der Grasnarbe und des darunter liegenden Dammmaterials als Folge des Überströmens des Umfassungsdammes.

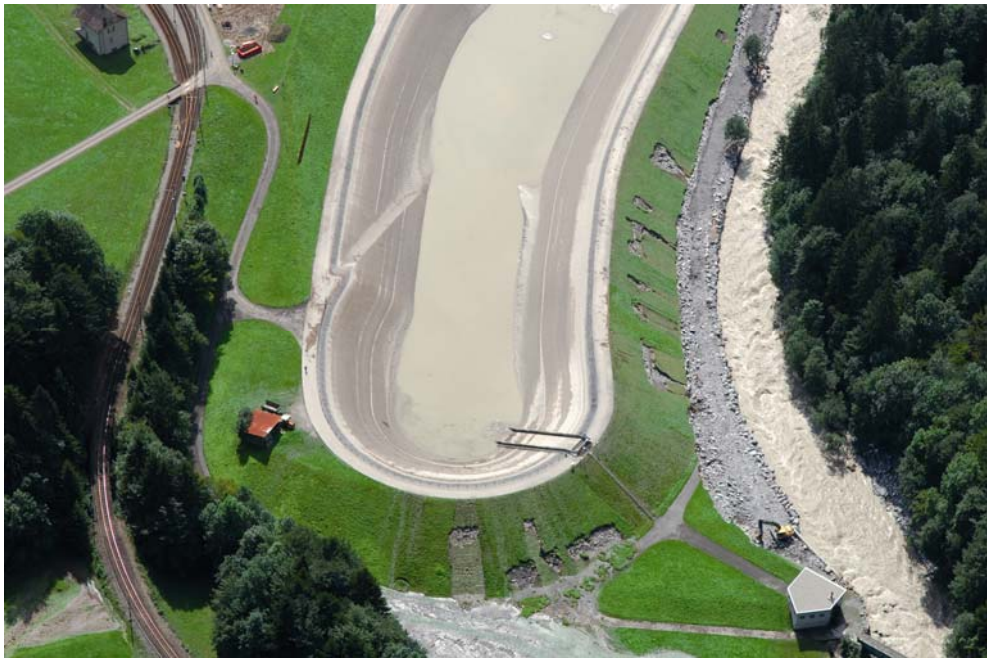


Foto Schweizer Luftwaffe, 24.08.2005

Abb. 5.27 > Ausuferung der entlang des Ausgleichsbeckens verlaufenden Engelberger Aa und Erosion des luftseitigen Fusses des Umfassungsdammes.

Foto: J. Hess, 23.8.2005

5.4.4 Massnahmen für den Überlastfall

Notwendigkeit eines befestigten Überströmbereichs für den Überlastfall

Der Umfassungsdamm des Ausgleichsbeckens Obermatt war während dem Hochwasser durch zwei Prozesse ernsthaft gefährdet. Der gefährlichere Prozess war sicher die unkontrollierte Überströmung des Dammes. Für diesen Überlastfall nahe liegend sind Massnahmen, welche das seitliche Ausbrechen der Engelberger Aa im Bereich des Fassungsbauwerkes verhindern, wie beispielsweise die Erhöhung der rechtsseitigen Ufermauern. Selbst mit einer solchen Massnahme verbleibt ein Restrisiko, dass die Engelberger Aa bei einem Extremereignis allenfalls schon oberhalb des Tirolerwehres seitlich ausbrechen und so unkontrolliert ins Becken eintreten kann. Eine Notentlastung in Form eines Überlaufs im Umfassungsdamm des Beckens zur kontrollierten Abführung des überschüssigen Wassers, wie beispielsweise ein vorgegebener und entsprechend verstärkter Überströmbereich, kann in einem solchen Fall ein Versagen des Umfassungsdammes durch Breschenerosion verhindern.

Notwendigkeit des Schutzes gegen Seitenerosion

Weiter war die Stabilität des Beckenumfassungsdammes durch die seitliche Erosion der Engelberger Aa am luftseitigen Fuss des Dammes gefährdet. Die Seitenerosion kann bis zu einem bestimmten Grad mit den nach dem Hochwasser realisierten Uferschutzmassnahmen verhindert werden. Für den Überlastfall sollte jedoch der Böschungsfuss des Umfassungsdammes zusätzlich mit eingegrabenen Blöcken verstärkt werden.

5.4.5 Folgerungen

Typische Situation

Durch Umfassungsdämme gebildete Ausgleichsbecken von Wasserkraftanlagen sind oftmals parallel zu einem Gewässer angeordnet und werden vielfach durch eine zusätzliche Fassungsanlage gespiesen. Bei solchen Anordnungen bestehen grundsätzlich zwei Gefährdungen bei aussergewöhnlichen Hochwasserereignissen.

Gefährdung durch unkontrollierte Füllung

Einerseits kann das Gewässer die Fassungsanlage überfluten und mit Geschiebe verfüllen, so dass das Wasser unkontrolliert in das Becken eintritt. Falls kein leistungsfähiger Notauslass oder Notüberfall vorhanden ist, besteht die Gefahr, dass die Umfassungsdämme des Beckens überströmt werden. Bei grösseren und lang anhaltenden spezifischen Überfällen muss in einem solchen Fall mit einer Breschenbildung gerechnet werden. Die unkontrollierte Entleerung des Beckens kann – je nach Beckentiefe und -volumen – eine das Hochwasser verschärfende Flutwelle mit entsprechenden Konsequenzen für den Unterlauf verursachen.

Gefährdung durch seitliche Erosion des Umfassungsdammes

Andererseits kann das Gewässer entlang des Ausgleichsbecken seitlich ausbrechen und den Böschungsfuss des Umfassungsdammes des Beckens gefährden. Dies kann letztlich zu ähnlichen Konsequenzen führen.

Massnahmen für den Überlastfall

Um der ersten Gefährdung durch eine unkontrollierte Füllung und anschliessendem unkontrollierten Überströmen des Umfassungsdammes zu begegnen, sollten Ausgleichsbecken, die mit einer Fassungsanlage kombiniert sind, grundsätzlich für den Überlastfall mit einem Notüberfall ausgerüstet werden. Der Gefährdung durch Seitenerosion kann mit einem Uferschutz sowie mit einer sekundären Verstärkung des Böschungsfusses des Umfassungsdammes im kritischen Bereich begegnet werden.

5.5 Erkenntnisse

Schwemmholz braucht freien Abfluss

Das Hochwasser vom August 2005 verdeutlicht, dass Schwemmholz – wie auch Geschiebe – zu einem grossen Hochwasser gehört. Im Vergleich zum Geschiebe kann aber das Holz über bedeutend grössere Distanzen verfrachtet werden und dadurch eine grosse Zahl potenzieller Schwachstellen betreffen. Die 2005 beobachteten Prozesse bezüglich Ansammlung von Schwemmholz und Verklausung bei Brücken und Wehren entsprechen im Grunde der bisherigen Erfahrung. Die Besonderheit des Ereignisses liegt in seiner grossen räumlichen Ausdehnung, die dazu führte, dass eine ausserordentlich grosse Zahl von Bauwerken gleichzeitig betroffen war. Schwemmholz braucht freien Abfluss und die rund 400 Wehranlagen an Schweizer Gewässern stellen 400 potenzielle Hindernisse dar. Von rund 100, vorwiegend an Gebirgsflüssen liegenden, Brücken, welche im Rahmen der Ereignisanalyse untersucht wurden, war fast jede Zweite durch Schwemmholzprobleme betroffen.

Schwemmholz durchleiten wo möglich

Diese Zahlen verdeutlichen, dass in der Vergangenheit dem Schwemmholz bei der Planung von Bauten am und im Wasser und auch bei der Gefahrenbeurteilung zu wenig Beachtung geschenkt wurde. Gemäss dem für Schwemmholz geltenden Grundsatz: «Durchleiten wo möglich, Rückhalten wo nötig» gilt es, potenzielle Schwachstellen zu erkennen und zu entschärfen, beispielsweise durch ein angemessenes Freibord, grosszügige Pfeilerabstände, Verschalungen bei Brücken oder grosszügig dimensionierte Öffnungen bei Wehren. Angesichts der bezüglich des Aufkommens und des Verhaltens von Schwemmholz vorhandenen Unschärfen sind Massnahmen grosszügig zu dimensionieren sowie robust und überlastbar auszulegen.

Erfolgreiche Schwemmholzentnahme aus Seen

Dort, wo es 2005 gelang das Schwemmholz bis in den nächsten See abzuleiten, konnte es in der Folge erfolgreich geräumt werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass mittels geeigneter Schwimmsperren eine Ausbreitung verhindert wird. Dies bedingt die Verfügbarkeit des benötigten Materials, eine rasche und vorbereitete Intervention und somit eine entsprechende Notfallplanung. Zentral für eine rasche Intervention ist zudem die direkte Kommunikation unter den Einsatzkräften entlang eines Flusses.

Schwemmholz fest in die Planung integrieren

Diese Erkenntnis zeigt die Notwendigkeit, den Umgang mit Schwemmholz als festen und integralen Bestandteil in die Planung wasserbaulicher Massnahmen sowie in die Notfallplanung miteinzubeziehen. Hiess es nach der Ereignisanalyse des Hochwassers von 1987 noch, «ob auch an das Geschiebe gedacht wurde», so lautet heute die zusätzliche Frage, «ob auch an das Schwemmholz gedacht wurde».

Wellen in der Kleinen Schliere durch des Traversensystem bedingt

Die intensive Wellenbildung in der Kleinen Schliere bei Alpnach ist durch das zur Sohlensicherung vorhandene Traversensystem bedingt. Dass die Anordnung von Schwellen in regelmässiger Abfolge mit dazwischen liegender alluvialer Sohle die Bildung stationärer, stehender Wellen begünstigt, entspricht bisherigen Erfahrungen. Auch die Bildung instationärer und sehr hoher Einzelwellen, die sich in unregelmässigen zeitlichen Abständen mit der Strömung flussabwärts bewegen, ist auf das Vorhandensein einer regelmässigen Abfolge von Fliesswechseln zurückzuführen, wie sie für Traversensysteme charakteristisch ist. Die hydraulischen Bedingungen, unter

welchen solche Phänomene auftreten, lassen sich heute quantifizieren. Somit lassen sich bestehende Systeme hinsichtlich kritischer Situationen beurteilen. Sowohl aus hydraulischen als auch aus ökologischen Gründen (Durchgängigkeit) sind Traversensysteme nicht unproblematisch.

Überlastung wie in Obermatt auch andernorts möglich

Das unkontrollierte Eintreten eines Teils des Abflusses der Engelberger Aa in das Ausgleichsbecken Obermatt führte zu einer für die Unterlieger kritischen Situation. In diesem Sinn stellt der Vorgang vom August 2005 ein typisches Beispiel für einen Überlastfall dar, der Dank günstiger Umstände keine unkontrollierbaren Prozesse, wie den Bruch des Beckendamms und die Bildung einer Flutwelle, zur Folge hatte. Die Anordnung des Beckens entlang des Flusses ist typisch für eine Reihe weiterer Anlagen. Somit stellt das Ereignis vom August 2005 ein Szenario dar, dass auch andernorts zu berücksichtigen ist. Generell sollten solche Ausgleichsbecken immer eine grosszügig bemessene Hochwasserentlastung bzw. eine Notentlastung in Form eines Überlaufs im Beckendamm aufweisen und somit das System robust und überlastbar konzipiert sein.

«Denke das Undenkbare» um darauf vorbereitet zu sein

Die Fallbeispiele der Kleinen Schliere und des Ausgleichsbeckens Obermatt zeigen, dass vermeintlich «Undenkbares» doch eintreten kann. Die grosse Herausforderung besteht darin, zu erkennen wo sich solche Szenarien ereignen können. Dadurch können «undenkbare» Ereignisabläufe rechtzeitig erkannt werden, damit – falls nicht durch bauliche Massnahmen die Überlastbarkeit der Systeme gewährleistet werden kann – genügend Zeit für organisatorische Massnahmen verbleibt.

Literatur:

Amt für Wald Kanton Graubünden 2006: Hochwasser 22/23.08.2005, Klosters-Serneus, Kanton Graubünden.

Kanton Obwalden 2006: Unwetter 22./23. August 2005 – Ereignisdokumentation, Amt für Wald + Raumentwicklung des Kantons Obwalden, Sarnen.

Bezzola G.R., Gantenbein S., Hollenstein R. und Minor H.-E. 2002: Verklausung von Brückenquerschnitten, VAW-Mitteilung 175, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich: 87–97.

Eberhard A., Diezig R., Kan C., Sigrist B. 2007: Hydrologie Fliessgewässer. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 39–70.

Eberli J. 2008: persönliche Mitteilung vom 19. Mai.

Ganz T.F. 2003: Entstehung und Entwicklung von Abflussinstabilitäten bei Absturztreppen, Dissertation Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich.

geo7, Schälchli, Abegg + Hunzinger 2006: Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Diemtigtal, Hochwasser 2005 im Diemtigtal, Kanton Bern.

Kanton Luzern 2005: Ereignisdokumentation Unwetter August 2005, Fotodokumentation Ereignis entlang Kleiner Emme.

Lachat B. 1994: Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'Environnement. DIREN Rhône-Alpes. Paris: 143 p.

Lange D. und Bezzola G.R. 2006: Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze, VAW-Mitteilung 188, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Linthverwaltung 2006: Hochwasser Linth- und Escherkanal August 2005, Schlussbericht.

Oeko-B AG / Niederer + Pozzi Umwelt AG 2006: Ereigniskataster Nidwalden Unwetter August 2005, Ereignisdokumentation im Auftrag des Kantons Nidwalden, Amt für Wald und Energie/Tiefbauamt.

Premstaller G. 2006: Hybrid investigation of wave formation in steep, stepped channels, Dissertation Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich.

Premstaller G., Rutschmann P. 2007: Three-dimensional numerical investigation of flow regimes in step-pools – Limits of unsteady wave generation. Proceedings, 32nd IAHR Congress, Venice Italy. Volume 2: 628 p.

Volkart P. 1972: Die Stabilisierung von Flussläufen mittels einer Folge von Querschwellen, Mitteilung Nr. 6, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich.

Waldner P., Rickl C., Köchli D., Usbeck T., Schmocker L., Sutter F. 2007: Schwemmholz, In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 181–193.

6 > Fachtechnische Analyse der Gefahrengrundlagen

Hans Kienholz, Helen Gosteli, Monika Fässler, Simone Aeberhard

Die Ereignisse vom August 2005 haben gezeigt, dass die durchgeführten Gefahrenbeurteilungen auch gegenüber aussergewöhnlichen Situationen relativ robust sind. Die Gefahrenkarten – Produkte der Gefahrenbeurteilung – haben die Prozessräume der Ereignisse insgesamt gut abgedeckt. Einzelne Fallbeispiele, bei welchen die 2005 erreichten Intensitäten und Prozessausdehnungen nicht mit den Aussagen der Gefahrenkarte übereingestimmt haben, wurden mit Experten diskutiert und aus den Gesprächen Empfehlungen abgeleitet.

6.1 Einleitung

Gefahrenkarten gesamthaft gut

Von den Unwettern im August 2005 waren in der Schweiz 884 Gemeinden betroffen. Knapp 30 % dieser Gemeinden verfügten über eine Gefahrenkarte. In über 90 % der vorhandenen Gefahrenkarten waren die vom Ereignis betroffenen Gebiete vollständig und zutreffend erfasst. Dies ist angesichts der Aussergewöhnlichkeit der Ereignisse von 2005 ein beachtlicher Prozentsatz. Daraus kann geschlossen werden, dass die in den vergangenen Jahren durchgeführten Gefahrenbeurteilungen und das daraus abgeleitete Produkt Gefahrenkarte gesamthaft gut sind.

Aus Problemfällen lernen

Für die Fachwelt sind allerdings diejenigen Gefahrenbeurteilungen und -karten am interessantesten, denen die Ereignisse in ihrem Ausmass, in ihren Wegen oder Intensitäten nicht vollständig entsprochen haben. Der vorliegende Bericht bezieht sich deshalb hauptsächlich auf jene ca. 10 % der Gefahrenkarten (bzw. Ausschnitte davon), bei welchen die Ereignisse 2005 zu entsprechenden Diskussionen führten.

Lehren im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung

Das Ziel der vorliegenden Analyse ist es, aus untersuchten Fallbeispielen allgemeine Lehren im Hinblick auf Gefahrenbeurteilungen und Gefahrenkarten zu ziehen. Dies indem

1. besondere Aufmerksamkeit auf die Szenarien und Beurteilungskriterien gerichtet wird, die der Gefahrenbeurteilung zugrunde liegen.
2. Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Gefahrenbeurteilung und -karten aufgezeigt werden.

6.2 Vorgehen

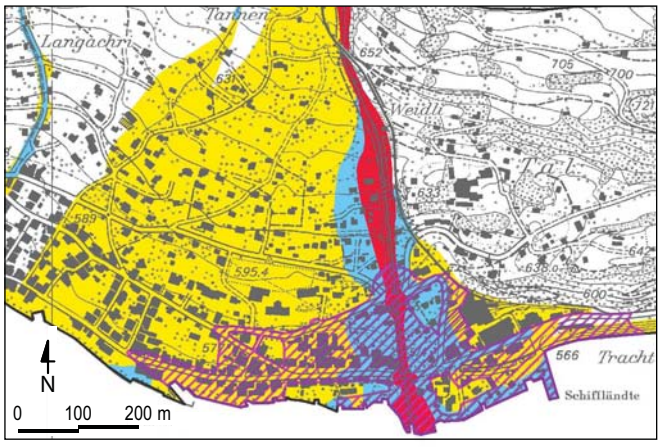
Auswahl Fallbeispiele

Die Auswahl der entsprechenden interessanten Fallbeispiele erfolgte in Gesprächen mit den zuständigen kantonalen Fachstellen. Im Anschluss wurden in der Regel zwei Fachgespräche mit dem Gefahrenbeurteiler, d. h. dem Projektleiter der entsprechenden Gefahrenkarte, geführt.

Vergleich Gefahrenkarte – Prozessraum 2005

Zentrales Element bei der Analyse der Fallbeispiele war die Gegenüberstellung der vor den Ereignissen 2005 erstellten Gefahrenkarten mit den 2005 betroffenen Prozessräumen (Abb. 6.1). Dabei gilt es zu beachten, dass die Ereignisse vom August 2005 eine einzige Realisierung von zahlreichen denkbaren Szenarien darstellen, deren Wahrscheinlichkeit wir nur annäherungsweise bestimmen können. Anhand eines einzelnen Ereignisses lässt sich nicht definitiv feststellen, ob eine Gefahrenbeurteilung angemessen war bzw. ist oder ob die Gefahr überschätzt wurde. Sofern es möglich ist, die eingetretenen Intensitäten zu rekonstruieren, kann lediglich eine allfällige Unterschätzung festgestellt werden. In erster Näherung wird daher für den einzelnen Gefahrenkarten-Ausschnitt der *Prozessraum 2005* dem *Gefahrenkarten-Bereich* bzw. dem *Gefahrenkarten-Gesamtbereich* gegenübergestellt (Tab. 6.1 und Tab. 6.2).

Abb. 6.1a > Die Gefahrenkarte Trachtbach Brienz (vor August 2005 erstellt) überlagert mit der Prozessfläche.



Gefahrenstufen
- erhebliche Gefährdung
- mittlere Gefährdung
- geringe Gefährdung
- Restrisiko

Prozessfläche
- Übermurung, Übersarung, Überflutung

Karte: Geo7, Bern; Eintrag Prozessraum: Markus Zimmermann, NDR Consulting GmbH, Thun

Abb. 6.1b > Luftaufnahme vom Prozessraum des Ereignisses im August 2005 in Brienz.

Foto: Flotron AG, Meiringen

Tab. 6.1 > Bezeichnungen von Flächen, Gebieten, Bereichen.

Bezeichnung	Bedeutung
Prozessraum 2005	Von verschiedenen Prozessen der Ereignisse 2005 betroffene Flächen
Gefahrenkarten-Bereich	In der betrachteten Gefahrenkarte als gefährdet ausgewiesener Bereich (roter, blauer, gelber Bereich gemäss den Bundesempfehlungen)
Gefahrenkarten-Restgefährdungsbereich	In der Gefahrenkarte als Restgefährdung ausgewiesener Bereich (gelb-weiss schraffierter Bereich gemäss den Bundesempfehlungen)
Gefahrenkarten-Gesamtbereich	Gesamter in der betrachteten Gefahrenkarte als gefährdet ausgewiesener Bereich (roter, blauer, gelber Bereich + Restgefährdungsbereich)

Kriterien Problemfälle

Nach einer Übersicht über die generellen Feststellungen bezüglich der Fallbeispiele (Tab. 6.2) werden einige wichtige Ergebnisse aus den umfangreichen Untersuchungen und Diskussionen festgehalten. Hier soll betont werden, dass sich selbst bei den für die Ereignisanalyse ausgewählten Fallbeispielen grösstenteils nur geringe Differenzen zwischen den Gefahrenkarten-Gesamtbereichen und den Prozessräumen des Ereignisses 2005 zeigten. Anlass zu Diskussionen gaben jedoch v. a. die in verschiedenen Fällen nicht erwarteten hohen Intensitäten.

6.3 Gefahrenkarten im Rückblick auf das Ereignis 2005

6.3.1 Fallbeispiele – eine zusammenfassende Gesamtschau

Die Vorarbeit zum vorliegenden Bericht umfasste die Sichtung der in den betroffenen Gemeinden vorhandenen Gefahrenkarten und dort eine anschliessende Diskussion, wo die abgelaufenen Prozesse bezüglich Gefahrenbeurteilung speziell interessierten und für andere Gebiete eine Relevanz zu erwarten war.

Erfassung der Prozessräume und Szenarien

Tab. 6.2 zeigt als Übersicht und in grober Annäherung, in welchen Fallbeispielen Differenzen zwischen den Gefahrenkarten und den Prozess- und Wirkungsräumen geortet wurden. Die Gegenüberstellung richtet sich sowohl an die Benutzer wie auch an die Autoren von Gefahrenkarten.

- Die *Spalten 4 bis 7* der Tabelle zeigen, inwiefern die Ausdehnung der Prozessräume und die Prozessarten der Ereignisse 2005 in den Gefahrenkarten erfasst waren. Diese Aussagen sind primär für die *Benutzer von Gefahrenkarten* relevant. Die Kommentierungen in Spalte 7 sind mit erheblichen Unschärfen behaftet, da die Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten im Falle der Ereignisse 2005 mancherorts unsicher ist.
- Die *Spalten 8–10* fassen verschiedene Hinweise zu berücksichtigten Szenarien und Einschätzungen der Prozessketten zusammen. Diese Aussagen richten sich an *Experten bzw. Autoren der Gefahrenkarten.* Angesichts der nicht oder nur teilweise erwarteten Auslösungs- und Entstehungsvorgänge sowie einiger Prozessabläufe gilt es nun, die Gründe für deren Nichtberücksichtigung in den Szenarien zu suchen, weil daraus für die zukünftige Szenarienbildung viel gelernt werden kann.

Tab. 6.2 > Übersicht über die untersuchten Fallbeispiele und die Aussagen der GK in Bezug auf das Hochwasser 2005.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gewässer/Ort	Gemeinde	Kanton	Prozessraum 2005 innerhalb des GK-Gesamtbereichs	Prozessraum 2005 innerhalb des engeren GK-Bereichs	Prozessart 2005 in der GK abgebildet	Intensität in der GK abgebildet	Entstehungsszenarium / Auslösungsprozess erfasst	Szenarium der Ereigniskette vor/oberhalb Wirkungsgebiet erfasst	Szenarium der Ereigniskette im Wirkungsgebiet erfasst
Wildbäche									
Schwarzbach	Reichenbach	BE							
Schwendibach	Grindelwald	BE							
Glyssibach	Brienz	BE							
Trachtbach	Brienz	BE							
Alpbach/Milibach	Meiringen	BE							
Schlappinbach	Klosters – Serneus	GR							
verschiedene Gräben	Stans	NW							
Buoholzbach	Wolfenschiessen	NW							
Haldibach (Oberrickenbach)	Wolfenschiessen	NW							
Secklisbach (Dörfli)	Wolfenschiessen	NW							
Firnerengraben, Lochgraben, Türligraben	St. Niklausen	OW							
Rappenbach	Schänis	SG							
Lauibach	Weesen	SG							
Gebirgs- und Talflüsse									
Spiggebach/Gornerewasser (Boden)	Reichenbach	BE							
Chiene (Kien)	Reichenbach	BE							
Kander	Reichenbach	BE							
Landquart	Klosters – Serneus	GR							
Aare	Meiringen	BE							
Kleine Emme	Malters	LU							
Mündung Melchaa	Sarnen	OW							
Rutschungen									
Cholrüti	Kerns	OW							
Laugneri	Weggis	LU							

Legende:

Zutreffend | Meist zutreffend | Teilweise zutreffend | Eher unterschätzt | Nicht erwartet | In Gefahrenkarte nicht beurteilbar[1]

[1] nicht beurteilbar, da Restgefährdungsbereich in der Gefahrenkarte nicht ausgeschieden

Zwischenbilanz

Zu wenig berücksichtigt wurden bislang v. a. die lang andauernden und ergiebigen Niederschläge mit entsprechend lang andauernden und relativ hohen Abflüssen sowie die dadurch mögliche Koinzidenz von grösseren Massenbewegungen bei gleichzeitig hohem Transportvermögen der Gewässer. Interessant ist die Tatsache, dass in einigen Fällen trotz nicht berücksichtigten Auslösungsszenarien die nachfolgenden Prozessketten und in der Regel auch die Prozessräume weitgehend zutreffend eingeschätzt wurden. Dass andere gut gewählte Auslösungsszenarien die Vorgänge stellvertretend erfassen können und die Gesamtmethodik der Gefahrenbeurteilung eine gewisse Robustheit aufweist, zeigt das folgende Beispiel des Schwendibachs. Anhand dieses Fallbeispiels sollen einige Aspekte im Zusammenhang mit Gefahrenbeurteilungen und Gefahrenkarten konkret illustriert werden.

6.3.2 Das Beispiel Schwendibach Grindelwald

Einzugsgebiet Schwendibach

Das grossräumige Einzugsgebiet des Schwendibachs (Abb. 6.5), der bei Grindelwald Schwendi in die Schwarze Lütschine mündet, umfasst die Teileinzugsgebiete des Büössalpbachs ($E = 5.8$ km²), des Burstgrabens ($E = 0.7$ km²) und des Abbachs ($E = 4.3$ km²). Im Bericht zur Gefahrenbeurteilung wird das Einzugsgebiet des Schwendibachs wie folgt beschreiben:

Es «liegt vollständig in den mesozoischen Sedimenten der Wildhorndecke. Im Teileinzugsgebiet des Abbaches sind hauptsächlich Eisensandsteine und Aalénienschiefer anzutreffen. Das Einzugsgebiet des Büössalpbaches wir im oberen Teil durch sandige Kalke und Tonschiefer des Bajociens aufgebaut. Insbesondere bei den tonig-schiefrigen Komponenten dieser Gesteinsschichten besteht eine erhöhte Gefahr zu Hanginstabilitäten und zu Murgängen. Die kalkigeren Anteile dagegen, welche eher im unteren Einzugsgebiet auftreten, sind in der Regel stabiler und bilden in den Bachgerinnen eine stabile Sohle» (Geo7, 2006).

Szenarien Schwendibach

In Tab. 6.3 sind die wichtigsten Erwägungen, die bei der Szenarienbildung gemacht wurden, wörtlich zitiert. Die daraufhin erstellte Gefahrenkarte wurde im Juli 2005 definitiv der Gemeinde Grindelwald übergeben (Abb. 6.3a).

Tab. 6.3 > Zusammenstellung von Fakten und wichtigen Überlegungen zur Gefahrenbeurteilung des Schwendibaches vor Juli 2005.

Mit HQ_x und G_x werden die Spitzenabflüsse bzw. Geschiebefrachten eines Ereignisses mit der Wiederkehrperiode von x Jahren bezeichnet.

Charakteristik	Die Teileinzugsgebiete befinden sich teilweise in unterschiedlichen Geländekammern und könnten daher bei einem Ereignis auch unterschiedlich reagieren		
Ereignisse dokumentiert	Am 3. 8.1906 brachte ein ausserordentlich starkes Hagelwetter riesige Schuttmassen im oberen Einzugsgebiet des Abbaches ins Rutschen. Es entstand ein Murgang, der den Talboden bei Schwendi inkl. Strasse und Bahn teilweise meterhoch überführte. Die Lütschine wurde zurückgestaut und aus ihrem Bett gedrängt. Ende 1950er Jahre wurde die Bussalp mit viel Geschiebe überführt. Die Schuttmassen lagen bis 0.5 m hoch, Ablagerung zwischen 1780 und 1690 m ü. M.		
Ereignisspuren vorhanden	ja		
massgebende Abflusskapazität Gerinne im Siedlungsgebiet (Reinwasser)	17 m³/s		
Abflussspitzen	HQ_{30}	HQ_{100}	HQ_{300}
	26.0 m³/s	40.0 m³/s	52.0 m³/s
mobilisierbares Geschiebepotenzial im Einzugsgebiet	G_{30}	G_{100}	G_{300}
Total	6'500 m³	16'000 m³	28'000 m³
• aus Gerinne Teiffengraben	5'000 m³	12'000 m³	20'000 m³
• aus Runsen unterhalb Rotenegg	1'500 m³	2'000 m³	3'000 m³
• aus Rutschungen	0 m³	2'000 m³	5'000 m³
Relevanter Prozess	Murgang, Übersarung		
Wirkung bestehender Schutzbauten	Kleine Erddämme und Mauern bilden einen gewissen Schutz für die bestehenden Gebäude, können aber bei grossen Ereignissen das Eindringen von Wasser und Geschiebe nicht verhindern.		
Schwachstellen	• Bei 930 m ü. M. evtl. grossflächigeres Ausbrechen und Überführen mit Geschiebe bei Grossereignis möglich. Einmündender Büössalpbach verstopft Gerinne und stoppt Murgang aus Abbach. • Ausbruch beim 100 j. Ereignis auf 920 m ü. M., ebenfalls durch Verstopfung durch Büössalpbach. • Auf 1005 m ü. M. besteht die Möglichkeit einer Verklausung an der Brücke.		
Gefahrenbewertung und Gefahrenstufen	• Beim 30-jährlichen Ereignis kommt es aufgrund des Geschiebeeintrages aus dem Büössalpbach zu einer Verklausung im Bereich der Einmündung und zu anschliessender Ausuferung. Auf der ganzen Fläche rechts und links des Baches bis zum parallel verlaufenden Fahrweg treten hohe Intensitäten (rote Gefahrenstufe) auf. Im Gebiet oberhalb der Staatsstrasse, zwischen Bach und Fahrstrasse, nehmen die Ablagerungshöhen aufgrund der breitflächigen Ablagerung ab und die Intensitäten reduzieren sich um eine Stufe (blaue Gefahrenstufe). • Auch beim 100-jährlichen Ereignis führt der Geschiebeeintrag aus dem Büössalpbach zu Verklausung und Auflandung im Schwendibach. Jedoch werden durch den deutlich höheren Geschiebeanfall aus dem Abbach die durch Übersarung betroffenen Areale deutlich grösser. Mit hoher Intensität sind die bachnahen Gebiete zwischen Hangfuss und Fahrstrasse betroffen. Mit mittlerer/schwacher Intensität sind die Flächen bis über die Staatsstrasse hinaus betroffen. Auch auf diesen Flächen treten Geschiebeablagerungen auf (blaue Gefahrenstufe). Selbst ohne Aufstau durch den Büössalpbach wäre das Gerinne unterhalb zu klein und es käme zu Ausuferungen. • Beim 300-jährlichen Ereignis besteht eine grosse Gefährdung durch einen Ausbruch am Kegelhals des Schwendibachs auf 950 m ü. M. Während eines Grossereignisses können mehrere Murschübe das Gerinne auffüllen (notwendig dazu sind einige tausend m³). Zudem kommt es bei der Einmündung des Büössalpbaches zu einem Aufstau und Auflandungen im Gerinne. Ein Ausbruch erfolgt hauptsächlich auf der linken Bachseite. Mit hoher Intensität durch Murgang und Geschiebe sind grosse Gebiete bis an die Staatsstrasse betroffen. Mittlere Intensität tritt bis an die Lütschine auf.		

ARGE GK Grindelwald, 2005

Abb. 6.2a > Intensitätskarte 100-jährlich im Schwemmkegelbereich des Schwendibachs.

geringe Intensität mittlere Intensität hohe Intensität

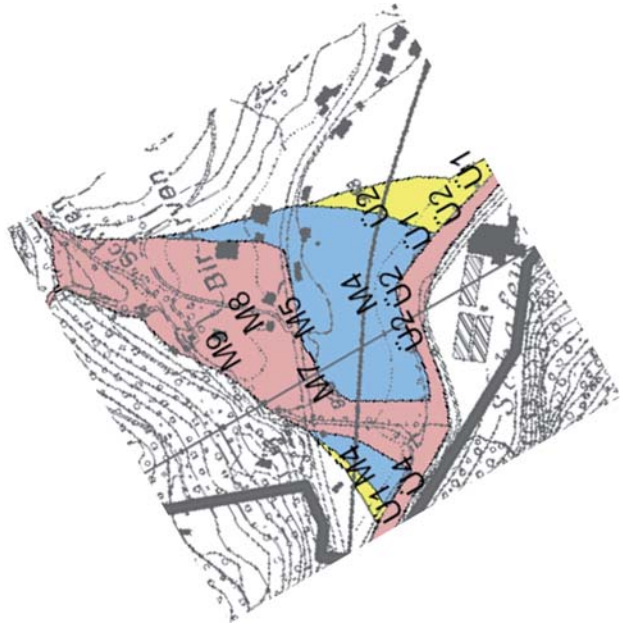
Karte: ARGE GK Grindelwald, 2005

Abb. 6.2b > Intensitätskarte 300-jährlich im Schwemmkegelbereich des Schwendibachs.

geringe Intensität mittlere Intensität hohe Intensität

Karte: ARGE GK Grindelwald, 2005

Abb. 6.3a > Gefahrenkarte vom August 2005 im Schwemmkegelbereich des Schwendibachs.



geringe Gefährdung mittlere Gefährdung erhebliche Gefährdung

Karte: ARGE GK Grindelwald

Abb. 6.3b > Schadensbild vom August 2005 im Schwemmkegelbereich des Schwendibachs.

Foto: Flotron AG, Meiringen, 23.8.05

Prozessraum und Intensität in der Wirkungszone

Das Ereignis vom August 2005 hat zu einem Schadenbild geführt, das mit dem Szenarium 100-jährlich in den Intensitätskarten (Abb. 6.2) gut erfasst gewesen ist. Die eingetretenen Intensitäten (Ablagerungsmächtigkeiten) entsprachen recht genau den Abschätzungen in der Gefahrenbeurteilung. Bezogen auf das Ereignis 2005 hat die Gefahrenkarte hier gute Aussagen gemacht (Abb. 6.3).

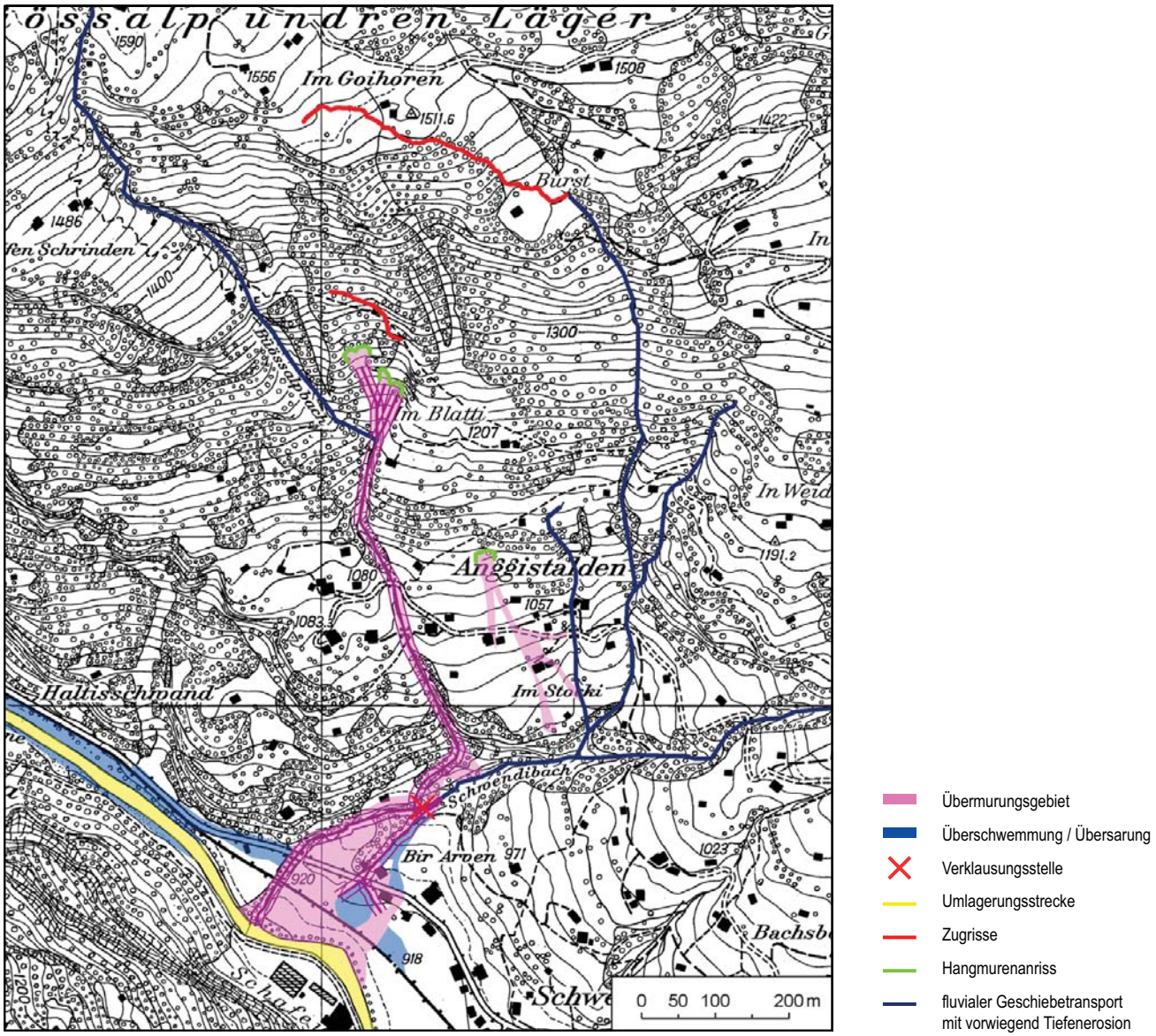
Auslösendes Szenario nicht berücksichtigt

Die Ereignisdokumentation und genauere Analysen zeigen nun allerdings, dass am 23. August 2005 ein Ereignisablauf stattgefunden hat, der in keinem Szenarium erfasst war. Im Gebiet im Blatti (grüne Markierungen in Abb. 6.5) kam es infolge grosser Hangwasserdrücke und Wassersättigung des Bodens zu Brüchen. Das Lockergestein, das aus Verwitterungsschutt mit Moränenresten besteht und auf Kalksandstein und Mergel aufliegt, glitt vermutlich in der Initialphase als flach- bis mittelgründige Rutschungen ab. Diese gingen wegen der grossen Wassermengen und der Steilheit sofort in Hangmuren über, die sich nach kurzer Distanz in den vermutlich kaum Geschiebe führenden Büössalpbach ergossen und sich als Murgang mit grosser Erosionskraft bis zum Kegel des Schwendibachs fortbewegten. Dabei sind neue Quellen und Wasserwege eröffnet worden. Gemäss Aussagen von Augenzeugen waren im orographisch rechten Teil des Anbruchs Oberflächenabfluss und Spülprozesse sichtbar. Abb. 6.4 zeigt, dass auch einige Stunden nach dem Bruch ergiebige Bäche aus dem Untergrund flossen und dass Spülprozesse bei der Materialverfrachtung in den Büössalpbach (unterer Bildrand) wohl eine wichtige Rolle spielten. Ausserdem ist zu sehen, dass eine mehrere Meter tiefe Hohlform und im unteren Teil, vor der Mündung in den Büössalpbach, ein neues tiefes Gerinne entstanden sind. Im übrigen haben sich weitere Bewegungen im Fels oberhalb der in Abb. 6.4 sichtbaren Anbrüche abgespielt. Die im Gelände sichtbaren Risse sind in Abb. 6.5 rot markiert.

Abb. 6.4 > Rutschung in den Büösalpbach bei Im Blatti.

Foto: Flotron AG, Meiringen, 23.08.2005

Abb. 6.5 > Ereigniskarte August 2005 für das Einzugsgebiet des Schwendibachs.



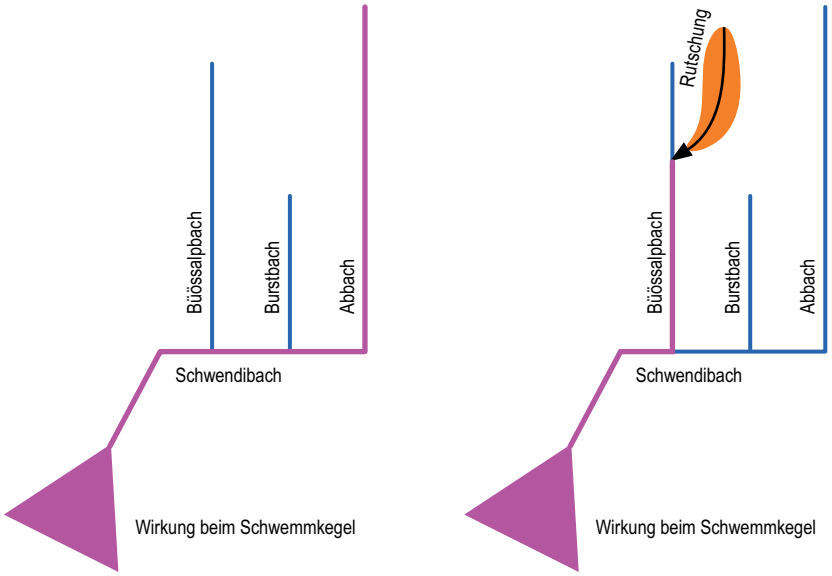
Karte: Gertsch und Kienholz 2005

Das im Einzugsgebiet des Schwendibachs im August 2005 abgelaufene Entstehungs- und Auslösungsszenarium war von den Autoren der Gefahrenkarte nicht erwartet worden (Tab. 6.2). Abb. 6.6 verdeutlicht den Unterschied zwischen dem angenommenem 100-jährlichen Hauptszenarium und dem 2005 abgelaufenen Ereignis.

Abb. 6.6a > Schema Schwendibach (Grindelwald): Hauptszenario 100-jährlich (Abbach als Hauptgeschiebelieferant).

Abb. 6.6b > Schema Schwendibach (Grindelwald): Ereignis von 2005 (Rutschung als Hauptgeschiebelieferant).

Die Auswirkungen der beiden Szenarien im Wirkungsgebiet auf dem Kegel des Schwendibaches sind in beiden Fällen dieselben.



Robuste Gefahrenbeurteilung

Das Beispiel Schwendibach zeigt, dass auch nach sorgfältigen Gefahrenbeurteilungen unerwartete bzw. als zu wenig wahrscheinlich eingestufte Ereignisse und Ereignisketten eintreten können. Diese müssen aber nicht in jedem Fall zu völlig unterschiedlichen Schadenbildern im Wirkungsgebiet führen. Im Fall Schwendibach haben sich die Szenarien im Wirkungsgebiet als robust gegenüber einer nicht erwarteten bzw. nicht berücksichtigten Ereigniskette im Einzugsgebiet erwiesen.

Blick öffnen

Allgemein haben die Ereignisse im August 2005 gezeigt, dass bei der Gefahrenbeurteilung künftig der Blickwinkel vergrössert werden muss: Auch wenn keine oder kaum Indizien vorhanden sind, kann beispielsweise ein Hang abrutschen. Auch wenn das grösste historisch bekannte Ereignis das Dorf nicht erreicht hat, kann ein zukünftiges bis zu den Häusern reichen und diese beschädigen. Es können durchaus Ereigniskombinationen auftreten, die im betreffenden Gebiet bisher unbekannt waren, aber nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden können. Deshalb muss bei der Gefahrenbeurteilung versucht werden, auch schwer vorstellbare Prozessabläufe in die Beurteilung einzubeziehen. Diese Szenarien müssen anschliessend auf ihre Robustheit überprüft werden.

6.3.3 Ereignisdauer, Schwellenprozesse und Prozessketten

Keine unerwarteten Einzelprozesse

Dass die meisten Gefahrenkarten die Ereignisse 2005 in den wesentlichen Punkten erfasst haben, ist auch darauf zurückzuführen, dass es keine grundlegenden Überraschungen bezüglich der Prozesse selbst gab: Rutschungen, Erosion, Murgänge, starke Geschiebeführung in Gewässern, Sohlenauflandungen, Übermurungen und Überschwemmungen stellen an sich keine neuen Phänomene dar.

Unerwartete Prozesskombinationen, zufälliges und chaotisches Verhalten

Von zentraler Bedeutung – und für die heute aktiven Naturgefahrenexperten z. T. ungewohnt – waren spezielle Auslösebedingungen (massgebliche Schwellen überschreitender Hangwasserdruck) und eher selten eintretende Prozesskombinationen und -ketten. Diese umfassen oft nicht nur lineare Zusammenhänge. Sie enthalten auch Zufälligkeiten und chaotisches Verhalten. Schwellenprozesse, Bifurkationen (der Prozess entwickelt sich zufällig entweder in die eine oder andere Richtung) und weitere Phänomene komplexen Verhaltens sind 2005 an zahlreichen Orten aufgetreten. Sie wurden bei den Gefahrenbeurteilungen in vielen Szenarien explizit oder implizit erfasst, haben jedoch in einzelnen Fällen, v. a. bezüglich Intensitäten, zu Überraschungen geführt.

Schwellenprozess Rutschungen

Typische Schwellenprozesse waren im August 2005 tief- und mittelgründige Rutschungen. Die hohen Wasserdrücke, die sich angesichts der lang andauernden Niederschläge im Untergrund während längerer Zeit aufgebaut haben und auch entsprechend lange wirken konnten, haben zu dieser kritischen Situation geführt. Dort, wo sich die abgelösten Massen in Fliessgewässer verlagert haben, ist es zu Verklausungen mit Rückstau und anschliessendem Durchbruch gekommen (Rutschung Cholrüti in die Grosse Melchaa OW), oder die abgleitenden dickflüssigen Massen haben beim Auftreffen auf das ebenfalls übersättigte Sohlenmaterial des Vorfluters zur Auslösung von Murschüben geführt (Glyssibach, Schwanden/Brienz BE; Haldibach, Wolfenschiessen NW). Die mögliche Koinzidenz von grossen Massenbewegungen mit lang andauernden, relativ grossen Abflüssen und entsprechend grosser Transportkapazität wurde bei Gefahrenbeurteilungen bislang meist als sehr gering wahrscheinlich eingestuft und entsprechende Szenarien daher nicht weiter verfolgt.

Schwellenprozess Erosion

In Gebirgsflüssen hat die lang andauernde grosse Wasserführung zu Erosion, entsprechender Geschiebeführung und nachfolgender Ablagerung im Flussbett bzw. im umliegenden Gelände geführt. Auch hier kann an verschiedenen Orten von einem Schwellenprozess gesprochen werden (Chiene, Reichenbach BE; Weisse Lütschine, Lütschental BE; Engelberger Aa, bei Obermatt OW; Landquart, Klosters GR). Häufig fand die starke Erosion entlang von Gewässerstrecken ausserhalb des Siedlungsbereiches und somit ausserhalb des Gefahrenkarten-Perimeters statt (z. B. Chiene zwischen Kiental und Kien, Reichenbach BE). Diese Geschiebemengen wurden im weiter unten liegenden Gerinneabschnitt – und somit im Perimeter der Gefahrenkarte – wirksam. Dies führte z. T. zu Ablagerungsmächtigkeiten, die höchstens für sehr wenig wahrscheinliche Ereignisse in Betracht gezogen worden waren.

Beispiel für Prozesswechsel

An verschiedenen Orten wurden Prozesswechsel beobachtet, die in ihrem Ausmass so nicht erwartet wurden. So gingen Rutschungen oft in Fliessbewegungen über, wobei sie analog zu den zahlreichen Hangmuren viel Oberflächenwasser in den Ablagerungs-

bereich lieferten (vgl. Beispiel Schwendibach, Kap. 6.3.2). Dies führte je nach Fliessweg und Bodenverhältnissen zu Überschwemmungen, die wiederum in Erosion und erneute Ablagerung übergingen.

Rammkörper in der Rutsch- und Murmasse

Dort, wo in Rutschungen in steilem Gelände grössere Blöcke involviert waren, wirkten diese entweder als harte Rammkörper in der abfahrenden Masse oder konnten sich aus der Matrix lösen, ihren Weg als unabhängiger Blockschlag fortsetzen und wie in Laugneri (Weggis LU) zu Zerstörungen führen. Grosse, in der Murmasse mitgeführte Blöcke als Rammkörper sind auch für die Gebäudezerstörungen durch den Glyssibach in Brienz BE mitverantwortlich.

Notwendigkeit robuster Szenarien

Dies sind Beispiele von Prozessen, die zu Überraschungen geführt haben. Sie sind in den einzelnen Kapiteln der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 eingehender beschrieben. Es sind gleichzeitig die Gründe dafür, dass die den Gefahrenkarten zugrunde gelegten Szenarien am einen oder anderen Ort die Ereignisse nicht genau antizipiert haben. Aus den oben genannten Punkten der schwierigen Vorhersagbarkeit dynamischer Prozesse ergibt sich wiederum die Notwendigkeit, Szenarien und Gefahrenbeurteilungen allgemein auf ihre Robustheit zu überprüfen.

6.3.4 Die Problematik der Eintretenswahrscheinlichkeit

Schwierige Zuordnung der Wahrscheinlichkeit

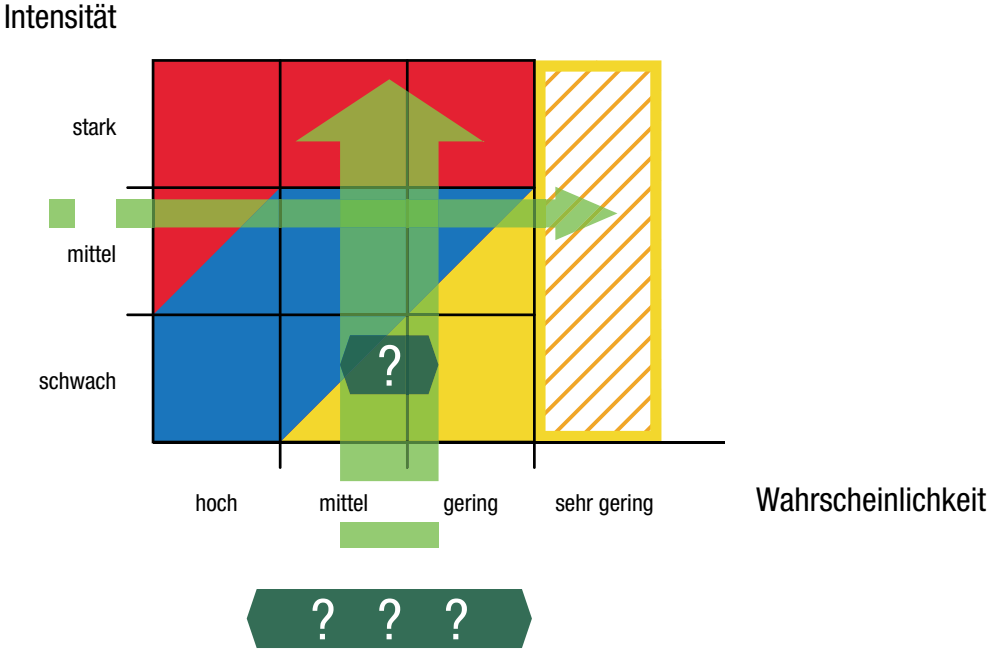
Im Zusammenhang mit der Diskussion über die Erfassung der Ereignisse 2005 in den Gefahrenkarten interessiert, welche mittlere Wiederkehrdauer bzw. Wahrscheinlichkeit den Ereignissen zuzuordnen ist. Bei den untersuchten Fallbeispielen wurde in der Regel davon ausgegangen, dass es sich um Ereignisse von mittlerer bis geringer, in einzelnen Fällen sehr geringer Wahrscheinlichkeit gehandelt hat. Wenn es um die Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten geht, stehen die Fachleute vor verschiedenen Problemen. In Kap. 2 des 1. Bandes der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 werden Fragen über die Abflussstatistik und die Zuordnungsschwierigkeiten der Ereignisse 2005 zu bestimmten Jährlichkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten ausführlich diskutiert. Wenn bereits die Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten im Nachhinein schwierig ist, sind entsprechende Aussagen für mögliche künftige Ereignisse erst recht mit grossen Unschärfen verbunden. Dies soll anhand von Abb. 6.7 verdeutlicht werden. Die zentrale Frage ist, wo und wie breit der zutreffende Pfeil zur Beschreibung der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Szenarios ist. Im Gegensatz zur Eintretenswahrscheinlichkeit besteht – mindestens im Rückblick – oft mehr Sicherheit in Aussagen über die Intensitäten, wie dies der schmale waagerechte Pfeil illustriert.

Umgang mit Unschärfen

Die Problematik ergibt sich daraus, dass es kaum möglich ist, die Wahrscheinlichkeit genau zu bestimmen. Es ist aber möglich, Konfidenzintervalle bzw. Bandbreiten anzugeben, innerhalb derer sich die Wahrscheinlichkeit eines Szenarios bewegt. Diese Bandbreiten müssen in der Gefahrenbeurteilung quantifiziert, deklariert und kommuniziert werden. Sie sind in der anschliessenden Übersetzung in die Gefahrenkarte adäquat zu berücksichtigen.

Abb. 6.7 > Problematik der Einordnung eines Szenarios in der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix.

Während die eingetretene Intensität innerhalb einer gewissen Bandbreite oft recht gut bestimmt werden kann (horizontaler Pfeil), ist die Zuordnung einer Wahrscheinlichkeit (vertikaler Pfeil) in der Regel mit viel grösseren Unsicherheiten behaftet.



6.4 Gefahrenbeurteilungen – Fachliche Fragen

In diesem Kapitel geht es darum, auf grundsätzliche Anforderungen und Schwierigkeiten bei der Gefahrenbeurteilung einzugehen und auf einzelne Verbesserungsmöglichkeiten von bestehenden Lösungsansätzen hinzuweisen.

6.4.1 Hohe Anforderungen – breite methodische Palette

Anforderungen

Die Beurteilung von gravitativen und hydrologischen Naturgefahren bedeutet eine Auseinandersetzung mit unterschiedlichsten Prozessen (z. B. Lawinen, Steinschlag Rutschungen, Hochwasser). Diese umfassen je eine grosse Zahl von einzelnen Phänomenen, welche z. B. bezüglich Disposition, Auslösung, Bewegungs-, Transport- und Ablagerungsmechanismen beurteilt werden müssen. Diese Beurteilungen setzen sowohl im Einzelnen als auch in ihrer Gesamtheit umfangreiches Fachwissen und grosse Erfahrung voraus. Die Gefahrenbeurteilung erfolgt deshalb oft durch Teams von Fachleuten mit unterschiedlichem Erfahrungshorizont.

Die 3 Säulen der Gefahrenbeurteilung

Umfassende Anleitungen zur Analyse und Beurteilung der einzelnen Gefahren sowie spezifische Lehr- oder Handbücher gibt es nur für einzelne Aspekte der Gefahrenbeur-

teilung. Aus diesem Umstand resultiert eine grosse Vielfalt an Vorgehensweisen. An der Erweiterung der Kenntnisse und der Weiterentwicklung von Methoden und Verfahren wird ständig gearbeitet. Die drei Säulen

- Auswertung von früheren Ereignissen,
- Beurteilungen im Gelände und
- Modellrechnungen

sind jedoch als Basisinstrumentarien für Gefahrenbeurteilungen gut etabliert.

Verbesserungsbedarf

Die vertiefte Auseinandersetzung mit den Fallbeispielen und die intensiven Diskussionen mit den Gefahrenbeurteilenden sowie mit begleitenden Fachstellen haben bestätigt, dass die Gefahrenbeurteilungen mit grosser Sorgfalt und hohem Engagement erfolgen. Einen hohen Stellenwert nehmen dabei die Szenarienbildung und die Erarbeitung von Gefährdungsbildern ein. Bei deren Bildung und Berücksichtigung und im Besonderen bei der Qualität und Ausführlichkeit ihrer Beschreibung zeigen sich allerdings Unterschiede. Diese sind meist auf eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Beurteilungsverfahren und das ungleiche Verständnis des Szenarienbegriffs zurückzuführen. Weitere wichtige Diskussionspunkte sind die Ermessensspielräume und Unschärfen, welche sich praktisch bei jeder Gefahrenbeurteilung ergeben, sowie die Frage, in welchem Rahmen diese Probleme offen gelegt werden sollen.

6.4.2 Indikatoren und mögliche Prozesse erkennen und bezüglich Relevanz beurteilen

Indikatoren im Untersuchungsperimeter

Am Anfang jeglicher Gefahrenbeurteilung steht das Erkennen der möglichen Prozesse und Prozessketten, die überhaupt gefährlich werden können. Das heisst, der ganze zu beurteilende Raum muss nach verschiedensten Gesichtspunkten auf mögliche gefährliche Konstellationen und Prozesse untersucht werden. Der Perimeter, für welchen eine Gefahrenbeurteilung zu erfolgen hat, liegt oft am unteren Ende eines mehr oder weniger grossen Einzugsgebietes oder unterhalb von Hängen mit möglichen aktiven Prozessen. Die potenziellen Prozesse in diesen Einzugsgebieten und Hängen müssen für die Gefahrenbeurteilung bekannt sein. Der Untersuchungsperimeter für Gefahrenbeurteilungen umfasst somit ein Mehrfaches des Gebietes, für welches die Gefahrenbeurteilung durchgeführt werden muss. Dies bedeutet, dass in einem sehr ausgedehnten, oft gebirgigen und kleinräumig gekammerten Gebiet kein wichtiges Detail, kein möglicherweise wichtiger Indikator übersehen werden darf. Dann gilt es, die potenziell relevanten Indikatoren herauszufiltern und richtig zu beurteilen. Hier fallen wichtige Vorentscheide für die nachfolgende Szenarienbildung.

6.4.3 Szenariotechnik

Szenariotechnik unumgänglich

Wegen der grossen Vielfalt und Komplexität der möglichen Prozessabläufe muss bei der Gefahrenbeurteilung mit Szenarien gearbeitet werden. Szenarien stehen stellvertretend für mögliche Ereignisse und Ereignisabfolgen. Im Zusammenhang mit Naturgefahren dienen Szenarien der Darstellung einer repräsentativen Auswahl an

möglichen Dispositionen, Auslösebedingungen und -vorgängen sowie möglichen Ereignissen und Ereignisketten. Szenarien bedeuten Vereinfachung und Beschränkung auf das Wesentliche. Szenarienbildung bedeutet in einem ersten Schritt die Suche nach wichtigen möglichen Ereignisketten.

Trotz guten wissenschaftlichen Grundlagen, guten Schätz- und Berechnungsmodellen und technischen Hilfsmitteln sind letztlich für die Qualität von Gefahrenbeurteilungen möglichst klare Vorstellungen über die potenziellen Prozessabläufe entscheidend. Anders ausgedrückt: Die Qualität von Gefahrenbeurteilungen steht und fällt mit der Wahl und Berücksichtigung von adäquaten Szenarien.

Qualitative Beschreibung der Szenarien

In den technischen Berichten zu den Gefahrenkarten fällt auf, dass sich die Beschreibungen und gelegentlich wohl auch die dahinter steckenden Betrachtungen weitgehend auf die Angaben von Mengen, Kubaturen, Reichweiten und den möglichen betroffenen Flächen beschränken. Dabei fehlt in der Regel eine genügend ausführliche, qualitative Beschreibung der möglichen Prozessabläufe, Teilprozessketten und Szenarien. Dies kann dazu führen, dass beispielsweise bei Fliessgewässern zwar wichtige Teilszenarien zu Auslösungs-, Ausbruchs-, Ausbreitungs- oder Einwirkungsmechanismen aufgeführt werden, weitere Aspekte der Entstehungsszenarien oder mögliche Ereignisabläufe (z. B. Erosionsprozesse ausserhalb des Gerinnes) aber zu wenig beachtet oder zumindest nicht beschrieben werden. Auch eine ausführliche Argumentation und Beschreibung der Beweggründe für die Wahl des einen und die Nichtberücksichtigung des anderen Szenariums fehlt oft. Qualitative Überlegungen sind aber für die Gefahrenbeurteilung genauso wichtig wie Berechnungen. Technische Berichte müssen deshalb ausführlich sein und alle Überlegungen, die im Nachhinein sonst nicht mehr nachvollziehbar sind, festhalten.

Bedeutung der technischen Berichte

Die Erkenntnis, dass auch unerwartete oder als wenig wahrscheinlich erachtete Ereignisabläufe festzuhalten und in Betracht zu ziehen sind, wurde 2005 nachdrücklich bestätigt. Ein Teil der abgelaufenen Massenbewegungen trat effektiv *unerwartet* ein. Andere Massenbewegungen waren von Fachleuten als *möglich*, aber als sehr gering wahrscheinlich eingestuft worden. In einigen Fällen wurde aus diesem Grund bei der Erarbeitung der Gefahrenkarten kein Szenarium der 2005 aufgetretenen Prozess-Koinzidenzen berücksichtigt. Ein Beispiel hierfür ist das gleichzeitige Auftreten von grossem hydrostatischem Druck in den Hängen als Ursache von voluminösen Massenbewegungen und hoher Transportkapazität der Bäche und Flüsse, die diese Massen ohne grosse Verzögerung in das Wirkungsgebiet verfrachten konnte. Gründe für die Nichtberücksichtigung dürfte die zu optimistische Beurteilung der Wahrscheinlichkeit gewesen sein. Bei der Gefahrenbeurteilung, der Erarbeitung von Gefahrenkarten und entsprechend auch der Erarbeitung von Massnahmenprojekten muss daher vermehrt auf eine intensive Auseinandersetzung mit der grossen Vielfalt an möglichen Prozessabläufen und Szenarien geachtet werden. Die Überlegungen müssen in den technischen Berichten entsprechend ausreichend dokumentiert werden. Hier sollen auch *Worst Case Szenarien* aufgeworfen und diskutiert werden.

Hilfsmittel zur Szenariendarstellung

Wie weit solche Szenarien in dem auf die Gefahrenbeurteilung folgenden Schritt der Ausarbeitung der Gefahrenkarte zu berücksichtigen sind, ist zwar primär die Aufgabe der Experten. Es ist dabei jedoch sinnvoll, gemeinsam mit den Fachstellen, welche für Qualitätssicherung und Umsetzung verantwortlich sind, und mit örtlichen Verantwortlichen einen Konsens zu entwickeln. Hilfsmittel zur Szenarienbildung und besonders zur Szenariendarstellung stehen zur Verfügung. Eine gute Möglichkeit sind Fehler- und Ereignisbäume und deren Kombination. Grundlagen dazu finden sich beispielsweise in Egli (1996), Hollenstein (1997) oder in NAHRIS-LU521 (2005).

Fokussierung auf entscheidende Szenarien

Je umfassender solche möglichen Prozessketten und Szenarien in einer ersten Betrachtung einbezogen werden, desto wichtiger wird die anschliessende Selektion und Fokussierung auf die entscheidenden Szenarien als repräsentative Stellvertreter für mögliche Prozessabläufe. Weil nicht beliebig Zeit und Mittel aufgewendet werden können, kann die Selektion der zu verfolgenden Szenarien nicht völlig losgelöst von den Zielen erfolgen, die mit der Gefahrenbeurteilung anvisiert werden. Es gibt Unterschiede in der Beurteilung der Gefährdung von Siedlungen und jener von Verkehrsachsen. Im ersten Fall stehen meist die gering wahrscheinlichen Szenarien im Vordergrund. Bei Verkehrswegen interessiert dagegen primär die Häufigkeit von Störungen (z. B. Verkehrsunterbrüchen), während die Kenntnis der Intensitäten eher zweitrangig ist. In jedem Fall ist es wichtig, den Adressaten der Gefahrenbeurteilungen klar zu machen, dass Szenarien nur – nach bestem Wissen ausgewählte – stellvertretende Beschreibungen von möglichen Prozessabläufen sind. So sind mögliche Breschenbildungen und Uferaustritte bei Hochwasser im Voraus oft nicht genau lokalisierbar. Ähnliches gilt zum Beispiel für das Auftreten von Stein- und Blockschlag entlang einer lang gestreckten Felswand.

6.4.4 Umgang mit Unschärfen

Komplexe Naturprozesse

In jeder Phase der Gefahrenbeurteilung sehen sich die Fachleute mit Ermessenspielräumen, Vertrauensintervallen und Bandbreiten von Mengen und Grössen konfrontiert. Dies ergibt sich aus der Komplexität der zu beurteilenden Naturprozesse und Prozessketten, den beschränkten Datengrundlagen und den Vereinfachungen, die jeglichem Modellansatz innewohnen. Je weniger wahrscheinlich bestimmte Ereignisse sind, desto grösser sind in der Regel auch die Unschärfen. Angesichts der geologischen Zeiträume und der räumlichen Vielfalt unserer Umgebung können auch erfahrene Beurteiler nur einen sehr beschränkten Erfahrungshorizont haben.

Unschärfen quantifizieren und deklarieren

Die Streuung der Analysen- und Beurteilungsergebnisse und die Bandbreiten der Interpretationsspielräume können, wenn entsprechende Beobachtungen vorliegen, durch statistische Analysen quantifiziert werden. In jedem Falle sind sorgfältige Geländeanalysen und die Auswertung früherer Ereignisse notwendig. Die gleichzeitige Anwendung unterschiedlicher Methoden ermöglicht Redundanz und die Plausibilisierung der einzelnen Teilergebnisse und der Gesamtbeurteilung. Gewisse Bandbreiten und Unschärfen bleiben aber in jedem Fall bestehen. Jedoch kann eine Mitbewertung der Unsicherheit bei jedem Beurteilungsschritt am Ende der Beurteilung eine begründete und nachvollziehbare Aussage über den gesamten Unschärfebereich erleichtern.

Unschärfen kommunizieren

Ein wichtiger Diskussionspunkt unter Experten ist gelegentlich die Frage, wie weit die oben diskutierten Unschärfen und Ermessenspielräume offen zu legen sind. Grundsätzlich führt kein Weg an einer Offenlegung vorbei. Die interessierten Adressaten machen sich ihre eigenen Überlegungen und haben Anspruch auf eine nachvollziehbare Beschreibung der Überlegungen, die bei der Gefahrenbeurteilung gemacht werden. Bei einem stufenweisen Ausdiskutieren der Szenarien mit den Vertretern der Fachstellen, den Sachverständigen in den Gemeinden und Behördenmitgliedern sollen deshalb die Ermessensspielräume und Unschärfen angesprochen werden.

6.4.5 Umgang mit sehr geringen Intensitäten

Abgrenzungen

In den Gesprächen mit den Fachleuten ist oft die Forderung nach Untergrenzen für zu berücksichtigende Intensitäten aufgetaucht. «Weiss» in der Gefahrenkarte soll Prozesse mit geringen Intensitäten nicht ausschliessen und somit auch nicht mit Schadenfreiheit gleichgesetzt werden. Dies muss aber breiter kommuniziert werden. Z. B. ist ein Wasserstand von 5 cm keine Naturgefahr im hier diskutierten Sinn, sondern ein Prozess, der grundsätzlich überall auftreten kann und dem mit geeigneten Massnahmen zur Siedlungsentwässerung und Objektschutz an Gebäuden zu begegnen ist. Es ist nicht die Aufgabe der Gefahrenkarten, alle möglichen Schadensursachen aufzuzeigen. Vielmehr steht der Schutz von Menschenleben und erheblichen Sachwerten im Vordergrund. Der Umgang mit in der Gefahrenkartierung nicht berücksichtigten Gefährdungen, z. B. durch Hangwasser oder Kanalisationsrückstau, ist im Rahmen von Folgeprojekten zu klären. Teilweise könnten entsprechende Regelungen auch mittels Normen erfolgen, welche minimale Anforderungen an Gebäude in Bezug auf den Schutz vor Schäden durch Naturgefahren festlegen.

6.5 Zum Verhältnis Gefahrenbeurteilung – Gefahrenkarte

Die Gefahrenbeurteilung dient als Basis für verschiedene Massnahmen zum Schutz von Menschenleben und Sachwerten vor Naturgefahren. Dabei wird eine flächendeckende Gefahrenbeurteilung bis heute oft nur im Hinblick auf die Erstellung von Gefahrenkarten durchgeführt. Dies hat u. a. die nachfolgend erläuterten unerwünschten Konsequenzen:

Zweck der Gefahrenkarte

Ursprünglich war die Gefahrenkarte ausschliesslich als Instrument für die Raumplanung gedacht und sollte es dieser ermöglichen, vor Naturgefahren möglichst sichere Gebiete für Siedlungszwecke auszuscheiden. Dazu wird die Gefährdung eines Raumes durch Naturgefahren in einer stark verdichteten und synthetisierten Art und Weise dargestellt. Entsprechende Vorgaben zur Erstellung und Darstellung von Gefahrenkarten sind in den Bundesempfehlungen (BWW et al. 1997; BRP et al. 1997; BWG 2004) festgehalten.

Überbeanspruchung der Gefahrenkarte

Weil die Gefahrenkarte aber oft das einzige verfügbare flächendeckende Produkt mit Aussagen über Naturgefahren ist, wird sie mittlerweile auch für nicht vorgesehene

Zwecke beansprucht, so z. B. für Verkehrswege ausserhalb der Siedlungen, für die Projektierung von technischen Massnahmen, für Objektschutz oder die Notfallplanung der Wehrdienste. Diese zweckfremde Nutzung kann Schwierigkeiten und Missverständnisse beim Lesen der Gefahrenkarte nach sich ziehen. Ausserdem entstehen daraus oft Forderungen an Inhalt und Darstellung, die mit dem ursprünglichen Verwendungszweck schlecht vereinbar sind. Dies führt zu einer Überbeanspruchung der Gefahrenkarte.

Entkoppelung Gefahrenbeurteilung – Gefahrenkarte

Eine klare Unterscheidung zwischen der Gefahrenbeurteilung und der Erarbeitung nachfolgender Produkte (Gefahrenkarte, aber auch Karten für Notfallplanung, Risikobeurteilung, Versicherung usw.) kann die Gefahrenkarte von ihrer Überbeanspruchung befreien und macht klar, dass nur eine wissenschaftlich-technische und damit unabhängige Gefahrenbeurteilung Grundlage für eine Reihe von daraus abgeleiteten und auf spezielle Bedürfnisse ausgerichteten Produkten sein kann. Die mit dieser Zweiteilung angestrebte naturwissenschaftlich-technische Analyse soll in einer ersten Phase eine möglichst objektive Gefahrenbeurteilung ohne Blick auf ein einzelnes, daraus abgeleitetes Produkt erlauben. In einer zweiten Phase werden die gewonnenen Daten in verschiedene Produkte, darunter die Gefahrenkarte, übersetzt. Dieses Verfahren soll nicht im Gegensatz zum vermehrten Einbezug lokaler Akteure stehen. Viel mehr soll durch eine enge Zusammenarbeit das unabdingbare lokale Wissen genutzt und mit externem Wissen ergänzt werden. Dabei ist es wichtig, dass die lokalen Akteure durch diese Kooperation ein Gefahrenbewusstsein entwickeln können, das ihnen ermöglicht, die Gefahrenbeurteilung auf der objektiven Ebene mitzutragen.

6.6 Problematik einer Gefahrenbeurteilung im Auftragsverhältnis

Ein weiteres nicht zu unterschätzendes Problem besteht darin, dass die beurteilenden Fachleute von allem Anfang an unter dem Druck stehen, die Konsequenzen einer Gefahrenbeurteilung zu berücksichtigen und sich mit implizit oder explizit geäusserten Wünschen nach möglichst geringen Nutzungseinschränkungen konfrontiert sehen. Unter diesen Umständen ist es schwierig, aber trotzdem unabdingbar, die Gefahrenbeurteilung nach rein wissenschaftlich-technischen Gesichtspunkten vorzunehmen.

Stärkung des Gefahrenbewusstseins vor Ort durch gute Zusammenarbeit

Dieser Druck besteht, weil **vor** einem Schadensereignis das Aufzeigen von Gefahren als wirtschaftliches Entwicklungshemmnis wahrgenommen wird. *Nach* dem Eintreten eines Ereignisses wird aber eine zu optimistische frühere Beurteilung als Mangel kritisiert. Mit diesem Dilemma der unterschiedlichen Einschätzung der Arbeit zu verschiedenen Zeitpunkten muss ein Experte umgehen können. Um diesem Druck entgegenzuwirken, muss aber v. a. das Gefahrenbewusstsein bei den Adressaten und Entscheidungsträgern in den Gemeinden gestärkt werden. Dazu gehört, dass diese sich durch die Gefahrenbeurteilung ernst genommen und nicht bevormundet oder überfahren fühlen. Ein gutes Einvernehmen, Offenheit und Transparenz im Gefahrenbeurteilungsprozess sind deshalb unabdingbar, um den Druck zu reduzieren und der Gefahrenkarte und den anderen Produkten zu einer guten Aufnahme in den Gemeinden zu verhelfen. Der Dialog zwischen den verschiedenen Ebenen und die oben erwähnte Kooperation,

die schliesslich demselben Ziel dienen, erfordern Sozialkompetenz und entsprechende finanzielle und personelle Ressourcen. Diese müssen bereitgestellt werden, damit der Prozess der Gefahrenbeurteilung nachhaltig auf lokaler Basis verankert werden kann.

Umsetzung Gefahrenbeurteilung in Gefahrenkarte

Zur Sicherstellung der fachlichen Kontinuität ist es sinnvoll, dass bei der Gefahrenbeurteilung und deren Übersetzung in die Gefahrenkarte dieselben Fachleute beigezogen werden. Sie müssen sich dabei aber bewusst sein, dass sie ihre Funktion wechseln: Die Gefahrenbeurteilung erarbeiten sie als wissenschaftlich-technische Experten, die Gefahrenkarte und andere nachfolgende Produkte als Übersetzer nach vorgegebenen Regeln.

Inhalt Gefahrenbeurteilung

Praktisch und sichtbar lässt sich die geforderte Trennung realisieren, wenn die Aufträge an die Gefahrenbeurteilungs-Experten, die letztlich eine Gefahrenkarte vorlegen sollen, zweigeteilt werden, beispielsweise folgendermassen:

> *Schritt 1: Gefahrenbeurteilung*
- Prozessanalyse, Szenarienbildung in den Entstehungs- und Transitgebieten (bei Gewässern die möglichen Vorgänge bis zur potenziellen Austrittstelle)
- Prozessanalyse, Szenarienbildung und Erstellen von Gefährdungsbildern im möglichen Wirkungsraum (bei Gewässern die möglichen Vorgänge nach der potenziellen Austrittstelle)
- Erstellen von Intensitätskarten für den Wirkungsraum und die einzelnen als massgeblich eingeschätzten Szenarien

> *Schritt 2: Transformation der Ergebnisse aus Schritt 1 in ein Kartenportfolio*
- Erstellen der Gefahrenkarte anhand der Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Matrix entsprechend den Bundesempfehlungen
- Erstellen von weiteren Karten, z. B. für Notfallplanung, Risikobeurteilung, Versicherung usw.

Zwei technische Berichte

Die Aufteilung der Arbeit in die zwei Schritte Gefahrenbeurteilung und Transformation in die Gefahrenkarte lässt sich allenfalls auch durch zwei in Aussage, Umfang und Detaillierungsgrad unterschiedliche technische Berichte sichtbar machen: Der *technische Bericht zur Gefahrenbeurteilung* richtet sich primär an Fachleute und hat dem Postulat nach Transparenz und Nachvollziehbarkeit als Basis und Grundlage für weitere gefahrenrelevante Tätigkeiten vollumfänglich gerecht zu werden. Er muss deshalb umfassend und ausführlich sein und soll sämtliche Überlegungen (auch verworfene Szenarien) dokumentieren. Der *technische Bericht zur Gefahrenkarte* richtet sich primär an die Benutzer der Karte, welche verstehen müssen, warum ein Gebiet einer Gefahrenstufe zugewiesen wurde. Er kann konziser abgefasst werden, da die Übersetzung in Gefahrenbereiche nach standardisierten Kriterien und Vorgaben erfolgt.

6.7 Handlungsbedarf

Aus den vorangehenden Erläuterungen lassen sich verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit der Erstellung von Gefahrenbeurteilungen und Gefahrenkarten ableiten. Sie richten sich primär an die analysierenden und beurteilenden Experten, gleichzeitig aber auch an die Auftrag gebenden und begleitenden Fachstellen sowie an Institutionen, welche Grundlagen erarbeiten und in der Aus- und Weiterbildung tätig sind.

6.7.1 Szenarienbildung

Szenarienbildung

Bei der Szenarienbildung haben die Ereignisse von 2005 zusammenfassend für die Gefahrenbeurteilung verschiedene Punkte ans Licht gebracht, die künftig besser zu beachten sind, so u. a.:

- Langanhaltende Niederschläge und die damit einhergehenden, grossen Abflussvolumen können Seen und Flüsse auf bisher nicht beobachtete Pegel ansteigen lassen und Wasserbauten (z. B. Dämme) aussergewöhnlichen Belastungen aussetzen.
- Die Kombination von sehr grosser plötzlicher Feststoffzufuhr durch mittel- bis tiefgründige, spontane Massenbewegungen auch im Fels und gleichzeitig grosser Verfrachtungskapazität (Murgang oder fluvialer Transport) des Vorfluters ist möglich.
- Starke, oft allmählich erfolgende Erosion entlang der Gerinne und durch entlastetes Wasser in den Ablagerungsräumen oder Aufreissen der Sohlenpflästerung als Folge des lang andauernden hohen Abflusses können ein bisher unbekanntes Ausmass annehmen und zu ebensolchen Erosionsleistungen führen.

Robuste Szenarien

Angesichts dieser Prozessvoraussetzungen sollen Szenarien in Bezug auf ihre Auswirkungen im Wirkungsgebiet robust sein. Das heisst, kleine Änderungen in den Eingangsgrössen sollen nicht zu völlig anderem Verhalten auf dem Schwemmkegel bzw. im Ablagerungsbereich führen. In jedem Fall sind Überlastfälle und Restrisiken in den betrachteten Szenarien festzuhalten.

6.7.2 Ansprüche an die Gefahrenbeurteilung

Unabhängige Gefahrenbeurteilung

Die Gefahrenbeurteilung stellt als naturwissenschaftlich-technischer Arbeitsprozess die Grundlage für alle gefahrenrelevanten Tätigkeiten dar. Die Umsetzung in nachfolgende Produkte soll eine reine Übersetzung dieser möglichst objektiv gewonnenen Erkenntnisse in eine Kartenform sein. Für die Übersetzung der Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung in die Gefahrenkarten existieren klare Kriterien, die in den Empfehlungen des Bundes (u. a. BWW et al. 1997) festgehalten sind. Im Gegensatz dazu gibt es für die Gefahrenbeurteilung noch keine Standards. Es ist notwendig, in den kommenden Jahren entsprechende Instrumente ausarbeiten zu lassen.

Für eine gute Nachvollziehbarkeit der Gefahrenbeurteilungen ist besonders auf die ausführliche Erfassung und quantitative und qualitative Beschreibung der möglichen Prozessabläufe und Teilszenarien in den technischen Berichten zu achten. Erst genügend ausführliche Beschreibungen ermöglichen es späteren Gefahrenbeurteilern, die Überlegungen der vorangehenden Generation zu verstehen und nachzuvollziehen.

Ausführliche Dokumentation für eine gute Nachvollziehbarkeit

Die Gefahrenbeurteilung soll das Ergebnis eines Kooperationsprozesses zwischen den Gefahrenbeurteilern mit ihrem Fachwissen, den kantonalen Fachstellen und den Gemeindevertretern mit ihrem lokalen Wissen darstellen. Eine gute Zusammenarbeit dieser drei Stellen bildet die Basis für die Entwicklung eines lokalen Gefahrenbewusstseins. Sie ist wichtig, um den lokalen Akteuren zu ermöglichen, die Gefahrenbeurteilung auf objektiver Ebene mitzutragen und vor Ort zu verankern.

Lokale Verankerung der Gefahrenbeurteilung

6.7.3 Randbedingungen bei der Gefahrenbeurteilung

Die hier gestellten Ansprüche bezüglich breiter und vertiefter Szenarienbildung und -darstellung sowie die ausführliche Berichterstattung und die offene Zusammenarbeit bedeuten für die Gefahrenbeurteiler zusätzliche Arbeit. Die übergeordneten Fachstellen können mit geeigneten Rahmenbedingungen dazu beitragen, diese Lasten und Arbeiten zu erleichtern:

Erheblicher Mehraufwand nötig

Rahmenbedingungen verbessern

- Ausreichend dotierte Fachstellen auf allen staatlichen Ebenen und Besetzung derselben mit kompetenten Fachleuten
- Sorgfältige Pflege und Bereitstellung von Grundlagendaten durch die staatlichen Stellen: Topographische Daten, Messdaten (Niederschlag, Abfluss usw.), Ereignisaufzeichnungen
- Übertragung der Aufgaben ausschliesslich an ausgewiesene Fachleute
- Die Umsetzung der hier gemachten Empfehlungen benötigt Zeit und Geld. Entsprechend sind Mandate für die Erarbeitung von Gefahrenbeurteilungen und -karten grosszügiger zu dotieren.
- Heute werden teilweise Szenarien, Intensitätskarten usw. intensiv mit kantonalen Fachstellen und Gemeinden diskutiert. Dies ist grundsätzlich sehr positiv und soll in Zukunft noch vermehrt so ablaufen, denn es ist Voraussetzung dafür, dass die Betroffenen das Ergebnis akzeptieren können. Dies wiederum ist Voraussetzung für eine mehr als nur administrative Umsetzung der Ergebnisse. Werden allerdings an derartigen Besprechungen Beurteilungen der bearbeitenden Fachleute verändert, stellt sich die Frage nach den Verantwortlichkeiten. Diese Frage sollte unbedingt vor dem eigentlichen Gefahrenbeurteilungsprozess geklärt werden.

6.7.4 Aus- und Weiterbildung, Qualitätssicherung

Da die Methoden und Verfahren der Gefahrenbeurteilung nur in den allgemeinen Aspekten festgeschrieben sind, im Einzelnen jedoch recht viel Spielraum für individuelle Lösungen besteht, entwickeln die Büros ihre spezifischen Vorgehensweisen. Auch verschiedene Forschungsinstitutionen entwickeln Methoden zur Gefahren-

Individuelle Vorgehensweisen

beurteilung. Dadurch entstehen verschiedene «Philosophien» und «Schulen». Ebenso unterschiedlich sind die von den verschiedenen Kantonen bzw. deren Fachstellen gesetzten Rahmenbedingungen und Vorgaben.

Austausch und Weiterbildung

Um hier ein übermässiges Auseinanderdriften unterschiedlicher Ansätze zu verhindern, ist ein Angebot an Plattformen für Wissensaustausch und Weiterbildung notwendig. Hier haben sich in der Vergangenheit verschiedene Ämter und Institutionen sowie private Organisationen verdient gemacht. Solche Kurse und Foren müssen auch in Zukunft durchgeführt und gefördert werden. Dabei geht es nicht nur um die Präsentation und Diskussion neuer Entwicklungen, Methoden oder Technologien, sondern auch darum, der nachrückenden Generation das nötige «alte» spezifische Fachwissen zu vermitteln. Dem Wunsch zur Schaffung geeigneter Gefässe für den Erfahrungsaustausch unter Experten in Kleingruppen sollte ebenso entsprochen werden.

Grundlagen erarbeiten – Potenziale ausschöpfen

Im Hinblick auf die Qualitätssicherung gilt es weiterhin, an der Bereitstellung geeigneter Hilfsmittel zu arbeiten, wie das heute unter der Ägide der PLANAT und der Bundesämter sowie einzelner kantonaler Ämter und Fachstellen geschieht. Auch hier können Fachorganisationen wichtige Beiträge liefern. Gefordert sind ebenso die Hochschulen und Forschungsanstalten, und mit geeigneten Aufträgen kann auch das grosse Wissen und Potenzial spezialisierter privater Büros ausgeschöpft werden.

6.8 Erkenntnisse

Gefahrenkarten stimmen gut

Die vor 2005 erstellten Gefahrenkarten haben die Ereignisse 2005 in den weitaus grössten Teilen gut abgebildet. Die Diagnosen waren in ihrer Stossrichtung allgemein richtig, die gefährdenden Prozesse sind meist erkannt worden. Aus den einzelnen Abweichungen müssen Lehren für künftige Gefahrenbeurteilungen gezogen werden.

Unschärfen akzeptieren und berücksichtigen – Szenarienbildung fördern

Grundsätzlich ist die Beurteilung von gravitativen und hydrologischen Naturgefahren immer mit grossen Unsicherheiten verbunden. Ursache dafür sind v. a. bezüglich ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit schwer zu beurteilende seltene oder gar sehr seltene Schwellenprozesse, Prozesswechsel und -kombinationen. Deshalb werden auch in Zukunft nicht alle ermittelten Gefahrenbereiche genau den konkreten auftretenden Naturereignissen entsprechen. Mit der bewussten Öffnung des Blickwinkels in der Szenarienbildung durch den Einbezug der erwähnten schwer beurteilbaren Phänomene und die Überprüfung der Robustheit der letztlich berücksichtigten Szenarien können diese Abweichungen minimiert werden. Die dabei verbleibenden Unschärfen in der Beurteilung sind klar zu deklarieren und zu quantifizieren, bzw. wo dies nicht möglich ist, qualitativ zu beschreiben.

Transparente und nachvollziehbare Dokumentation

Die Möglichkeiten und Grenzen der Gefahrenbeurteilung müssen nicht nur den beteiligten Akteuren, sondern auch der Allgemeinheit offen dargelegt werden. Die Gefahrenbeurteilung und die damit einhergehenden Unschärfen sind von grosser Bedeutung für die lokal ansässige Bevölkerung und deren Verantwortungsträger. Deshalb sind die entsprechenden Arbeiten transparent zu kommunizieren und für

spätere, darauf aufbauende Projekte detailliert zu dokumentieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass auf mögliche Komplikationen hingewiesen wird, welche bei der Raumplanung, bei baulichen Massnahmen und/oder der Notfallplanung berücksichtigt werden müssen. Aus diesen Gründen sind die technischen Berichte transparent und nachvollziehbar zu gestalten und sollen auch Hinweise für das weitere Vorgehen enthalten.

Gefahrenbeurteilung steht im Zentrum

Die Gefahrenbeurteilung ist von den aus ihr abgeleiteten Produkten, wie z. B. den Gefahrenkarten, unabhängiger zu gestalten. Nur so kann sichergestellt werden, dass diese Beurteilung für alle möglichen Anwendungen geeignet ist. Mit der Erweiterung der Produktpalette steigen die Ansprüche an die Gefahrenbeurteilung stark an. Wie die vorliegende Untersuchung gezeigt hat, wird der Dokumentation von der Auftraggeberseite oft nicht die notwendige Wichtigkeit eingeräumt, so dass sie knapp ausfällt und die Entscheide im Nachhinein nicht immer nachvollzogen werden können. Deshalb müssen für die Dokumentation in Zukunft mehr Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Denn nur mit einer qualitativ hochwertigen, unabhängigen und ausführlichen Gefahrenbeurteilung kann das Ziel, der Schutz von Menschenleben und erheblichen Sachwerten vor Naturgefahren, optimiert werden.

Hohe Qualitätsansprüche

Literatur:

ARGE GK Grindelwald 2005: Gefahrenkarte der Gemeinde Grindelwald. Technischer Bericht. Geo7 (Bern), Geotest (Zollikofen), tur (Davos). Einwohnergemeinde Grindelwald.

BWW, BRP, BUWAL 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute BAFU), Bern.

BRP, BWW, BUWAL 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute BAFU), Bern.

BWG 2004 (Entwurf): Gefahreneinstufung Rutschungen i.w.S. – Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel und Bern.

Gertsch E., Kienholz H. 2005: Ereignisdokumentation Unwetter 22./23. August 2005 Gemeinde Grindelwald. KAWA, Interlaken.

Egli T. 1996: Hochwasserschutz und Raumplanung. Schutz vor Naturgefahren mit Instrumenten der Raumplanung – dargestellt am Beispiel von Hochwasser und Murgängen. ORL-Bericht 100, vdf, ETH Zürich.

Geo7 2006: Geschiebeanalyse Schwendibach Grindelwald. Bericht-Nr.: 604.1, Schwellenkorporation Grindelwald.

Hollenstein K. 1997: Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich.

NAHRIS-LU521 2005: Dealing with Natural Hazards. Module 5, Integral Natural Risk Management, Framework: System and Structure, *http://www.nahris.ch/* (abgefragt im August 2008).

PLANAT 2000: Empfehlungen zur Qualitätssicherung bei der Beurteilung von Naturgefahren im Sinne der Wald- und Wasserbaugesetzgebung. Sekretariat PLANAT c/o Bundesamt für Umwelt, Bern.

7 > Massnahmen im Entstehungs- und Transitgebiet

Die Mehrheit der technischen und biologischen Massnahmen hat im August 2005 die ihnen zugedachte Aufgabe erfolgreich erfüllt. Daneben gab es aber auch einige Überraschungen, indem sich Massnahmen nicht so verhielten wie gedacht oder Schutzbauten zerstört wurden. Die vertiefte Analyse des Verhaltens erfolgreicher Massnahmen soll die Möglichkeiten im Umgang mit ausserordentlichen Belastungen aufzeigen. Andererseits müssen aus den Misserfolgen die richtigen Lehren für die Planung künftiger Massnahmen gezogen werden. Betrachtet werden ausgewählte Beispiele aus dem Wildbach-, Hang- und Runsenverbau, Massnahmen zum Geschiebe- und Schwemmholzrückhalt sowie Sohlensicherungsmassnahmen in Form von Blockrampen und Flussaufweitungen.

7.1 Einleitung

Aussergewöhnliche Abflüsse, Feststoff- und Schwemmholzfrachten führen zu aussergewöhnlichen Belastungen von Schutzbauten. Das räumliche Ausmass des Ereignisses vom August 2005 hat dazu geführt, dass gleichzeitig eine grosse Zahl von technischen und biologischen Massnahmen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Konzeption hohe Belastungen erfuhren. Diese lagen teilweise deutlich über den für die Bemessung angenommenen Lasten. So mag es nicht verwundern, dass einige Massnahmen versagten. Auf der anderen Seite konnten dank Schutzbauten wesentliche Schäden verhindert werden. In diesem Sinn gilt es, aus den Misserfolgen die richtigen Lehren für die Konzeption und Planung künftiger Massnahmen zu ziehen und anhand der positiven Beispiele die Faktoren aufzuzeigen, die für den Erfolg entscheidend sind.

Datenlage zum Unterhalt zu eng begrenzt

Die Wirkung von technischen und biologischen Schutzmassnahmen hängt von deren Zustand unmittelbar vor dem Ereignis ab. Dieser ist massgeblich durch den Unterhalt beeinflusst. Aus diesem Grund war es grundsätzlich geplant, auch diesen Aspekt in der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 zu untersuchen. Aufgrund der sehr eng begrenzten Datenlage, konnten dazu aber keine fundierten Erkenntnisse abgeleitet werden, weshalb entsprechende Aussagen in diesem Bericht fehlen.

Eco-Engineering in Hängen, Runsen und Wildbächen

Durch hohe Gerinneabflüsse und Wassersättigung der Böden während der Unwetterereignisse 2005 waren viele Verbau- und Stabilisierungsmassnahmen an Hängen und in Gerinnen aussergewöhnlichen Belastungen ausgesetzt. Daraus ergab sich die Gelegenheit, die Bewährung von technischen und biologischen Massnahmen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau (auch als Eco-Engineering bezeichnet) zu untersuchen. In Kap. 7.2 wird das Verhalten unterschiedlicher Verbaumassnahmen (technisch, biologisch, kombiniert) in ausgewählten Regionen dokumentiert und analysiert.

Geschieberückhalt in Wildbächen

Obwohl relativ wenige Wildbäche während des Ereignisses eine ausgeprägte Aktivität zeigten, wurden verschiedene Geschiebesammler währen des Ereignisses stark be- und teilweise deutlich überlastet. Anhand einer Auswahl gut dokumentierter Beispiele wird in Kap. 7.3 das Verhalten der Sammler vertieft analysiert. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei dem Umgang mit dem Überlastfall.

Schwemmholzrückhalt

In den letzten Jahren wurden verschiedene Bauwerke zum Rückhalt von Schwemmholz auf freier Gewässerstrecke oder in Kombination mit bestehenden Geschiebesammlern realisiert. Die während dem Hochwasser 2005 mit diesen Massnahmen gemachten Erfahrungen sind in Kap. 7.4 zusammengetragen und hinsichtlich neuer Erkenntnisse bewertet.

Blockrampen

Die Beschädigung oder Zerstörung von Blockrampen herkömmlicher Bauweise in der Emme, der Kander und der Kleinen Emme sowie erste Erfahrungen mit Blockrampen neuerer Bauweise in der Simme und der Kander sind in Kap. 7.5 dokumentiert und ausgewertet. Aus der Analyse werden Konsequenzen für die Bemessung und die konstruktive Ausbildung von Blockrampen abgeleitet.

Flussaufweitungen

Seit rund 20 Jahren werden in der Schweiz Flüsse lokal aufgeweitet. Ziel dieser Flussaufweitungen ist es, die Sohle zu stabilisieren und durch die bei grösserer Breite vielfältigere Morphologie eine ökologische Aufwertung zu erreichen. Bereits vor dem Hochwasser wurden die bestehenden Flussaufweitungen im Rahmen einer flussbaulichen Studie untersucht. Durch Einbezug des Hochwassers 2005 wurde diese Studie mit dem Ziel erweitert, das Verständnis für die Wirkung von Flussaufweitungen zu verbessern. Die Ergebnisse sind in Kap. 7.6 erläutert.

Entlastungsmassnahmen – Fallbeispiel Engelberger Aa

Die Massnahmen an der Engelberger Aa im Stanser Boden sind ein Beispiel für ein nach den Grundsätzen des integralen Risikomanagements konzipierten und auf Überlastbarkeit ausgelegtes Hochwasserschutzkonzept. Es kombiniert planerische bauliche und organisatorische Massnahmen und hat sich 2005 bei einer deutlichen Überbelastung bewährt. Die detaillierte Rekonstruktion des Ereignisses unter besonderer Berücksichtigung des Geschiebetransports in Kap. 7.7 fokussiert auf die als zentrales Element wirkenden Entlastungsmassnahmen.

7.2 Hang- und Böschungsstabilisierung

Albert Böll, Katrin Burri, Frank Graf

7.2.1 Einführung und Begriffe

Ziel

Nach den Unwetterereignissen 2005 wurde die Bewährung von technischen und biologischen Schutzmassnahmen untersucht. Das Ziel der Untersuchung war die Möglichkeiten und Grenzen der Systeme besser zu verstehen sowie Anhaltspunkte zur Verbesserung der Wirksamkeit zu gewinnen. Untersucht wurden Massnahmen, die sich bewährten und solche, die versagten.

Aufnahmen

Für die untersuchten Objekte wurde festgehalten:

- Art der Massnahmen und Ausführungszeitpunkt
- Ziele der Massnahmen
- Beurteilung der Beanspruchung während des Ereignisses 2005; in der näheren Umgebung der Verbauung und im eigentlichen Verbaugebiet
- Schäden an den Massnahmen, Bewährung der Massnahmen und Erreichen der Ziele.

Da an technischen und biologischen Stabilisierungsmassnahmen verhältnismässig wenige Schäden zu verzeichnen waren und demzufolge die Anzahl der Untersuchungsobjekte begrenzt war, hat die Untersuchung Fallstudiencharakter. Bei der Auswahl der Objekte wurden auch die schon seit Jahren bekannten Massnahmen berücksichtigt, was neben Aussagen zur Bewährung unter aussergewöhnlichen Bedingungen auch solche zum Langzeitverhalten erlaubte.

Schutzmassnahmen

Grundsätzlich umfasst die Stabilisierung von Hängen und Runsen die folgenden Massnahmen: Hangfusssicherung, Sicherstellung der zulässigen Hangneigung, Oberflächenschutz und zusätzliche Massnahmen (Abb. 7.1).

Gerinne und Hänge

Hangfusssicherung: Falls ein Gerinne entlang des Hanges verläuft, besteht der erste Schritt in der Stabilisierung der Gerinnesohle; meistens durch den Einbau von Wildbachsperren. Sind die Sperren entsprechend des Grenzgefälles der Gerinnesohle oder des Horizontalniveaus angeordnet, wird von einem Sperrenvollverbau gesprochen. Vollverbaute Gerinne bieten im Allgemeinen die besten Voraussetzungen für die Stabilität.

Technische und biologische Massnahmen

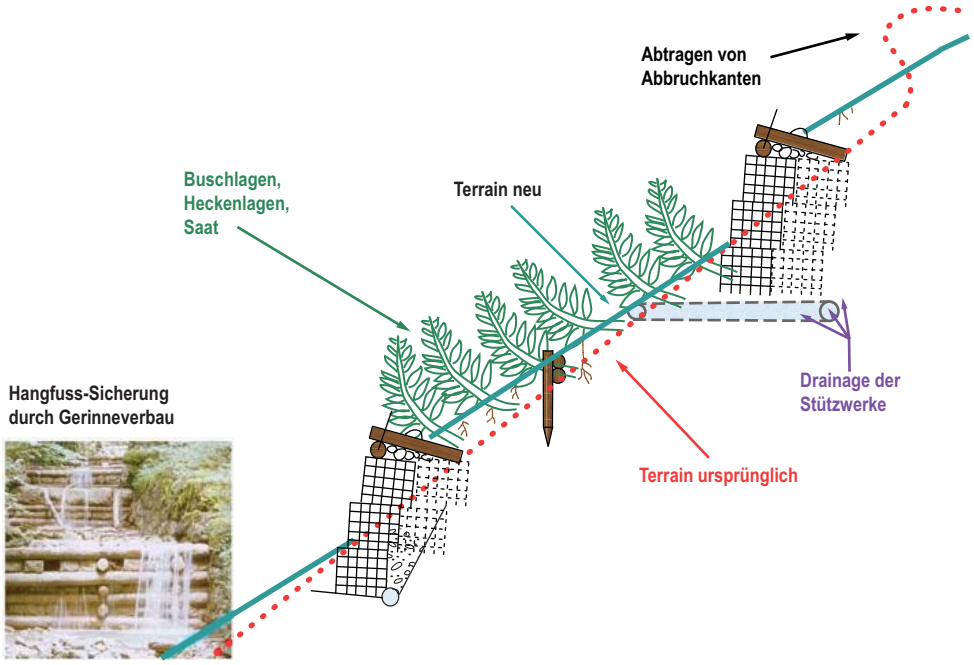
Zulässige Hangneigung und Massnahmen zu deren Sicherstellung: Ein Hang oder ein Hangbereich, dessen Neigung nicht grösser als der Scherwinkel Φ' des verwitterten (aufgelockerten) Bodenmaterials ist, kann in der Regel allein mit biologischen Massnahmen stabilisiert werden. In der Praxis wird der Scherwinkel Φ' des verwitterten Bodenmaterials häufig als die zulässige Hangneigung angenommen (Böll, 1983). Falls die Neigungen grösser als der Scherwinkel sind, besteht die Lösung meistens aus einer Kombination von technischen und biologischen Massnahmen (Abb. 7.1). Die zulässige Hangneigung entspricht der Linie «Terrain neu». Durch Stützwerke werden die Neigungen auf diese Linie reduziert und mittels ingenieurbiologischen Massnahmen gesichert.

Vegetation und Scherwinkel

Untersuchungen von Frei et al. (2003) haben ergeben, dass sich die Einflüsse der Vegetation als eine Zunahme im Scherwinkel ausdrücken lassen. Dabei wurde für Moränenmaterial aus der Schwandrübi NW an Laborproben gezeigt, dass die mit Grauerlen *(Alnus incana)* bepflanzten Proben eine Zunahme im Scherwinkel von etwa 5^{o} gegenüber vegetationslosen Bodenproben von gleichem Trockenraumgewicht aufweisen.

Abb. 7.1 > Konzept der Hangstabilisierung.

Hang- bzw. Runsenverbau mit kombinierten technisch-biologischen Methoden nach erfolgter Stabilisierung der Gerinnesohle nach Böll (1997).



Oberflächenschutz: Häufig wirken Erosions- und Verwitterungsprozesse im Oberflächenbereich destabilisierend. Der flächenhafte Schutz kann nur durch Pflanzen übernommen werden (Böll, 1997).

Zusätzliche Massnahmen: Der Abtrag von Abbruchkanten (Abb. 7.1) und übersteilen Partien, Entwässerungen und Kleinstützwerke zur Verbesserung der Standortbedingungen sowie der Schutz vor lokalen Schäden (z. B. an Fundamenten) können ebenfalls zur Stabilisierung beitragen.

7.2.2 Gefährdungsbilder und Einwirkungen während des Ereignisses 2005

Die Gefährdungsbilder und Einwirkungen ergaben sich aus:

> Gerinneabfluss, Geschiebe- und Schwemmholztransport sowie Murgängen
> Wasserdruck, Erddruck, Sickerströmungen und Oberflächenabfluss.

Die Frage, ob die Einwirkungen aussergewöhnlich waren, war zu klären. Zu diesem Zweck gab es folgende Untersuchungen:

> Schäden in der Umgebung eines Verbaugebietes, die auch im Verbaugebiet (ohne Massnahmen bzw. bei Versagen) hätten auftreten müssen
> Schäden im eigentlichen Verbaugebiet bzw. an einzelnen Massnahmen.

Gefährliche Prozesse und Schäden

Gerinneabfluss, Geschiebe- und Schwemmholztransport sowie Murgänge: Aus der Niederschlagscharakteristik vom August 2005 resultierten kaum extreme Hochwasserabflüsse für Wildbäche mit kleinen Einzugsgebieten. Prozessanalysen und Schadensereignisse im August 2005 zeigten jedoch, dass auch nicht extreme Abflüsse Geschiebe- und Schwemmholztransport sowie Murgänge auslösen können. Die Gefährdungsbilder und Einwirkungen für die Gerinneeinbauten ergaben sich aus solchen Prozesskombinationen.

Wasserdruck, Erddruck, Sickerströmungen und Oberflächenabfluss: Bei Stützwerken ist davon auszugehen, dass sich als Einwirkung Erddruck und hydrostatischer Wasserdruck einstellen können. Die lang anhaltenden Niederschläge beeinflussten auch die Sickerstömungsverhältnisse. Beim Stabilisierungskonzept (Abb. 7.1) ergibt sich durch die Stützwerke und deren Hinterfüllung mit Lockermaterial eine neue Terrainlinie. In den Lockermaterialschichten ist mit ausgeprägten Sickerströmungen zu rechnen (Böll, 1997). An Hängen und in Runsen bewirken Verbauungen eine Konzentration der Oberflächenabflüsse. Mögliche Folgen sind Erosionserscheinungen und Schäden an Fundamenten und seitlichen Einbindungen.

7.2.3 Vorgehen bei der Beurteilung der technischen Massnahmen

Holzkonstruktionen und Werke aus Drahtsteinkörben

Bei den Gerinneeinbauten handelte es sich um Holzkonstruktionen (Abb. 7.2). An Hängen und in Runsen mit wenig ausgeprägtem Gerinnecharakter wurden Werke aus Holz und Drahtsteinkörben beurteilt (Abb. 7.3). Eine klare Trennung zwischen technischen und biologischen Massnahmen war dort nicht immer möglich, da die gegenseitige Beeinflussung meistens sehr ausgeprägt ist.

Bei der Beurteilung von technischen Massnahmen wurden untersucht:

Kriterien zur Beurteilung technischer Massnahmen

- *Anordnung der Verbaumassnahmen:* Entsprach in den Gerinnen die Sperrenanordnung den Vollverbau-Kriterien? Waren bei den Stützwerken an den Hängen und in den Runsen die Bedingungen bezüglich der Rutschmechanismen und der zulässigen Hangneigung erfüllt? Wurden andernfalls Massnahmen getroffen, um Schäden an Fundamenten und seitlichen Einbindungen durch Sohlenabsenkungen bzw. Bodenabtrag zu verhindern? Hat sich die Anordnung bewährt?
- *Tragsicherheit:* Die einzelnen Bauwerke und die gesamten Verbauungen wurden gemäss Böll (2003) visuell beurteilt.
- *Gebrauchstauglichkeit:* Deformationen etc. sowie Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die sich in den Gerinnen bzw. an den Hängen und in den Runsen abspielenden Prozesse.
- *Verbauung als Hangfusssicherung und zur Sicherung von Runsengerinnen:* Stabilität der Böschungen entlang der Verbaustrecke.
- *Eignung der technischen Massnahmen in Bezug auf die Anforderungen der Ingenieurbiologie an Hängen und in Runsen:* Gewährleisten die Neigungsverhältnisse die Voraussetzungen für die langfristige Stabilisierung durch die ingenieurbiologischen Verfahren?

Sicherung von Gerinnen

Abb. 7.2 > Sperrentreppe aus doppelwandigen Holzkasten im Wilerlibach UR.

Die Anordnung entspricht praktisch einem Vollverbau. Das Unwetter trat kurz vor Beendigung der Bauarbeiten auf. Es gab starke Geschiebeablagerungen insbesondere hinter den Sperrenflügeln. Die Erosionsstellen an den Ufern wurden bereits vor dem Ereignis dokumentiert. Insgesamt wirkte die Verbauung gut.

Foto: H. Duss

Sicherung von Hängen

Abb. 7.3 > Gewichtsmauer aus Drahtsteinkörben in der Schwandrübi NW.

Zusatzkonstruktion (Holzkasten) zur Sicherstellung der seitlichen Einbindung. Die grundsätzlich unterschiedlichen Lebensdauern der Werkstoffe waren zu berücksichtigen bzw. war abzuklären, ob die Wirkung der Holzkonstruktion zu gegebener Zeit durch Pflanzen übernommen werden kann.

Aufnahme 1985

7.2.4 Vorgehen bei der Beurteilung der ingenieurbiologischen Massnahmen

Flächenhafte Wirkung

Während bei den technischen Massnahmen die Erfüllung einer Stützfunktion im Vordergrund steht, geht es bei den biologischen Massnahmen v. a. um die nachhaltige flächenhafte Wirkung der Vegetation auf die Hangstabilität und um den Schutz vor Oberflächenerosion. Die Beurteilungskriterien waren entsprechend anzupassen. Analysiert wurden:

Kriterien zur Beurteilung ingenieurbiologischer Massnahmen

- *Deckungsgrad und Diversität der Vegetation:* Deckungsgrad und Diversität geben Hinweise, wie die Pflanzen die Bodenoberfläche schützen und sind ein Mass für die Entwicklung der Pflanzen auf der Fläche.
- *Durchwurzelung:* Die Durchwurzelung ist wichtig für die Festigkeit und den Wasserhaushalt des Bodens. Die Durchwurzelungsintensität wurde in den obersten 20 cm erfasst. Einzelne Sträucher wurden ausgegraben oder Bodenprofile angelegt, um die Tiefe der Durchwurzelung abzuschätzen. Die Stärke der Verankerung der Pflanzen wurde anhand von Ausreissversuchen beurteilt.
- *Bodenstruktur:* Die Bodenstruktur wurde durch die Korngrössenverteilung und die Boden-Aggregat-Stabilität charakterisiert. Die Korngrössenverteilung ist ein Faktor für die Standfestigkeit von Hängen und ein Merkmal für das Entwicklungsstadium eines Bodens. Die Aggregat-Stabilität ist ein Mass für die Stabilität der Bodenstruktur gegenüber mechanischen Einwirkungen und für die Erodierbarkeit des Bodens (Amezketa, 1999). Frei et al. (2003) konnten zeigen, dass Durchwurzelungsgrad, Boden-Aggregat-Stabilität und Scherwinkel positiv korreliert sind.

7.2.5 Ergebnisse zu den technischen Massnahmen in Gerinnen

Wildbachsperren

Bei den untersuchten Verbauungen handelte es sich um folgende Bach- bzw. Runsensperren aus Holz:

- Schinberggraben, Lungern OW; 5 doppelwandige Holzkasten; Vollverbaukriterien nicht erfüllt
- Steigelenbach, Marbach LU; 7 einwandige Holzsperren; Vollverbaukriterien nicht erfüllt
- Wilerlibach, Spirigen UR; 16 doppelwandige Holzkasten (Abb. 7.2); Vollverbaukriterien im Wesentlichen erfüllt.

Resultate

Die Beschreibung der einzelnen Gerinne und die detaillierte Beurteilung sind im Projektbericht zu finden. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Geschiebetransport massgebend

Aufgrund der Niederschlagscharakteristik ergaben sich für Gerinneverbauungen in kleinen Einzugsgebieten die massgebenden Einwirkungen nicht aus Hochwasserabfluss (Reinwasser) sondern aus Geschiebetransport und z. T. aus seitlichen Rutschungen. Eigentliche Murgänge wurden nicht registriert. Innerhalb der Verbaustrecken kam es zu beträchtlichen Geschiebeablagerungen. Allgemein kann angenommen werden, dass sich während dem Ereignis die insbesondere für Hochwasserabflüsse typische Reduktion der Gerinnesohle auf das Grenzgefälle kaum einstellte.

Sperrenflügel

Bei den hinterfüllten Sperren ergab sich bei der starken Geschiebeführung eine extreme Einwirkung auf die Sperrenflügel. Die doppelwandigen Holzkastenwerke mit konstruktiv einwandfreiem Verbund der Flügel mit dem Sperrenkörper konnten diese Beanspruchung aufnehmen. Bei den meisten einwandigen Rundholzsperren mit Rundholzflügeln wurden hingegen die Flügel abgeschert.

Abflusssektionen

Bei einem Grossteil der untersuchten Sperren waren die Abflusssektionen verstopft (Geschiebe/Schwemmholz). Diese Sperren wurden auf ihrer ganzen Breite überflossen. Bei Reinwasserabflüssen führt dies normalerweise zu Erosion und Rutschungen der unterwasserseitigen Uferböschungen und damit zum Abtrag der seitlichen Einbindungen. Bei Sperren, die von Flanke zu Flanke tragen (einwandige Rundholzsperren) bilden die seitlichen Einbindungen die Widerlager und ihr Abtrag führt zum Kollaps der Tragwerke. Als Gewichtsmauern konzipierte doppelwandige Holzkastensperren sind wesentlich weniger empfindlich.

Seitliche Einbindungen

Im Schinbergraben OW und im Steiglenbach LU wurde ein Abtrag an seitlichen Böschungen festgestellt. Insgesamt wirkte sich aber das innerhalb der Verbauungen abgelagerte Geschiebe günstig auf die Stabilität der seitlichen Einbindungen aus.

Abgesehen von den Zuständen während des Ereignisses, können auch die Verhältnisse bei dessen Abklingen und danach kritisch werden. Bezüglich der Lagerungsbedingungen traten kritische Zustände durch Ausräumen der Gerinne ein (natürlich oder künstlich). In dieser Hinsicht verhielten sich Sperren, welche gemäss den Vollverbau-Kriterien entsprechend dem Grenzgefälle angeordnet waren, wesentlich günstiger als Sperren, welche diese Bedingungen nicht erfüllen.

7.2.6 Ergebnisse zu den technischen und biologischen Massnahmen im Hang- und Runsenverbau

Bei den untersuchten Flächen handelte es sich um die drei in Tab. 7.1 charakterisierten Objekte. Ergänzend analysierte das Büro IMPULS, unter wissenschaftlicher Begleitung der WSL, die Hang- und Runsenverbauungen in den Brienzer Wildbächen BE (IMPULS, 2007).

Tab. 7.1 > Kenndaten der Untersuchungsgebiete und Aufnahmeflächen.

Die Daten stammen z. T. aus Literatur (Weibel, 1985; Burri, 2006; Schwarz, 2006; Romer, 2007)

Gebiet	Fläche	Höhe [m ü.M.]	Neigung	Exposition	Stabilität[1]	Deckungsgrad[2]	Durchwurzelung[3]	Art der ingenieurbiologischen Massnahmen
Dallenwil NW	Hexenrübi	1150	44°	NO	42.9 %	< 5 %	-	Drahtsteinkörbe, keine ingenieurbiologischen Massnahmen
	Schwandrübi	1160	41°	NO	90.7 %	150 %	++	Steckhölzer *(Salix purpurea)*, Bepflanzung *(Alnus incana)*, Hydrosaat, Drahtsteinkörbe
	Hornwald	1120	44°	NO	100.0 %	110 %	++	natürlicher Tannen-Buchenwald

Gebiet	Fläche	Höhe [m ü.M.]	Neigung	Exposition	Stabilität[1]	Deckungsgrad[2]	Durchwurzelung[3]	Art der ingenieurbiologischen Massnahmen
Arieschbach GR	Kontrolle	1280	41°	O	51.6 %	10 %	-	keine Massnahmen
	3-jährige ingenieurbiologische Massnahme	1340	41°	O	79.9 %	50 %	+	Heckenbuschlage *(S. purpurea, S. caprea, Acer pseudoplatanus, A. incana, Betula pendula, Prunus padus, Sorbus aucuparia)*, Hydrosaat
	9-jährige ingenieurbiologische Massnahme	1260	39°	O	120.6 %	110 %	++	dito
	Wald	1260	40°	O	100.0 %	150 %	++	natürlicher Fichten-Tannenwald
Klosters GR	8-jährige ingenieurbiologische Massnahme am Rand	1160	42°	NO	42.7 %	50 %	-/+	Pflanzung einzelner *A. incana*, Hydrosaat, Randbereich nachfolgender Fläche
	8-jährige ingenieurbiologische Massnahme	1160	41°	NO	58.7 %	90 %	+	Heckenbuschlage *(S. purpurea, A. incana)*, Hydrosaat, Holzkasten
	25-jährige ingenieurbiologische Massnahme	1170	40°	NO	99.7 %	120 %	++	Heckenbuschlage *(S. cinerea, S. dapnoides, S. appendiculata, A. incana, Fraxinus excelsior, Lonicera alpigena, Populus tremula, Prunus padus, Sambucus racemosa, Sorbus aria, S. aucuparia)*, Bepflanzung *(A. incana, Betula pendula, Fagus sylvatica, F. excelsior, P. tremula, P. padus, S. aucuparia, Tilia platyphylla)*, Hydrosaat
	Wald	1160	40°	NO	100.0 %	150 %	++	natürlicher Fichten-Tannen-Buchenwald

[1] Gebietsabhängiger relativer Wert der mittleren Aggregatstabilität in Prozent der untersuchten natürlichen und stabilen Waldgesellschaft (= 100 %)
[2] Gesamt-Deckungsgrad bestehend aus Kraut-, Strauch- und Baumschicht.
[3] Durchwurzelung 0–20 cm (-: schlecht, -/+: mittel, +: gut, ++: sehr gut).

Vegetationswirkungen

Die Wirkung der Vegetation auf die Hangstabilität ist im Gegensatz zu rein technischen Massnahmen flächenhaft und multifunktional. Die Pflanzen verbessern Oberflächenschutz und Wasserhaushalt, beschleunigen Sukzessionsprozesse und erhöhen insbesondere Bodenarmierung und Boden-Aggregatstabilität. Letzterem Parameter wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung das Hauptaugenmerk geschenkt, da er als integrales Mass für die biologischen Wirkungen auf die Bodenstabilität im oberflächennahen Bereich interpretiert werden kann (Böll und Graf, 2001; Frei et al., 2003; Graf et al., 2003; Graf et al., 2006). In allen drei untersuchten Gebieten wurde das unbehandelte und unbewachsene Bodenrohmaterial nach USCS gemäss SN 670 008a (1997) als gut abgestufter Kies mit Ton (GW-GC) klassifiziert. Weitere Kenndaten der Aufnahmeflächen sind in Tab. 7.1 zusammengestellt.

Bewährung ingenieurbiologischer Massnahmen

Mit Ausnahme einer Untersuchungsfläche, haben alle in den drei Gebieten Dallenwil NW, Arieschbach GR und Klosters GR analysierten ingenieurbiologischen Massnahmen dem Unwetter 2005 standgehalten und sich sehr gut bewährt. Während die Drahtsteinkorbwerke in der Schwandrübi NW (Abb. 7.4) als nach wie vor tragfähig und funktionstauglich angesprochen wurden, zeigten sich an den Holzkastenkonstruktionen (Abb. 7.3) Schäden durch Vermorschung (Mordini, 2007). Durch Pflanzenbewuchs ergab sich jedoch eine Stabilisierung. Ebenfalls bewährt haben sich die Hang- und Runsenverbaumassnahmen in den Brienzer Wildbächen BE. Es traten dort praktisch keine Schäden auf; die Zielsetzung wurde erreicht und ist nach wie vor gewährleistet (IMPULS, 2007).

Abb. 7.4 > Schwandrübi NW: Zustand 1978 und 2005 nach dem Unwetterereignis.

Aufnahmen: Oberforstamt Nidwalden und WSL. Am oberen Rand der Schwandrübi befindet sich ein Seilbahnmast der Luftseilbahn Dallenwil-Wirzweli. In der Mitte des rechten Bildes ist ein Stützwerk aus Drahtsteinkörben mit aufgesetztem Kronenschutz aus Rundholz zu erkennen.

Instabile Kontrollflächen

Bei der abgerutschten «Ingenieurbiologie-Partie» in Klosters GR handelt es sich um den Randbereich ingenieurbiologischer Massnahmen einer ansonsten stabil gebliebenen Fläche sowie unbehandeltes Terrain (Abb. 7.5). Die übrigen ingenieurbiologisch stabilisierten Flächen weisen im Vergleich zu den instabilen, unbehandelten Vergleichsflächen eine signifikant höhere Aggregatstabilität auf (Abb. 7.6). In Dallenwil NW nimmt sie vom instabilen über den ingenieurbiologisch verbauten hin zum Waldboden jeweils signifikant zu. Ähnlich verhält es sich in den Gebieten Arieschbach GR und Klosters GR, wo sich allerdings der Wald nicht mehr von den jeweils ältesten ingenieurbiologisch stabilisierten Flächen von 9, respektive 25 Jahren unterscheidet.

Stabile Kontrollflächen und Grenzwerte

Im Gegensatz zu den instabilen Kontrollflächen in Dallenwil NW und Klosters GR fanden in jener des Arieschbachgebietes GR keine Rutschungen statt, sondern wurden nur oberflächennahe Erosionsspuren registriert. Mit einer relativen Aggregatstabilität von knapp 52 % scheint diese Fläche im Rückblick auf das Unwetterereignis 2005 einen Grenzwert darzustellen. Mit knapp 59 % relativer Aggregatstabilität hielt jedenfalls die 8-jährige ingenieurbiologisch stabilisierte Fläche in Klosters GR dem Ereignis stand; für die abgerutschte Nachbarpartie wurde ein Wert von knapp 43 % berechnet (Tab. 7.1).

Abb. 7.5 > Untersuchungsflächen im Gebiet Klosters.

a) stabiler Teil einer 8-jährigen ingenieurbiologischen Massnahme sowie
b) instabiler Randbereich und unverbautes Terrain (8-jährige ingenieurbiologische Massnahme am Rand)

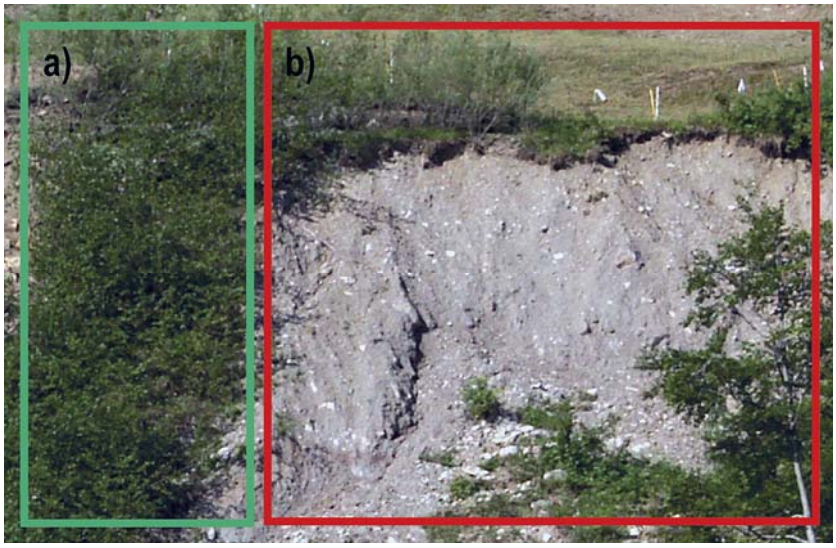
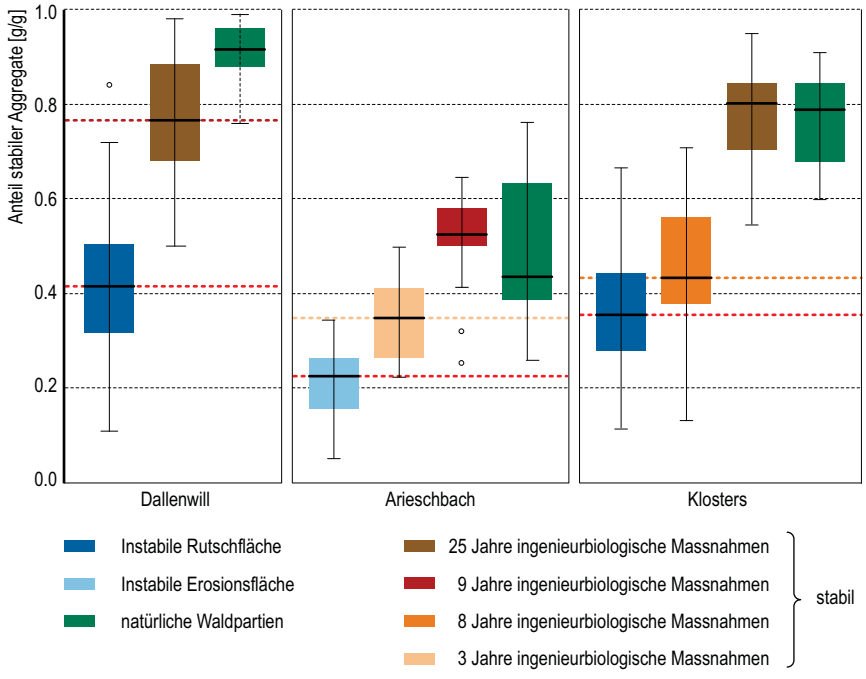


Abb. 7.6 > Absolute Aggregatstabilität aller Untersuchungsflächen (Dallenwil, Arieschbach, Klosters).



Vegetation und Hangneigung

Im Zusammenhang mit Interpretationen und Folgerungen bezüglich biologischer Wirkungen auf die Stabilität von Hängen ist zu berücksichtigen, dass in den Untersuchungsflächen effektiv gemessene Hangneigungswinkel von bis zu 5° über dem eigentlich stabilen Wert des reinen Bodenmaterials gemessen wurden. Basierend auf den Feld- und Laboruntersuchungen kann geschlossen werden, dass biologische Massnahmen schon nach kurzer Zeit die Hangstabilität massgeblich erhöhen und einem Ereignis wie jenem von 2005 standhalten. Wichtige Voraussetzungen dazu sind allerdings standortangepasste artenreiche Bepflanzungen unter Berücksichtigung natürlicher sich gegenseitig beeinflussender Entwicklungsprozesse von Vegetation und Boden (Graf et al., 2006). Die Initialisierung und Unterstützung essentieller Rhizosphärenprozesse und daraus resultierend eine gute Durchwurzelung bilden die Basis des Erfolgs. Es kann vermutet werden, dass relative Aggregatstabilitäten über 50 %, welche je nach Rahmenbedingungen schon innerhalb von drei Jahren erreicht werden, die langfristige Stabilität erhöhen können.

7.2.7 Diskussion der Resultate und Folgerungen

Fallstudien und allgemeine Zusammenhänge

Obwohl durch die Unwetter insgesamt sehr viele Schäden entstanden, wurden für die Untersuchung von biologischen und technischen Massnahmen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau nur wenige Schadensobjekte registriert. Aufgrund der geringen Anzahl an Untersuchungsobjekten hat diese Arbeit Fallstudiencharakter. Trotzdem soll versucht werden, die Resultate in einem allgemeinen Rahmen zu diskutieren und Folgerungen für die Verbaupraxis zu ziehen. Als Gründe für die geringe Zahl von Schadenobjekten können einerseits die Prozesse und Einwirkungen und andererseits das Verhalten der Massnahmen gelten.

7.2.7.1 Gerinneverbauungen

Holzkastensperren haben sich bewährt

Die doppelwandigen Holzkastenkonstruktionen mit konstruktiv einwandfreiem Verbund der Flügel mit dem Sperrenkörper konnten die Beanspruchung aus der starken Geschiebeführung aufnehmen. Bei den meisten einwandigen Rundholzsperren mit Rundholzflügeln wurden hingegen die Flügel abgeschert.

Basierend auf Untersuchungen an doppelwandigen Holzkastensperren in Gams SG, beurteilten Zeller und Röthlisberger (1987) solche Konstruktionen als gut geeignet in Gerinnen mit starker Geschiebeführung. Die Sperrenflügel in Gams SG bestanden allerdings grösstenteils aus Blocksteinen. Die Wirksamkeitsanalyse nach den Unwettern 2005 bestätigt diese Aussage und zeigt zudem auch die grundsätzliche Eignung von aus Holzkasten bestehenden Sperrenflügeln. Bezüglich der Eignung von einwandigen Rundholzsperren in stark Geschiebe führenden Gerinnen ergeben sich hingegen grosse Vorbehalte.

7.2.7.2 Technisch-biologische Massnahmen im Hang- und Runsenverbau

Wasserdruck, Erddruck und Sickerströmungen waren massgebend für die Verbauungen. Grundsätzlich sind dies die gleichen Faktoren, welche auch für die Auslösung vieler Rutschungen während der Ereignisse 2005 verantwortlich waren.

Technisch-biologische Massnahmen haben sich bewährt

Die Stützwerke aus Drahtsteinkörben haben sich sehr gut bewährt. Dies ist insbesondere auch auf die sorgfältige Bauausführung zurückzuführen.

Bei den doppelwandigen Holzkastenkonstruktionen in der Schwandrübi waren die Schäden in Anbetracht ihres durch Vermorschung zum Teil sehr schlechten Zustandes gering. Die Tragwirkung der verhältnismässig niedrigen Werke (Höhen kleiner als ca. 1.5 m) wurde durch die im Laufe der Jahre aufgekommene Vegetation (v. a. Grauerlen; *Alnus incana)* weitgehend übernommen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Holzkasten seinerzeit nicht mit Pflanzen oder Steckstangen bestückt wurden (Abb. 7.3). Die Pflanzen haben sich erst im Laufe der Jahre eingestellt bzw. hat sich die eingebrachte Vegetation entsprechend entwickelt. Nach Zerfall der ursprünglichen Tragkonstruktionen dürften die steil geneigten Vorderfronten jedoch nicht überall erhalten bleiben. Trotz stabilisierenden Pflanzenwirkungen muss dann mit lokalem Bodenabtrag gerechnet werden. Die Holzkonstruktionen sind deshalb sorgfältig zu überwachen und bei Bedarf zu erneuern. Unter den folgenden Voraussetzungen können die Erfahrungen mit den Holzkasten in der Schwandrübi auf andere Gebiete übertragen werden: Werkshöhen unter ca. 1.8 m, Neigung nicht steiler als ca. 3 zu 1, natürliches Aufkommen von Pflanzen, durchwurzelbares Verfüllungsmaterial, Überwachung, Unterhalt (rechtzeitiger Rückschnitt der Pflanzen) und Erneuerung bei Bedarf.

Die rein biologischen Massnahmen haben sich insgesamt sehr gut bewährt. Besonders beeindruckend war ihre Wirkung bei der Stabilisierung von Hangpartien, deren Neigung steiler war als der Scherwinkel des aufgelockerten Bodenmaterials. In der Praxis werden biologische Methoden oft an Hängen und Böschungen eingesetzt, die aus bodenmechanischer Sicht zu steil sind. Die Tatsache, dass biologische Massnahmen während der Unwetter 2005 nur sehr vereinzelt zu Schaden kamen, ist deshalb erfreulich. Angesichts der vielen oberflächennahen Rutschungen in natürlich vegetationsbedecktem Gelände (Raetzo und Rickli, 2007) ist aber das Langzeitverhalten solcher Massnahmen zu diskutieren.

Die vegetationsbedingte Scherwinkelzunahme wurde durch die Stabilitätsverhältnisse in den Untersuchungsgebieten Arieschbach GR, Klosters GR und Schwandrübi NW sowie im neben der Schwandrübi gelegenen Tannen-Buchenwald (Hornwald NW) bestätigt (Tab. 7.1). Es ist somit anzunehmen, dass bezüglich Scherwinkelbeeinflussung ähnliche Voraussetzungen für natürlich bestockte und biologisch stabilisierte Flächen gelten. Da es im Vergleich zu steilem Gelände, auf dem natürliche Vegetation stockt, nur wenige durch ingenieurbiologische Massnahmen stabilisierte Flächen gibt, waren grundsätzlich auch weniger Schäden zu erwarten.

Bodenverwitterung und Langzeitverhalten

Unterschiedliche Voraussetzungen für die langfristige Stabilität lassen sich vermutlich mit zeitabhängigen Bodenverwitterungs- und Bodenauflockerungs-Prozessen begründen. Auf natürlich bestockten Flächen wirken solche Prozesse über sehr lange Zeiträume, so dass zum Zeitpunkt der Unwetterereignisse Bodenverhältnisse herrschten, welche in Kombination mit der Wasseraufsättigung zu Rutschungen führten. Mit einem Alter von maximal 25 Jahren waren die meisten der ingenieurbiologisch stabilisierten Flächen vergleichsweise sehr jung. Häufig werden ingenieurbiologische Massnahmen nach erfolgter oberflächennaher Rutschung angewendet. Das Gelände befindet sich dann in einem temporären Gleichgewicht und die freigelegten Oberflächen weisen eine anfänglich hohe Festigkeit auf. Durch die aufgebrachte Vegetation bleibt diese mindestens vorerst erhalten. Vermutlich vergehen mehrere Jahrzehnte bis sich ähnliche Verhältnisse bezüglich Bodenverwitterung und -auflockerung einstellen wie in Waldböden. Aufgrund dieser Zeitabhängigkeit ist es nach wie vor schwierig, gesicherte Aussagen (z. B. für die nächsten 50 bis 100 Jahre) zu den Wirkungen ingenieurbiologischer Systeme zu machen.

7.3 Geschieberückhalt

Markus Promny, Daniela Lange, Georg Möller

7.3.1 Einführung

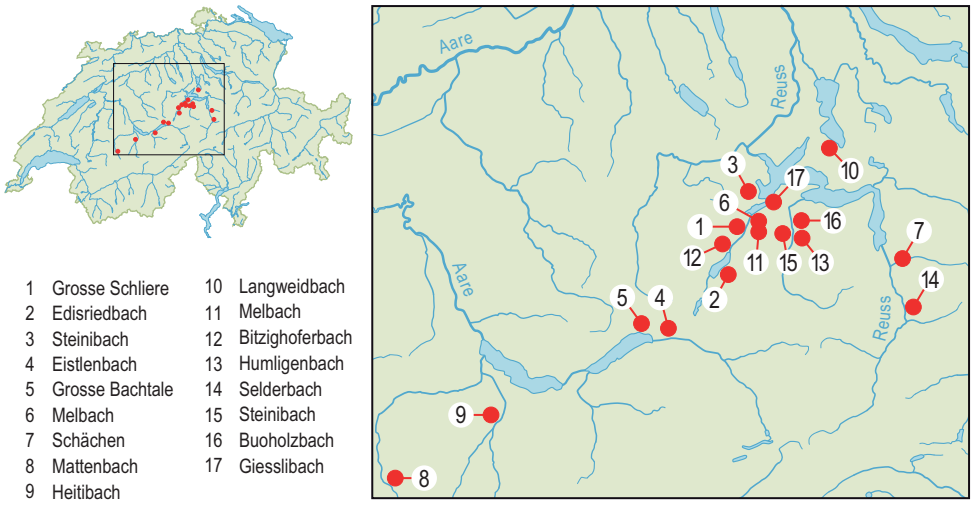
Ziel

Während des Augusthochwassers 2005 wurde eine Reihe von Geschiebesammlern bis an ihre Grenzen oder teilweise deutlich darüber hinaus belastet. Durch die Analyse des Verhaltens solcher Bauwerke sollen Lehren für zukünftige Rückhaltemassnahmen gezogen werden.

Auswahl der Fallbeispiele

In einer Voruntersuchung wurden 17 Geschiebesammler für eine vertiefte Analyse ausgewählt. Die Kriterien für die Auswahl waren eine hohe Beaufschlagung und eine hinreichende Dokumentation des Ereignisses. In Abb. 7.7 ist eine geografische Übersicht der Sammler gegeben. Grundlage der Analyse sind die Ereignisdokumentationen der Kantone, die StorMe-Protokolle sowie die Beobachtungen verschiedener Personen und Organe während des Ereignisses (VAW, 2008).

Abb. 7.7 > Lage der untersuchten Geschiebesammler.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606–01 © 2004 swisstopo)

Methodik

Für die untersuchten Fallbeispiele wurden folgende Kenngrössen erhoben:

- das *potenzielle Rückhaltevolumen,* welches üblicherweise im Rahmen der Projektierung aus der Topographie des leeren Geschiebesammlers, der Geometrie des Abschlussbauwerks und unter Annahme eines in der Regel eher konservativ angesetzten Werts für das zu erwartende Gefälle der Ablagerungen im Sammler ermittelt wird;
- die *Zufuhr,* d. h. die während des Ereignisses dem Sammler zugeführte Geschiebefracht;
- der *Rückhalt,* d. h. die während des Ereignisses im Sammler zurückgehaltene Feststoffmenge.

Diese Kenngrössen sind in Tab. 7.2 zusammengefasst. Teilweise mussten dabei aus mehreren unterschiedlichen Abschätzungen plausible Annahmen getroffen werden. Als Mass für die Belastung und die Rückhaltewirkung werden

- die *relative Zufuhr*
  (Verhältnis zwischen Zufuhr und potenziellem Rückhaltevolumen) sowie
- der *relative Rückhalt*
  (Verhältnis zwischen Rückhalt und potenziellem Rückhaltevolumen)

definiert. Diese beiden Parameter werden im Folgenden zur Beurteilung der betrachteten Geschiebesammler verwendet.

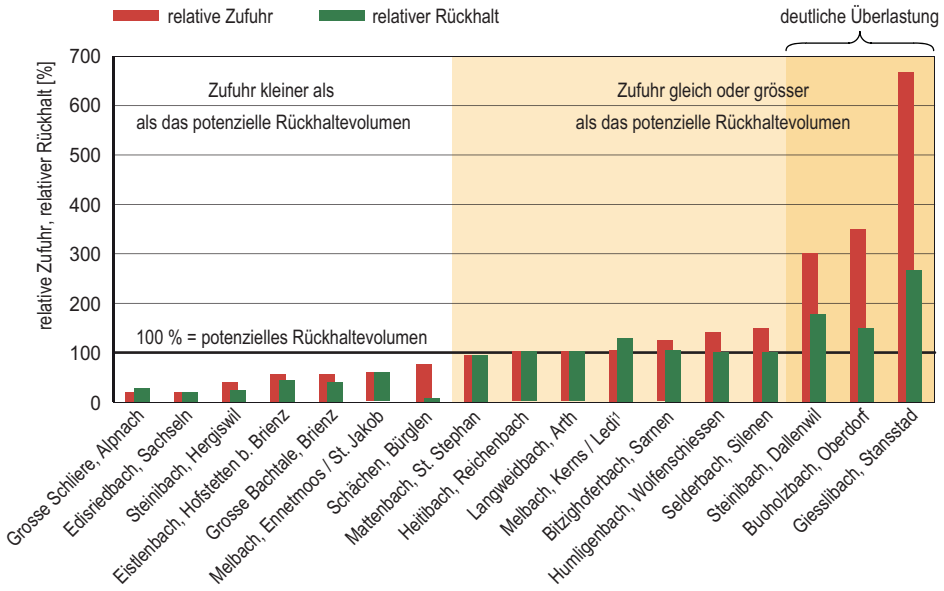
7.3.2 Quantitative Beurteilung der Geschiebesammler

Rückhaltewirkung mehrheitlich wie geplant oder besser

In Abb. 7.8 sind die relative Zufuhr sowie der relative Rückhalt für die 17 untersuchten Geschiebesammler dargestellt. Es ist festzustellen, dass eine Reihe von Bauwerken überlastet wurde (relative Zufuhr grösser als 100 %). Bei 10 der 17 untersuchten Geschiebesammler wurde die vorhandene Kapazität ausgeschöpft. Diese sind in Abb. 7.8 farblich hinterlegt. In 3 Fällen konnten die Bauwerke sogar deutlich mehr Geschiebe als geplant zurückhalten. Dies betrifft die Sammler am Steinibach (Dallenwil NW), am Buoholzbach (Oberdorf NW) sowie am Giesslibach (Stansstad NW). Lediglich der Sammler am Schächen (Bürglen UR) zeigte eine deutlich geringere Rückhaltewirkung als erwartet.

Abb. 7.8 > Relative Zufuhr und relativer Rückhalt der untersuchten Geschiebesammler.

Die relative Zufuhr entspricht dem Verhältnis zwischen der Zufuhr und dem potenziellen Rückhaltevolumen. Der relative Rückhalt ist als Verhältnis zwischen dem zurückgehaltenen Feststoffvolumen und dem potenziellen Rückhaltevolumen definiert.



[1] Sammler vor dem Ereignis nicht geräumt

In Abb. 7.8 lassen sich drei Bereiche unterscheiden. Im ersten Bereich, welcher den linken Teil des Diagramms umfasst, ist die Zufuhr während des Ereignisses kleiner als das potenzielle Rückhaltevolumen. Bis auf den Sammler am Schächen, auf den in Kap. 7.3.3 näher eingegangen wird, haben diese Bauwerke wie geplant reagiert und eine gute Rückhaltewirkung gezeigt. Im farblich hinterlegten Bereich in Abb. 7.8 war die Zufuhr gleich oder grösser als das potenzielle Rückhaltevolumen. Bei den Sammlern, welche nur geringfügig überlastet waren, entspricht der Rückhalt in etwa dem potenziellen Rückhaltevolumen. Der Sammler am Melbach bei Kerns/Ledi war vor dem Ereignis nicht geräumt und somit das vorhandene Rückhaltevolumen reduziert. Dadurch ist für dieses Beispiel der Rückhalt scheinbar grösser als die Zufuhr.

Höherer Rückhalt bei deutlicher Überlastung

Die Bauwerke, für die eine deutliche Überlastung verzeichnet wurde, konnten mehr Geschiebe zurückhalten als geplant. Dies ist durch das bei hoher Intensität der Zufuhr generell steilere Auflandungsgefälle von Geschiebeablagerungen begründet.

Tab. 7.2 > Kenngrössen der untersuchten Geschiebesammler.

Die Werte stellen jeweils Schätzungen sowie eine Synthese aus verschiedenen Quellen dar. Die Unschärfen der unterschiedlichen Schätzmethoden bezüglich Geschiebefracht und Rückhalt können einen Faktor 1.5 bis 2 erreichen (Lehmann et al., 2007). Teilweise sind erhebliche Mengen Feinmaterial in den bilanzierten Volumina enthalten.

			potenzielles Rückhaltevolumen [m³]	Zufuhr [m³]	Rückhalt [m³]	relative Zufuhr [%]	relativer Rückhalt [%]
1	Grosse Schliere	Alpnach OW	200'000	40'000	57'100	20	29
2	Edisriedbach	Sachseln OW	31'000	6'300	6'000	20	19
3	Steinibach	Hergiswil NW	12'700	5'000	3'000	39	24
4	Eistlenbach	Hofstetten b. Brienz BE	11'500	6'500	5'000	57	43
5	Grosse Bachtale	Brienz BE	8'800	5'000	3'500	57	40
6	Melbach	Ennetmoos / St. Jakob NW	6'000	3'500	3'500	58	58
7	Schächen	Bürglen UR	90'000	68'000	6'000	76	7
8	Mattenbach	St. Stephan BE	32'000	30'000	30'000	94	94
9	Heitibach	Reichenbach BE	7'000	7'000	7'000	100	100
10	Langweidbach	Arth SZ	15'000	15'000	15'000	100	100
11	Melbach	Kerns / Ledi OW	5'000	5'200	6'400[1]	104	128
12	Bitzighoferbach	Sarnen OW	3'000	3'700	3'100	123	103
13	Humligenbach	Wolfenschiessen NW	12'000[2]	17'500	12'000	146	100
14	Selderbach	Silenen UR	18'000	27'000	18'000	150	100
15	Steinibach	Dallenwil NW	15'000	45'000	26'620	300	177
16	Buoholzbach	Oberdorf NW	20'000	70'000	30'000	325	150
17	Giesslibach	Stansstad NW	300	2'000	800	667	267

[1] Sammler vor dem Ereignis nicht geräumt
[2] Übersteigt die Zufuhr das verfügbare Rückhaltevolumen erfolgt eine gezielte Entlastung (vgl. Abb. 7.10)

Schäden im Unterwasser

Der nicht im Sammler zurückgehaltene Anteil des Geschiebes, d. h. die Differenz aus Zufuhr und Rückhalt, ist jeweils in den Unterlauf gelangt und hat dort teilweise zu erheblichen Schäden geführt. In fast allen Fällen mit erheblichem Geschiebeeintrag in den Unterlauf lag jedoch eine Überlastung des Sammlerbauwerks vor. Lediglich der Geschiebesammler am Schächen bildet eine Ausnahme, da hier das potenzielle Rückhaltevolumen grösser ist als die Zufuhr während des Ereignisses 2005. Die Intensitäten an den übrigen Bauwerken entsprachen teilweise Überlastszenarien gemäss den entsprechenden Gefahrenkarten. So wurden die Geschiebeablagerungen am Giesslibach (Stansstad NW) im Ereigniskataster des Kantons Nidwalden (Oeko-B AG und Niederer + Pozzi Umwelt AG, 2006) einem 300-jährlichen Szenario entsprechend eingeordnet.

7.3.3 Fallbeispiele überlasteter Geschiebesammler

Buoholzbach (Oberdorf NW)

Die Geschiebezufuhr am Buoholzbach (Oberdorf NW) von etwa 70'000 m³ wurde im Ereigniskataster als «sehr extrem» bezeichnet. Das Rückhaltevolumen des Sammlers wurde vom Tiefbauamt Nidwalden mit 20'000 m³ angegeben. Infolge der massiven Überlastung konnten sogar rund 30'000 m³ Geschiebe im Rückhalteraum aufgefangen werden. Das darüber hinaus gehende Material wurde zum grössten Teil über das Rückhaltebauwerk ins Unterwasser ausgetragen. Aufgrund der begrenzten Transportkapazität kam es dort in der Folge zum Ausbruch des Buoholzbaches mit massiver Geschiebeablagerung im angrenzenden Industriegebiet (Abb. 7.9).

Abb. 7.9 > Überlasteter Geschiebesammler am Buoholzbach, Oberdorf NW.

Die Kapazität des Sammlers wurde um mehr als 200 % überschritten. Das über das Rückhaltebauwerk ausgetragene Geschiebe verfüllte das Gerinne unterhalb des Sammlers und führte zu einem Ausbruch des Buoholzbachs und zur Übersarung des Gewerbegebiets.

Foto: Schweizer Luftwaffe

Humligenbach (Wolfenschiessen NW)

Am Sammler Humligenbach (Wolfenschiessen NW) wurde im Juli 2005 die Kapazität um 9000 m³ auf rund 12'000 m³ erweitert und zusätzlich eine Überlasteinrichtung realisiert (Abb. 7.10). Unmittelbar nach Fertigstellung der Arbeiten kam es während des Ereignisses vom August 2005 mit einer Zufuhr von 17'500 m³ zur Überlastung des Sammlers und – wie vorgesehen – zu einer selbsttätigen Ableitung des Materials in ein Gebiet mit geringerem Schadenpotenzial (Abb. 7.11). Insgesamt wurden rund 5500 m³ Geschiebe im Wald und der angrenzenden Landwirtschaftsfläche abgelagert. Im Dorf

Wolfenschiessen waren deshalb vom Humligenbach her keine Schäden durch Geschiebeeintrag zu verzeichnen. Der Humligenbach kann somit als erfolgreiches Beispiel für die Berücksichtigung des Überlastfalls angesehen werden.

Abb. 7.10 > Geschiebesammler am Humligenbach, Wolfenschiessen NW.

Absperrbauwerk mit seitlicher Entlastung (am rechten Bildrand) kurz vor dem Ereignis.

Foto: PK Bau AG

Gefüllter Rückhalteraum nach dem Ereignis.

Foto: PK Bau AG

Abb. 7.11 > Geschiebesammler am Humligenbach, Wolfenschiessen NW.

Entlastung auf den nicht überbauten Teil des Kegels. Die Gebäude im Vordergrund bleiben dank Objektschutz schadenfrei.

Foto: S. Marti, Oeko-B AG, Stans

Steinibach (Dallenwil NW)

Unterhalb des überlasteten Geschiebesammlers in Dallenwil NW konnte durch Intervention mit Baggern ein Ausbrechen des Steinibachs verhindert werden (Oeko-B AG und Niederer + Pozzi Umwelt AG, 2006). Von den betrachteten Sammlerbauwerken ist dies jedoch das einzige Beispiel, wo eine Intervention während des Ereignisses erfolgreich war. In anderen Fällen war es aufgrund der hohen Ereignisintensität nicht möglich, Schäden zu verhindern.

Bitzighoferbach (Sarnen OW)

Am Bitzighoferbach (Sarnen OW) kann die Wahrscheinlichkeit der beobachteten Geschiebefracht als mittel eingestuft werden (50- bis 100-jährliches Ereignis). Jedoch trat unterhalb des Sammlers ein relativ grosser Schaden auf. Ursache hierfür war das zeitliche Zusammentreffen von Hochwasserereignis und Bauaktivitäten. Hier genügte bereits eine relativ geringe Geschiebemenge von wenigen hundert Kubikmetern, welche den Sammler passieren konnte, um einen Baustellendurchlass unter der Kantonsstrasse zu verstopfen. In der Folge kam es an dieser Stelle zu Ausuferungen und Schäden.

Giesslibach (Stansstad NW)

Der Kleinsammler Giesslibach (Stansstad NW), mit einem Rückhaltevolumen von 300 m³, wurde – relativ gesehen – am stärksten überlastet. Die Geschiebezufuhr war hier mit rund 2000 m³ zwar vergleichsweise gering. Durch die Lage des Sammlers unmittelbar vor dem Siedlungsgebiet richtete das nicht zurückgehaltene Geschiebe jedoch grosse Schäden an Gebäuden und Strassen an. Die Ausbrüche und Übersarungen entsprachen etwa einem 300-jährlichen Szenario.

7.3.4 Unerwartete Prozesse am Geschiebesammler Stiglisbrücke am Schächen (Bürglen UR)

Selbstentleerung als Schadensursache am Schächen

Im Geschiebesammler Stiglisbrücke am Schächen (Bürglen UR) wurde weit weniger Geschiebe als geplant zurückgehalten. Dabei konnte nicht eindeutig rekonstruiert werden, wie gross die Geschiebefracht war, die den Sammler passiert hat. Mittels einer numerischen Simulation der beobachteten Sohlenentwicklung des Schächens (Jäggi, 2006) wurde eine Geschiebefracht von etwa 68’000 m³ im Bereich des Sammlers berechnet. Am Ende des Ereignisses wurden jedoch nur 6000 m³ zurückgehalten. Durch die Bauart des Sammlers als Dosiersperre mit tief liegendem Geschiebedurchlass wird eine teilweise Entleerung des Beckens bei abklingender Hochwasserwelle sowie eine vollständige Durchleitung von Geschiebe bei kleineren Abflüssen bezweckt, um Unterhaltsaufwand und Erosionsneigung im Unterlauf des Sammlers zu minimieren. Während des Ereignisses von 2005 ist die Selbstentleerung jedoch deutlich stärker als erwartet aktiv geworden. Die Hauptursache dafür ist nach Bezzola (2008), dass sich im Bereich der nicht befestigten Sohle im Bereich des Durchlasses ein Kolk bilden konnte, was zu einem verstärkten Geschiebeaustrag geführt hat.

7.3.5 Folgerungen

Geschiebesammler haben überwiegend funktioniert

Die 2005 betroffenen und hier untersuchten Geschiebesammler haben während des Hochwasserereignisses 2005 mit einer Ausnahme (Schächen bei Bürglen UR) wie geplant funktioniert und so an mehreren Orten grössere Schäden verhindert.

Infolge hoher Intensität konnte bei einigen Sammlerbauwerken mehr Geschiebe als geplant zurückgehalten werden. Der Grund hierfür ist ein gegenüber den Annahmen bei der Projektierung grösseres Verlandungsgefälle, wie es für höhere Zufuhrintensitäten charakteristisch ist. Im August 2005 war dies an 3 von 17 betrachteten Bauwerken der Fall. Mit derart hohen Verlandungsgefällen kann nicht bei jedem Szenario bzw. jedem Ereignistyp gerechnet werden.

Überlastszenario berücksichtigen

Vielfach steht wegen der Topografie sowie bestehender Landnutzungen nur ein begrenztes Volumen zur Verfügung, welches für den Rückhalt von Geschiebe genutzt werden kann. Deshalb und aus wirtschaftlichen Überlegungen können Schutzmassnahmen nur für Ereignisse mit einem bestimmten Ausmass ausgelegt werden. Darüber hinaus gehende, seltenere Ereignisse müssen im Rahmen von Überlastszenarien betrachtet und dafür geeignete Massnahmen vorgesehen bzw. ergänzt werden.

Die grosse Anzahl der Geschiebesammler, bei denen im August 2005 die Zufuhr das potenzielle Rückhaltevolumen erreichte oder übertraf, verdeutlicht die zwingende Notwendigkeit der Berücksichtigung des Überlastfalls im Bauwerksentwurf. Ein positives Beispiel hierfür ist die Erweiterung des Geschiebesammlers am Humligenbach (Wolfenschiessen NW). Das Beispiel Buoholzbach (Oberdorf NW) zeigt hingegen, dass im Überlastfall ohne bauliche Vorkehrungen grosse Schäden entstehen können. Bestehende Bauwerke müssen deshalb im Hinblick auf ihre Überlastfähigkeit untersucht werden und unterhalb von Sammlern sind Überlastszenarien bei der Massnahmenplanung zu berücksichtigen.

7.4 Schwemmholzrückhalt

Markus Promny, Daniela Lange, Georg Möller

7.4.1 Einführung

Ziel

Technische Massnahmen in Zusammenhang mit dem Rückhalt von Schwemmholz sind ebenfalls Bestandteil einer näheren Untersuchung im Rahmen der Analyse des Ereignisses vom August 2005. Ziel ist es, aus den Erfahrungen Erkenntnisse für zukünftige Massnahmen zu erlangen.

Auswahl der Bauwerke

Bauwerke zum Rückhalt von Schwemmholz können in Form von Rechen oder Netzen entweder im Gerinne oder in Form von Rechenkonstruktionen oder Tauchwänden in Geschieberückhalteräumen angeordnet sein (Lange und Bezzola, 2006). Zu den Rückhaltemassnahmen im Gerinne wurden aus dem Hochwasser 2005 keine neuen Erkenntnisse gewonnen, da die bestehenden Bauwerke wie z. B. der Schwemmholzrechen am Chämptnerbach in Wetzikon oder der Rechen an der Gürbe bei Wattenwil kaum oder nur schwach beaufschlagt wurden. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich daher auf den Schwemmholzrückhalt in den unter Kap. 7.3 beschriebenen Sammlerbauwerken.

7.4.2 Beurteilung der Schwemmholzrückhaltemassnahmen

Schwemmholzmengen in Sammlern waren überwiegend gering

Die betrachteten Geschiebesammler wurden im August 2005 überwiegend moderat mit Schwemmholz belastet. Demzufolge waren auch die zurückgehaltenen Schwemmholzmengen von untergeordneter Bedeutung. In keinem der untersuchten Beispiele war hoher Schwemmholzanfall Ursache einer ungenügenden Wirksamkeit. Im Falle des Geschiebesammlers am Schächen (Bürglen UR) hätte eine höhere Schwemmholzmenge wahrscheinlich sogar eine Vergrösserung der zurückgehaltenen Geschiebemenge durch Verlegung des Auslasses bewirken können.

Aufgrund der Erfahrungen aus früheren Ereignissen wurden an einigen Bauwerken Rechen- und Tauchwandkonstruktionen zum gezielten Rückhalt des Schwemmholzes nachgerüstet. Diese haben sich im August 2005 bewährt (z. B. Bitzighoferbach, Sarnen OW, Abb. 7.12). Generell muss bei einem Schwemmholzrückhalt mittels Tauchwand deren Oberkante tiefer liegen als die Flügel des Abschlussbauwerkes, um im Überlastfall ein unkontrolliertes Überströmen Letzterer zu verhindern. Im Fall des Bitzighoferbachs konnte von dieser Forderung aufgrund der speziell günstigen Fundationsbedingungen des Abschlussbauwerks abgewichen werden.

Abb. 7.12 > Geschiebe- und Schwemmholzrückhalt am Bitzighoferbach, Sarnen OW.

Abschlussbauwerk bei geleertem Sammler. Die Tauchwand besteht aus einem Netz und hat in diesem Spezialfall die gleiche Höhe wie die Sperrenflügel (vgl. Text).

Aufnahme während des Ereignisses. Das Schwemmholz wird an der Tauchwand teilweise zurückgehalten.

Foto: W. Eicher

7.4.3 Folgerungen

Bisherige Erfahrungen bestätigt

Schwemmholz hat während des Ereignisses vom August 2005 eine untergeordnete Rolle für die Sammlerbauwerke gespielt. Die Beobachtungen haben die bisherigen Erfahrungen bestätigt und es konnten weder wesentliche neue Erkenntnisse gewonnen werden, noch wurden Widersprüche zu den bisherigen Kenntnissen hinsichtlich Schwemmholzrückhalt festgestellt.

7.5 Blockrampen

Markus Promny, Daniela Lange, Thomas Berchtold

7.5.1 Einführung

Anstelle von Absturzbauwerken werden seit etwa zwei Jahrzehnten Blockrampen gebaut. Diese sollen die Sohle stabilisieren und gleichzeitig die Längsvernetzung gewährleisten.

Veranlassung und Ziel

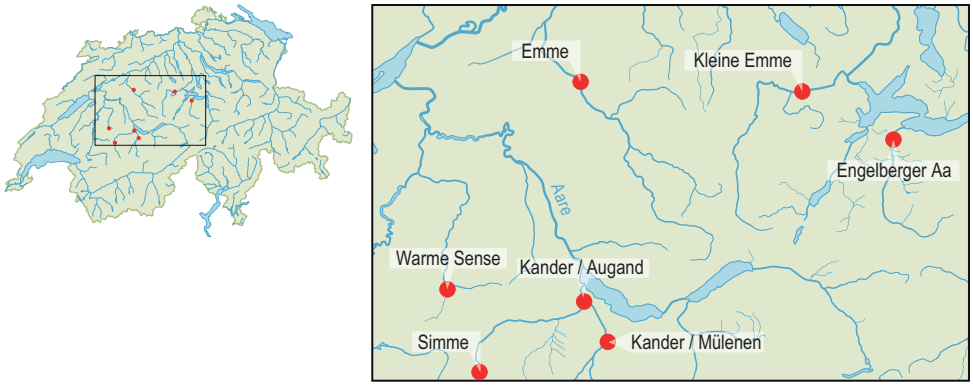
Während es an den Absturzbauwerken zu keinen nennenswerten Schäden gekommen ist, wurde – wie bereits bei früheren Hochwasserereignissen – eine Reihe von Blockrampen beschädigt oder gar zerstört. Im Folgenden werden daher insgesamt acht Rampenbauwerke mit und ohne Schadensbild analysiert, um aus diesen Beispielen Lehren für die Planung und Realisierung zukünftiger Bauwerke zu ziehen.

Typen von Blockrampen

Bei Blockrampen kann zwischen klassischen und aufgelösten Bauweisen unterschieden werden. Bei klassischen Blockrampen werden die Blöcke einzeln in einem möglichst engen Verband gesetzt oder in mehreren Lagen lose geschüttet. Bei aufgelösten Blockrampen sind zwischen den im Grundmaterial eingebetteten Blöcken grössere Zwischenräume vorhanden. Eine weitergehende Systematisierung und Begriffsbestimmung ist beispielsweise in Lange (2007) zu finden. Beide Arten von Rampen werden, entgegen der ursprünglichen Konzeption, in jüngerer Zeit häufig direkt an starren Sohlenfixpunkten wie beispielsweise Absturzbauwerke oder Riegel aus einbetonierten Blöcken angeschlossen. Der Vorteil dieser Bauart ist, dass auch bei Zerstörung der Rampe das Absturzbauwerk in der Regel als Sohlenfixpunkt erhalten bleibt.

Während des Hochwassers vom August 2005 wurden einige Blockrampen bei Abflüssen, welche unter dem Dimensionierungsabfluss lagen, beschädigt oder zerstört. Die betroffenen Bauwerke sowie ähnlich belastete, jedoch unbeschädigte Rampen wurden für eine vertiefte Betrachtung ausgewählt. Abb. 7.13 zeigt die geografische Übersicht der betrachteten Bauwerke. Tab. 7.3 fasst die wichtigsten Kenndaten der Rampen zusammen.

Abb. 7.13 > Lage der untersuchten Blockrampen.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606–01 © 2004 swisstopo)

Tab. 7.3 > Kenndaten der untersuchten Blockrampen.

Fluss	Name bzw. Ort der Rampe	Typ	Anschluss an Sohlen-fixpunkt	Zustand nach dem Hochwasser	Längs-gefälle [%]	Spezifischer Dimensionie-rungsabfluss [m³/sm]	Spezifischer Spitzen-abfluss 2005 [m³/sm]	vermutete Schadensursachen
Warme Sense	La Buntschena	klassisch	ja	Während Ereignis 2004 zerstört (Sohlenfixpunkt noch vorhanden)	20.0	8.2	4.1	Blockdichte zu gering sowie Blöcke liegend eingebaut, Absatzbildung am Rampenkopf
Simme	St. Stephan (2 Rampen)	aufgelöst	ja	Blöcke am Rampenkopf eingesunken	3.0	10.0	7.1	Übergang festes Wehr zu beweglicher Rampe, Absatzbildung am Rampenkopf
Engelberger Aa	Ennerberg	klassisch	nein	unbeschädigt, jedoch Uferverbau unterhalb zerstört	8.3	15.0	13.8	Rotationserosion und Kolk im Bereich des Wechselsprungs verursachten Sohleneintiefung unterhalb
Emme	Badiwehr Burgdorf	klassisch	ja	1/3 der Rampe vom linken Ufer ausgehend zerstört	10.0	13.9	14.2	Ufererosion linksseitig
Kander	Mülenen	klassisch	ja	Blöcke abgeglitten	10.5	10.6	11.4	Blöcke nicht lückenlos im Bereich ehemaliger Spundwand
Kander	Augand	aufgelöst	nein	noch funktionstüchtig, Abflachung, Deformation	2.5	11.4	15.1	Überlastung (lang andauernd), Strömungskonzentration auf rechter Flussseite
Kleine Emme	Ettisbühl, Malters	klassisch	ja	zerstört (Sohlenfixpunkt noch vorhanden)	10.0	15.7	22.6–24.4	anschliessend an Kurve sowie starres Bauwerk, Absatzbildung am Rampenkopf

7.5.2 Schadensursachen und Prozesse

Trotz der stark unterschiedlichen Randbedingungen und Bauweisen der untersuchten Rampen können aus der Analyse in Verbindung mit der aktuellen Literatur einige allgemeingültige Aussagen zu typischen Schadensursachen und Prozessen abgeleitet werden.

Bauvorgang

Der Einbau von Rampenblöcken in der Natur ist ein technisch anspruchsvoller Vorgang, der von den Erfahrungen der ausführenden Personen profitiert. Nicht immer ist es möglich, ideale Verhältnisse, wie sie in den der Bemessung zugrunde liegenden Modellversuchen herrschten, zu erreichen. Der Schaden an der Blockrampe Mülenen an der Kander geht vermutlich auf einen lokal zu grossen Blockabstand zurück. Bei dieser Rampe wurde während der Bauphase eine Spundwand in der Flussmitte zur Trockenlegung der Baustelle eingesetzt. Nach Vollendung der Rampe wurde diese herausgezogen. Jäggi (2007) vermutet, dass wegen dieser Bauweise eine Schwachstelle entlang der gezogenen Spundwand vorlag. Während des Hochwassers könnten hier erste Blöcke zusammen geschoben und anschliessend abgeglitten sein. Es ist wahrscheinlich, dass nach dem anfänglichen Schaden in der Flussmitte die seitlich angrenzenden Blöcke in die entstandene Vertiefung gekippt sind und in der Folge ebenfalls in der Flussmitte abtransportiert wurden.

Kombination von festen und beweglichen Bauteilen

Als besonders kritisch hat sich auch die Kombination von festen und beweglichen Bauteilen herausgestellt. Insbesondere der Anschluss einer Rampe an einen starren Sohlenfixpunkt hat sich als versagensanfällig erwiesen. Bei hohen Abflüssen kann sich durch Einsinken oder Verschieben von Blöcken ein Absatz zwischen dem starren Sohlenfixpunkt und den Rampenblöcken einstellen (Abb. 7.14). Somit wird das Gefüge der Rampe lokal aufgelockert und dadurch der Versagensprozess – je nach Verhältnis zwischen dem Blockdurchmesser und dem charakteristischen Korndurchmesser des Untergrundmaterials – durch direkte Erosion, Abgleiten oder weiteres Einsinken der Blöcke eingeleitet. Die Rampen La Buntschena an der Warmen Sense, St. Stephan an der Simme sowie Ettisbühl an der Kleinen Emme (Abb. 7.15) wurden vermutlich dadurch zerstört (Hunzinger, 2007; Jäggi, 2006).

Abb. 7.14 > Absatzbildung am Übergang zwischen einem starren Sohlenfixpunkt und einer Blockrampe.

Unterhalb des starren Sohlenfixpunktes bildet sich durch Einsinken oder Verschieben der Blöcke (linkes Bild) ein Absatz. Infolge der entstandenen Stufe (rechtes Bild) resultiert lokal eine erhöhte Rampenbelastung.

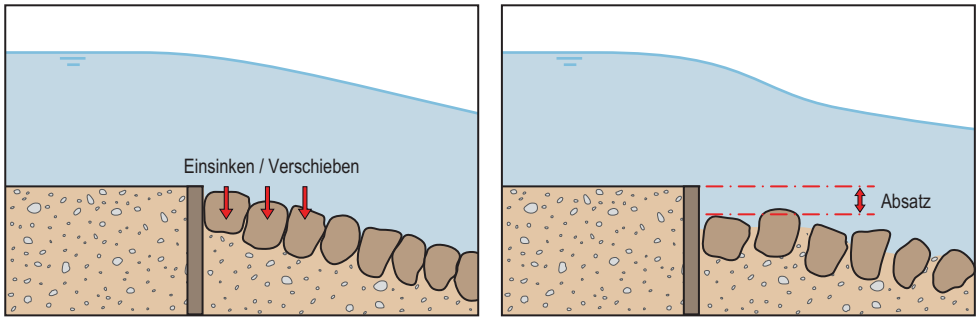


Abb. 7.15 > Zerstörte Blockrampe Ettisbühl an der Kleinen Emme; Fliessrichtung von links nach rechts.

Die während des Hochwassers 2005 zerstörte Blockrampe stabilisierte ein infolge Erosion ungenügend fundiertes Absturzbauwerk. Die Rampe schloss unmittelbar an das Abschlussbauwerk an und die obersten Rampenblöcke waren in die Krone des Absturzes einbetoniert. Nach der Zerstörung der Rampe kam es im Sommer 2006 zu einem Durchbruch des Sohlenmaterials unter dem Absturz hindurch und zu einer rückschreitenden Erosion im Oberwasser.

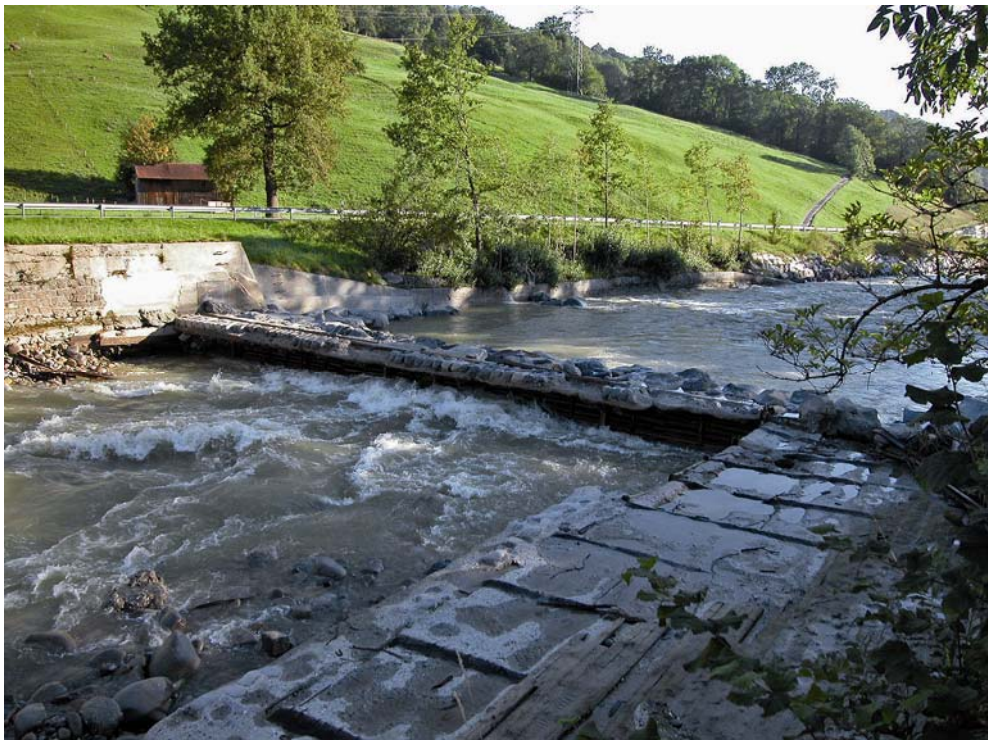


Foto: P. Stalder, Malters

Durch ungleichmässige Anströmbedingungen kann es zu unerwünschten Abflusskonzentrationen auf Teilen der Rampe kommen. Insbesondere in Kurven ist der Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit an der Aussenseite Rechnung zu tragen. Die aufgelöste Rampe Augand an der Kander wurde auf einer Seite infolge der Abflusskonzentration, welche aus der unerwarteten seitlichen Verlagerung der direkt oberhalb der Rampe zufliessenden Simme resultierte, beschädigt (Hunzinger, 2007). Die gleiche Rampe ist aber gleichzeitig ein Beispiel für das gutmütige Verhalten aufgelöster Blockrampen, indem sich das Bauwerk der deutlichen Überlastung im August 2005 durch eine kontinuierliche Abnahme des Rampengefälles anpasste. Dank einer im Oberwasser der Rampe angeordneten Pufferzone blieb dabei die Fixpunktwirkung weitgehend erhalten (Hunzinger, 2007).

Ungleichmässige Anströmung und Abflusskonzentration

7.5.3 Folgerungen

Klassische Blockrampen haben bei Überlastung in mehreren Fällen schlagartig versagt. Insbesondere der direkte Anschluss an ein starres Absturzbauwerk ist problematisch, da es bei hohen Belastungen zur Absatzbildung zwischen Sohlenfixpunkt und Rampenkopf kommen kann. Vorteil dieser Konstruktion ist jedoch, dass im Versagensfall durch das Absturzbauwerk der Sohlenfixpunkt erhalten bleibt.

Klassische Blockrampen versagen schlagartig

Bei Rampen in aufgelöster Bauweise führt bei einer Überlastung die Erosion des zwischen den Blöcken anstehenden Grundmaterials zu einer sukzessiven Abnahme des Rampengefälles. Dadurch passt sich das Bauwerk einer zunehmenden Belastung kontinuierlich an und versagt nicht schlagartig. Mittels einer im Oberwasser der Rampe anschliessenden Pufferzone bleibt auch bei einer Abnahme des Rampengefälles die Wirkung der Rampe als Sohlenfixpunkt erhalten. Aufgelöste Blockrampen sind somit überlastbar und reagieren deutlich gutmütiger als klassische Blockrampen.

Aufgelöste Blockrampen reagieren gutmütiger

Während die Bemessungsgrundlagen von Blockrampen in geraden, idealisierten Strömungsversuchen ermittelt wurden, können in der Natur abweichende Belastungen aufgrund komplexer Anströmungsbedingungen auftreten. Auf eine geeignete Ausbildung der Bauwerks- und Uferanschlüsse ist bei der Planung und Ausführung von Blockrampen besonders zu achten.

Anströmungsbedingungen beachten

Nach grösseren Abflussereignissen muss eine Kontrolle der Entwicklung der Rampenbauwerke erfolgen. Aufgrund der beobachteten Entwicklung ist zu beurteilen, ob Reparaturen oder Anpassungen notwendig sind.

Überwachung notwendig

7.6 Aufweitungen

Markus Promny, Daniela Lange, Roland Fäh, Bert Putzar

7.6.1 Einführung

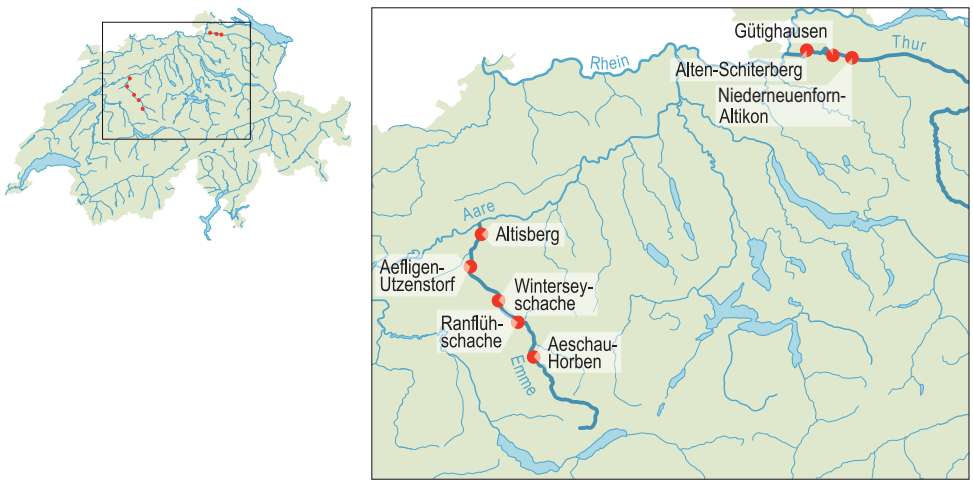
Zweck von Aufweitungen

Aufweitungen werden seit etwa zwei Jahrzehnten an Schweizer Flüssen realisiert. Sie dienen vorrangig der ökologischen Aufwertung der betreffenden Flussabschnitte. Darüber hinaus wird erwartet, dass Hochwasserspitzen gedämpft sowie Sohleneintiefungstendenzen aufgehalten werden. Während der ökologische Zweck unbestritten erfüllt wird, ist ein Dämpfungseffekt bezüglich der Abflussspitzen wegen der vernachlässigbar geringen Retentionsvolumina nicht feststellbar. Bereits vor dem Hochwasserereignis wurden im Rahmen einer Studie die Sohlenentwicklungen von 14 Flussaufweitungen in der Schweiz über eine Betrachtungsperiode von bis zu 20 Jahren analysiert (VAW, 2007). Eine grundlegende Erkenntnis daraus ist, dass Flussaufweitungen einen übergeordneten Erosionstrend in einem Fluss nicht stoppen können. Die im Folgenden vorgestellte Untersuchung im Rahmen der Ereignisanalyse baut auf dieser Studie auf.

Auswahl der Aufweitungen

Vom Hochwasser 2005 waren insbesondere die Aufweitungen an der Emme und der Thur betroffen. Dabei erreichte der Abfluss an der Emme eine Jährlichkeit von etwa 100 bis 200, während an der Thur ein 5 bis 20-jährliches Ereignis ermittelt wurde. An der Emme befinden sich die Aufweitungen Aeschau-Horben, Ranflühschache, Winterseyschache, Aefligen-Utzenstorf und Altisberg, an der Thur befinden sich Aufweitungen Niederneuenforn-Altikon, Gütighausen und Alten-Schiterberg (Abb. 7.16). Für die Ereignisanalyse wurden diese acht genannten Aufweitungen berücksichtigt.

Abb. 7.16 > Lage der untersuchten Flussaufweitungen.



Kartengrundlage: Digitale Übersichtskarte der Schweiz (K606–01 © 2004 swisstopo)

Ziele der Untersuchung

Im Rahmen der Ereignisanalyse soll geklärt werden, wie sich Flussaufweitungen während des Hochwassers 2005 verhalten haben. Für die betrachteten Aufweitungen wird untersucht, ob die Abflusskapazität in der Aufweitung ausreichend war, wie sich die Sohlenlage infolge des Hochwasserereignisses verändert hat und welche morphologischen Veränderungen in der Aufweitung nach dem Hochwasserereignis eingetreten sind. Weiterhin soll ein Vergleich zeigen, inwiefern die Beobachtungen mit gängigen Berechnungsansätzen nachvollzogen werden können. Die Möglichkeiten und Grenzen, mittels zweidimensionaler numerischer Simulation die morphologischen Strukturen der Natur abbilden zu können, wurden am Beispiel der Aufweitung Niederneuenforn-Altikon untersucht.

7.6.2 Methodik

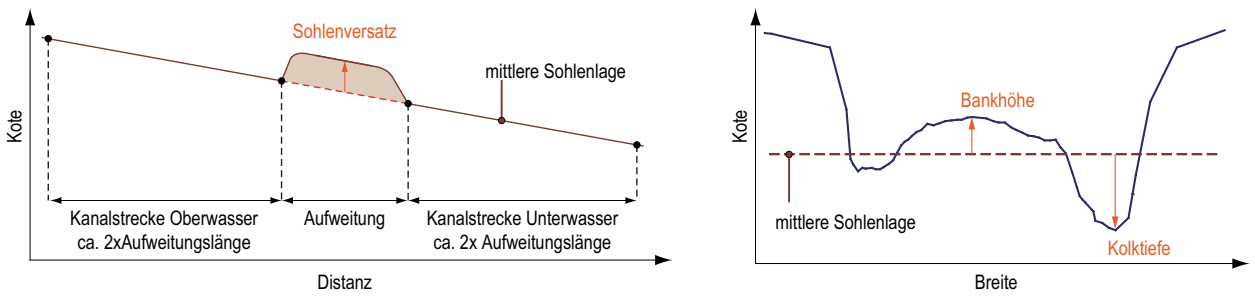
Betrachtetes System

Um Aussagen über das Verhalten der Aufweitungen treffen zu können, wurde neben der Aufweitungsstrecke selber auch die Kanalstrecke oberhalb und unterhalb der Aufweitung in die Betrachtung einbezogen. Ein Schema des jeweils untersuchten Flussabschnittes ist in Abb. 7.17 (linke Grafik) dargestellt. Die betrachtete Länge beträgt etwa das Fünffache der Aufweitungsstrecke.

Grundlagen

Die Abflusskapazität im untersuchten Flussabschnitt wurden anhand des Vergleichs der Spuren des Hochwassers 2005 mit der linken und der rechten Böschungsoberkante bzw. Dammkrone beurteilt. Hierbei war es von besonderem Interesse festzustellen, ob die Aufweitung eine lokale Absenkung der Wasserspiegellagen bewirkt hat. Anhand von Querprofilaufnahmen vor und nach dem Ereignis 2005 wurde die Stabilisierungswirkung der Aufweitungen auf die Sohlenlage in dem betrachteten Flussabschnitt sowie die Auswirkungen auf das übergeordnete Flusssystem beurteilt. Da die Profilaufnahmen nicht direkt vor dem Ereignis durchgeführt wurden, sind die beobachteten Sohlenveränderungen vermutlich nicht vollständig auf das Hochwasser vom August 2005 zurückzuführen. Eine genaue Quantifizierung des Anteils, der durch dieses Ereignis verursacht wurde, ist nicht möglich. Da es sich jedoch mit Abstand um das grösste Abflussereignis handelte, kann davon ausgegangen werden, dass die Sohlenveränderungen massgeblich davon beeinflusst wurden.

Abb. 7.17 > Schematische Darstellung des Sohlenversatzes in einer Aufweitung (links) sowie der Definition der Bankhöhe und Kolktiefe als Abweichung von der mittleren Sohlenlage (rechts).



Auswertung

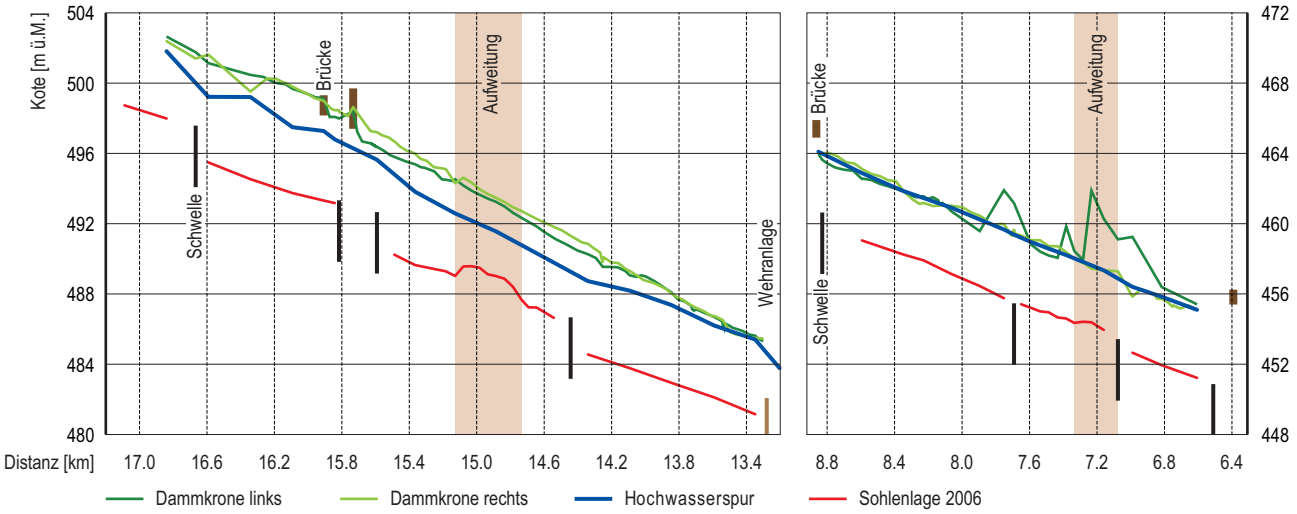
Um die morphologischen Veränderungen zu erfassen, wurden die Parameter Sohlenversatz, Kolktiefe und Bankhöhe ausgewertet. Die Definitionen der Parameter sind in Abb. 7.16 dargestellt. Es wurden mittlere und maximale Kolktiefen sowie Bankhöhen bestimmt. Hierbei ist davon auszugehen, dass mit den vorhandenen Querprofilabständen die maximalen Bank- und Kolktiefen nicht zwingend erfasst wurden. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss insbesondere bei den Kolktiefen berücksichtigt werden, dass diese nach Abklingen der Hochwasserwelle und vor Aufnahme der Profildaten teilweise wieder mit Geschiebe verfüllt wurden. Die aus den Naturdaten bestimmten Abflusstiefen, Kolktiefen und Bankhöhen wurden mit den theoretischen Ansätzen nach Zarn (1997) verglichen. Der im Längsprofil vorhandene Sohlenversatz wurde mit dem rechnerischen Ansatz nach Hunzinger (1998) verglichen. Die Berechnungen basieren auf den jeweiligen lokalen Maximalabflüssen während des Hochwasserereignisses vom August 2005. Eine numerische Simulation wurde für das Fallbeispiel der Aufweitung an der Thur bei Altikon vorgenommen. Dabei wurde das Verhalten beim Durchgang einer Hochwasserwelle auch mit dem zweidimensionalen Modell 2dMb analysiert (Fäh, 1997).

7.6.3 Beeinflussung der Abflusskapazität

Abflusskapazität nicht vermindert

Die Auswertung der Hochwasserspuren ergab, dass es in den untersuchten Aufweitungen zu keiner Erhöhung der Wasserspiegellagen im Vergleich zur angrenzenden Flussstrecke gekommen ist. Die Abflusskapazität wurde folglich durch die Aufweitungen nicht vermindert. Von einer generellen Absenkung des Wasserspiegels, und somit einer Steigerung der Abflusskapazität infolge der Aufweitungen, kann hingegen auch nicht gesprochen werden. Dies soll an den folgenden zwei Beispielen verdeutlicht werden. In der Aufweitung Aefligen-Utzenstorf (Abb. 7.18, links) ist in der Aufweitung trotz höherer mittlerer Sohlenlage (Sohlenversatz) im Vergleich mit den angrenzenden Flussstrecken eine leicht tiefere Wasserspiegellage festzustellen. Im Gegensatz dazu ist die Aufweitung Altisberg vermutlich zu kurz, um einen massgeblichen Einfluss auf den Wasserspiegelverlauf zu haben. Lokale Ausuferungen konnten hier nicht vermieden werden (Abb. 7.18, rechts).

Abb. 7.18 > Längsprofile der Aufweitungen Aefligen-Utzenstorf (links) und Altisberg (rechts) an der Emme.



7.6.4 Entwicklung des Längsprofils

Keine Auswirkungen auf das übergeordnete Flusssystem

Die Auswirkungen der Aufweitungen an der Emme und an der Thur auf die Sohlenlage sind durch die vorhandenen Sohlenfixpunkte (z. B. Schwellen) begrenzt und nur in den direkt ober- und unterhalb angrenzenden Flussstrecken erkennbar. Auswirkungen auf das jeweils übergeordnete Flusssystem konnten nicht festgestellt werden. Die untersuchten Aufweitungsstrecken sind zu kurz, um einen massgeblichen Einfluss auf den Geschiebehaushalt der Flüsse zu haben.

Teilweise erhebliche Sohlenveränderungen

In den untersuchten Flussabschnitten der Emme und der Thur kam es zu teilweise erheblichen Sohlenveränderungen (Tab. 7.4). Die Analyse der Aufweitungsstrecken zeigt, dass die Sohlenlage in einigen Fällen, insbesondere in erodierenden Flussstrecken, durch die Aufweitung nicht stabilisiert wurde. Stellenweise wurden sogar negative Auswirkungen sichtbar. So wird in der Aufweitungsstrecke infolge der reduzierten Fliessgeschwindigkeit Geschiebe abgelagert, solange die Versatzbildung noch nicht abgeschlossen ist. Dadurch kann die Erosion unterhalb der Aufweitungsstrecke noch begünstigt werden (z. B. Aeschau-Horben, Ranflühschache und Aefligen-Utzenstorf). In den Aufweitungsstrecken selbst kam es gemäss Tab. 7.4 in fünf von acht Fällen tendenziell zu zusätzlichen Auflandungen. In zwei weiteren Aufweitungen waren die Änderungen der mittleren Sohlenlage mit weniger als 0.10 m sehr gering. Sowohl im Ober- als auch im Unterwasser der Aufweitungen ergibt sich kein eindeutiges Bild bezüglich der Entwicklung der Sohlenenlagen. Bei den beiden Aufweitungen an der Emme bei Ranflühschache und an der Thur bei Alten-Schiterberg kam es zu einer deutlichen Erosion im Unterwasser.

7.6.5 Morphologische Veränderungen

Eigendynamische Aufweitungen an der Emme

Aufgrund der hohen Abflüsse kam es zu teilweise bedeutenden morphologischen Veränderungen in den Flussaufweitungen. So konnten bei den Aufweitungen Aeschau-Horben, Winterseyschache und Ranflühschache an der Emme erhebliche Seitenerosionen beobachtet werden. So wurde beispielsweise die Flussbettbreite der Aufweitung Ranflühschache lokal von ca. 35 m auf ca. 47 m vergrössert. Die beobachteten Seitenerosionen stellen jedoch kein Problem dar, da sich diese Aufweitungen durch seitliche Erosion bilden bzw. weiterentwickeln sollen. Diese Art der selbsttätigen Aufweitung, initiiert durch Entfernung des zuvor vorhandenen Uferschutzes, wird auch als eigendynamische Aufweitung bezeichnet (Requena et al., 2005). In den eigendynamischen Aufweitungen Winterseyschache und Ranflühschache wurde 2005 die vorgesehene Interventionslinie, bis zu der Seitenerosionen zugelassen sind, jeweils nicht erreicht.

Sohlenversatz

Die Höhe des Sohlenversatzes in den untersuchten Aufweitungen hat sich durch das Hochwasser 2005 mehrheitlich nur geringfügig verändert (Tab. 7.4). Lediglich bei der Aufweitung an der Thur bei Altikon konnte eine markante Vergrösserung von rund 0.35 m festgestellt werden. Im Fall der Aufweitung Ranflühschache führte die erwähnte Verbreiterung des Flussbettes zur erstmaligen Ausbildung eines Sohlenversatzes.

Kolktiefen und Bankhöhen

Bezüglich der Kolktiefen und Bankhöhen in den untersuchten Aufweitungen konnten die Änderungen in den betreffenden Strecken vor und nach dem Hochwasser durch den Vergleich von Querprofilaufnahmen quantifiziert werden. Die mittlere Kolktiefe hat sich in den betrachteten Fällen nur wenig verändert (Tab. 7.4). Dagegen traten bei den maximal ermittelten Werten grössere Differenzen von bis zu 0.85 m auf. Die mittleren Bankhöhen verringerten sich in fünf von acht Aufweitungen infolge des Ereignisses. Bei den maximalen Bankhöhen wurden Änderungen bis zu 0.7 m festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass grössere Abflüsse eher zu einer Einebnung der vorhandenen Strukturen führen, welche sich anschliessend bei kleineren, bettbildenden Abflüssen wieder stärker ausbilden.

Tab. 7.4 > Zusammenfassung der Untersuchsergebnisse der morphologischen Entwicklung der Aufweitungen.

Flussaufweitung		Beurteilung der Abflusskapazität in der Aufweitung	Änderung der mittleren Sohlenlagen infolge des Hochwassers 2005 [m] (positiv = Auflandung)			Änderung der Morphologie nach dem Hochwasser 2005 [m]				
			Ober-wasser	Auf-weitung	Unter-wasser	Kolktiefe mittel[1]	Kolktiefe maximal[2]	Bankhöhe mittel[1]	Bankhöhe maximal[2]	Sohlenver satz
Emme	Aeschau-Horben	[3]	[4]	0.27	–0.14	–0.04	–0.25	–0.43	–0.67	–0.09
	Ranflühschache	ausreichend	–0.26	0.49	–0.30	–0.07	0.21	–0.30	–0.37	0.35
	Winterseyschache	bordvoll	–0.02	0.21	0.10	0.13	0.36	–0.23	–0.03	0.02
	Aefligen-Utzenstorf	ausreichend	0.04	0.22	–0.15	0.21	–0.04	–0.03	–0.23	0.10
	Altisberg	lokal überschritten	0.05	–0.08	0.11	0.14	–0.10	0.26	0.19	–0.09
Thur	Niederneuenforn-Altikon	ausreichend	0.07	0.11	–0.09	0.08	0.24	–0.16	0.21	0.35
	Gütighausen	ausreichend	–0.09	–0.19	0.12	–0.02	–0.84	0.31	–0.03	0.12
	Alten-Schiterberg	ausreichend	–0.01	–0.01	–0.49	0.08	–0.01	0.02	0.04	–0.14

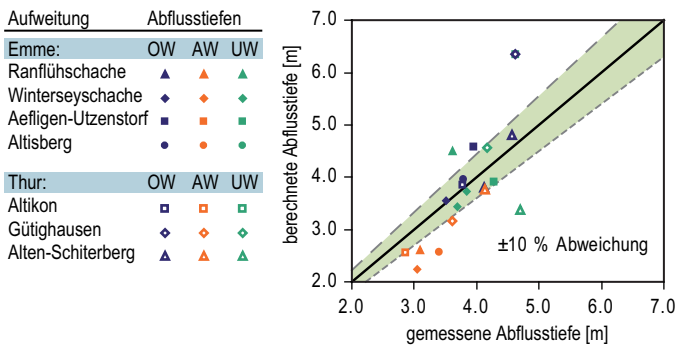
[1] mittlerer Wert aus allen Profilen; [2] grösster Wert aus allen Profilen; [3] keine Hochwasserspur aufgenommen; [4] keine Vermessungsdaten vorhanden

7.6.6 Vergleich mit Berechnungsansätzen

Berechnung Abflusstiefen

Ein Ziel der Untersuchung war die Analyse, wie gut sich die während des Ereignisses 2005 beobachteten Abflusstiefen mit den bekannten Berechnungsansätzen reproduzieren lassen. Dazu wurden die während des Hochwasserereignisses aufgetretenen maximalen Abflusstiefen anhand der gemessenen mittleren Sohlenlagen nach dem Ereignis sowie den Hochwasserspuren ermittelt. Diese stellen die bestmöglichen Informationen bezüglich der maximalen Abflusstiefe dar, können jedoch von den tatsächlich aufgetretenen Werten abweichen. Während die Berechnung der Auflusstiefen im Ober- und Unterwasser auf den klassischen Ansätzen der Gerinnehydraulik basiert, erfolgte die Berechnung der Abflusstiefen in den Aufweitungen mit dem Ansatz von Zarn (1997). Die Ergebnisse aller Wasserspiegelberechnungen weichen im Mittel um 15 % von den aus Naturdaten ermittelten Werten ab. Die Mehrzahl der Berechnungen weist Abweichungen von weniger als 10 % auf (Abb. 7.19).

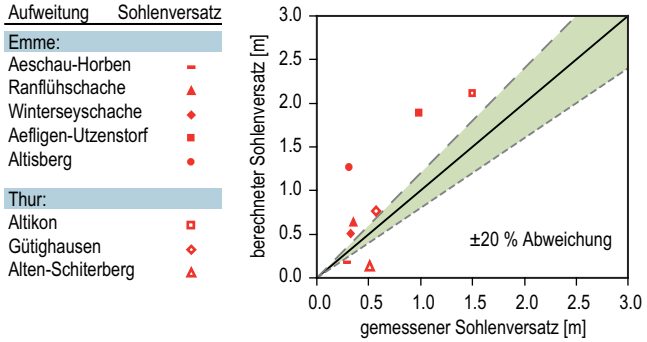
Abb. 7.19 > Vergleich der berechneten maximalen Abflusstiefen im Oberwasser (OW), in der Aufweitung (AW, Ansatz nach Zarn, 1997) und im Unterwasser (UW) mit den Naturdaten.



Berechnung Sohlenversatz

Der nach Hunzinger (1998) berechnete Sohlenversatz ist in sechs von acht Fällen grösser als der aus der gemessenen Topografie bestimmte Versatz (Abb. 7.20). Die Anhebung der Sohle im Bereich der Aufweitung wird durch den erwähnten Berechnungsansatz tendenziell überschätzt, da dieser von einem Gleichgewichtszustand ausgeht, der in Natur wegen der begrenzten Ereignisdauer sowie eventuell limitierter Geschiebezufuhr kaum erreicht wird. Darüber hinaus wird die Höhe des Sohlenversatzes massgebend von geringeren Abflüssen als dem Augusthochwasser von 2005 geprägt (Hunzinger, 1998).

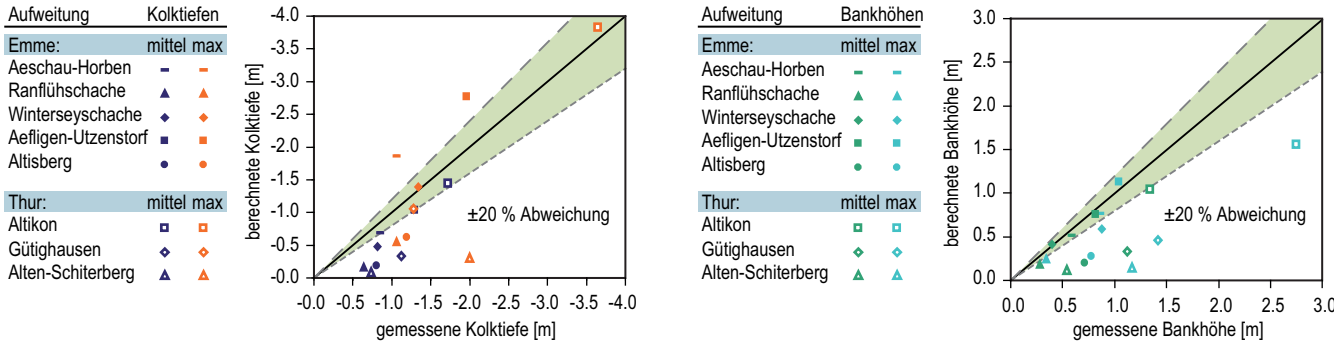
Abb. 7.20 > Vergleich des nach Hunzinger (1998) berechneten Sohlenversatzes in der Aufweitung mit den Naturdaten.



Berechnung Kolktiefen und Bankhöhen

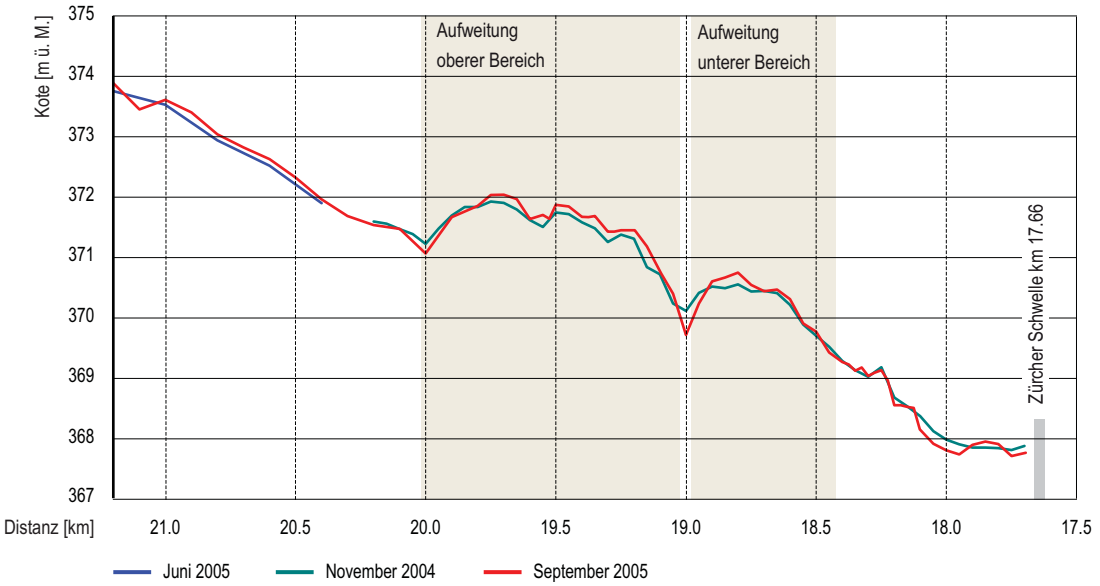
Der Vergleich der nach Zarn (1997) berechneten mittleren und maximalen Kolktiefen sowie Bankhöhen mit den Naturdaten ist in Abb. 7.21 dargestellt. Für die Abflüsse des Augusthochwassers 2005 ergeben sich im Vergleich zur Natur mit diesem Berechnungsansatz tendenziell geringere Kolktiefen und Bankhöhen. Im Mittel betragen die Abweichungen etwa 40 %.

Abb. 7.21 > Vergleich der nach Zarn (1997) berechneten maximalen (max) und mittleren (mittel) Werte von Kolktiefe und Bankhöhe in der Aufweitung mit den Naturdaten.



7.6.7 Verhalten einer Abfolge von Aufweitungen

Abb. 7.22 > Längsprofil der mittleren Sohlenlage in der Aufweitung Altikon an der Thur vor und nach dem Ereignis vom August 2005.



Verhalten einer Abfolge von Aufweitungen

Am Fallbeispiel Altikon an der Thur (Abb. 7.22) wurde das Verhalten einer Abfolge von Aufweitungen während des Hochwasserereignisses 2005 untersucht. Besondere Wechselwirkungen zwischen den beiden dicht hintereinander liegenden Aufweitungsstrecken, die über die bisher getroffenen Aussagen hinausgehen, wurden nicht beobachtet. Die Aufweitungen liegen in einem Flussabschnitt mit Geschiebedefizit. Der insgesamt erosive Trend der Thur konnte auch durch diese Abfolge von Aufweitungen nicht umgekehrt werden (Abb. 7.22). Im Oberwasser der Aufweitungen waren kaum Veränderungen zu beobachten. In den Aufweitungen kam es lokal zu leichten Auflandungen und im Unterwasser zu leichter Erosion. Weitere Massnahmen zum Erreichen eines Geschiebegleichgewichts und somit zu einer stabilen Sohlenlage sind deshalb notwendig. Die Abflusskapazität in den beiden Aufweitungen war beim Hochwasser 2005, welches etwa einem 5- bis 20-jährlichen Ereignis entsprach, ausreichend.

7.6.8 Numerische Simulation einer Aufweitung: Fallbeispiel Niederneueunforn-Altikon an der Thur

Ziel der numerischen Simulation

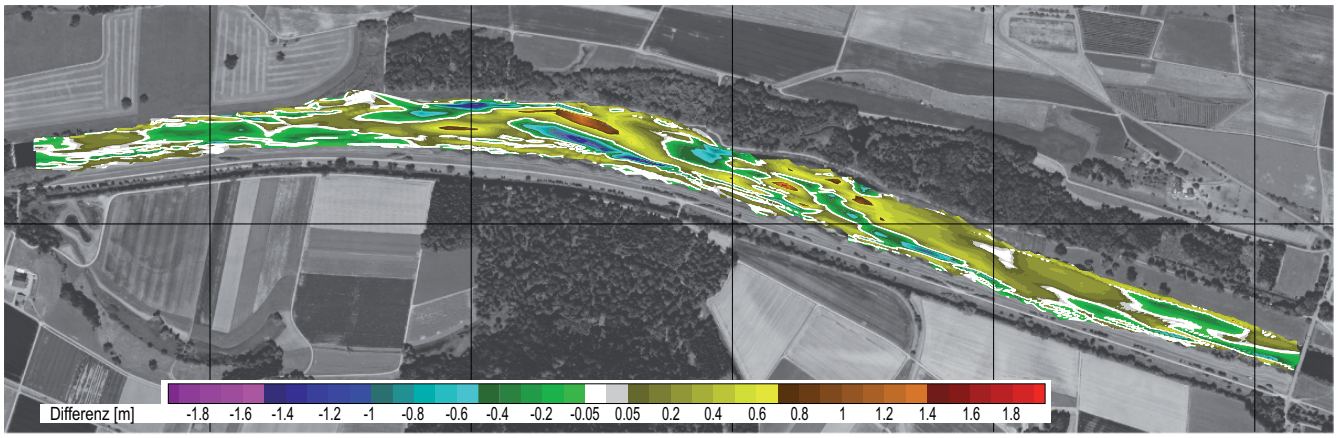
Mit der numerischen Simulation der Aufweitung Niederneuenforn-Altikon sollten die Möglichkeiten und Grenzen der numerischen Modellierung exemplarisch aufgezeigt werden. Dabei ging es insbesondere um die Beurteilung des Einflusses der beweglichen Sohle auf die Lage des Wasserspiegels, die Analyse der Dynamik der Sohlenentwicklung und die Evaluation der Möglichkeiten und Grenzen von ein- bzw. zweidimensionalen Ansätzen.

Beobachtete Veränderungen

Die Aufweitungen der Thur bei Altikon wurden als Fallbeispiel für eine numerische Simulation gewählt, weil hier ein topografisches Monitoring mit grosser räumlicher und zeitlicher Auflösung durchgeführt wird. In Abb. 7.23 ist die Differenz der Sohlenlagen zwischen den Querprofilaufnahmen vom September 2005 und November 2004 dargestellt. In dieser Zeitperiode fanden zwei kleinere Hochwasser und das 20-jährliche Hochwasser vom August 2005 statt. Im Bereich des Hauptgerinnes wurden insgesamt etwa 7400 m³ Material abgelagert. Die vertikale Abweichung gegenüber der Ausgangssohle beträgt im Maximum +1.60 m. Ausserhalb des Hauptgerinnes kam es zu Umlagerungen von untergeordneter Bedeutung, die nicht näher quantifiziert wurden.

Abb. 7.23 > Gemessene Differenzen der Sohlenlagen an der Thur bei Altikon zwischen September 2005 und November 2004.

Fliessrichtung von rechts nach links.



Orthofotodaten: swissimage © 2008 swisstopo (BA081556)

Kalibrierungsparameter

Um die Sohlenentwicklung in den Aufweitungen bei Altikon simulieren zu können, musste neben dem gemessenen Zuflusshydrographen auch der zeitliche Verlauf des Geschiebeeintrags als Randbedingung vorgegeben werden. Da dieser nicht als Messung vorlag, wurde er im Sinne eines freien Kalibrierungsparameters auf der Basis der Geschiebetransportkapazität bestimmt. Als weitere Kalibrierungsgrösse diente die Parametrisierung der Kornverteilung. Dabei ist zwischen den charakteristischen Korndurchmessern des über die abgepflästerte oberste Sohlenschicht (Deckschicht) laufenden Geschiebes, der Deckschicht selbst und des darunterliegenden Sohlenmaterials der Unterschicht zu unterscheiden. Die grosse Anzahl an Kalibrierungs-

parametern ist ein Indiz für den grossen Interpretationsspielraum, der mit der Simulation eines Hochwassers auf der Basis einer beweglichen Sohle einhergeht.

Ein- und zweidimensionale Simulationen

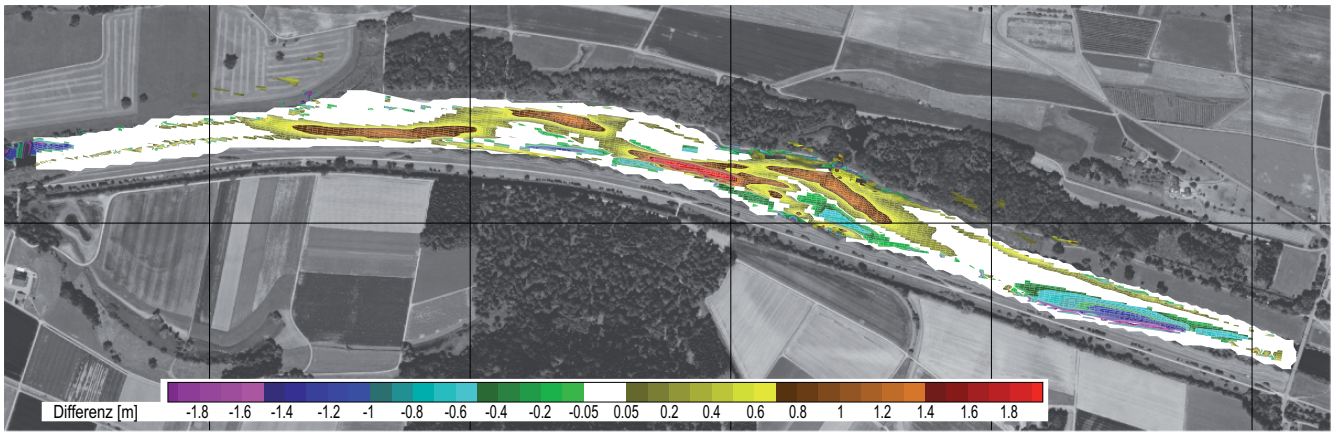
Es wurden Simulationen mit unterschiedlichen ein- und zweidimensionalen Modellen durchgeführt. Summarisch lässt sich feststellen, dass die Modelle, die auf eindimensionalen Ansätzen basieren, bei entsprechender Kalibrierung eine gute Wiedergabe der Veränderung der mittleren Sohlenlage erlauben. Im Vergleich zu den zweidimensionalen Modellen zeigen sie aber eine grössere Sensitivität bezüglich der Eingabeparameter.

Simulierte Veränderungen

Abb. 7.24 zeigt die berechneten Sohlendifferenzen einer zweidimensionalen Simulation, bei der das Modell des Geschiebetransports auf dem einfachsten Einkorn-Ansatz beruhte. Dies bedeutet, dass die Kornverteilung durch einen einzigen charakteristischen Korndurchmesser repräsentiert wird. Damit können Sortiereffekte, die zu einer Abpflästerung der obersten Schicht der Sohle führen, nicht direkt berücksichtigt werden.

Abb. 7.24 > Berechnete Differenzen der Sohlenlagen an der Thur bei Altikon zwischen September 2005 und November 2004 (d_m = 2.5 cm).

Fliessrichtung von rechts nach links. Die Berechnung erfolgte mit dem Modell 2dMb.



Orthofotodaten: swissimage © 2008 swisstopo (BA081556)

Simulationsergebnisse reproduzieren Naturmessung

Das qualitative Muster der Sohlenveränderung stimmt gut mit den Naturmessungen (Abb. 7.23) überein. Die beste Übereinstimmung ergibt sich bei Verwendung der mittleren Korngrösse des laufenden Geschiebes d_m = 2.5 cm für das Sohlenmaterial der Simulation bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Deckschichtwirkung in Form einer erhöhten kritischen Sohlenbelastung für den Bewegungsbeginn. Die reale Situation, die geprägt ist durch Sortiereffekte in der Deckschicht der Flusssohle, kann mit dem verwendeten Simulationsansatz, basierend auf einem Einkornmaterial, zwar nicht nachgebildet werden. Die gemessenen morphologischen Änderungen können jedoch bei geeigneter Modellkalibrierung, wie im Beispiel in Abb. 7.24 dargestellt, qualitativ und quantitativ gut reproduziert werden.

7.6.9 Folgerungen

Abflusskapazität

Für die untersuchten Beispiele konnte kein negativer Einfluss der Sohlenanhebung in der Aufweitung auf die maximale Wasserspiegellage festgestellt werden. In einzelnen Fällen war die Wasserspiegellage in den Aufweitungen sogar etwas tiefer als im Ober- und Unterwasser. Dabei ist aber zu beachten, dass in fast allen Fällen in Natur die Sohlenlage in der Aufweitung nicht dem unter Gleichgewichtsbedingungen möglichen Maximum entspricht.

Sohlenstabilität

Während in den Aufweitungen als Folge des Hochwassers 2005 überwiegend eine weitere Anhebung der Sohle verzeichnet wurde, sind in den ober- und unterhalb angrenzenden Flussstrecken sowohl Abschnitte mit Auflandung als auch solche mit Erosion festgestellt worden. Die anfänglichen Ablagerungen in einer Aufweitung können dazu führen, dass in der unterhalb gelegenen Flussstrecke, insbesondere bei Flüssen mit Geschiebedefizit, der Erosionstrend verstärkt wird. Auch oberhalb der Aufweitungen kann eine bereits vorhandene Eintiefungstendenz der Sohle durch eine Aufweitung nicht oder nur bedingt gestoppt werden.

Morphologische Veränderungen

Aus den vorhandenen Daten kann kein eindeutiger Trend der Auswirkungen des Hochwasserereignisses auf die Bank- und Kolkbildung abgeleitet werden. Wo es jedoch zur Verbreiterung des Flussbettes in den Aufweitungen gekommen ist, hat dies zu einer verstärkten Entwicklung von Bank- und Kolkstrukturen und damit zu einer aus ökologischer Sicht positiv zu beurteilenden Erhöhung der Strukturvielfalt geführt.

Vergleich mit rechnerischen Ansätzen

Der Sohlenversatz in einer Aufweitung wird bei der Berechnung für einen seltenen Hochwasserabfluss eher überschätzt, die Kolktiefen und Bankhöhen hingegen eher unterschätzt. Die Berechnungsresultate bezüglich der Wasserspiegellagen können angesichts der Unsicherheiten der erfassten Naturdaten sowie der geometrischen Vereinfachungen, die den Ansätzen zugrunde liegen, als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Möglichkeiten und Grenzen numerischer Simulationen

Mit numerischen Simulationen auf der Basis eines zweidimensionalen Ansatzes können die sich einstellenden Gerinnestrukturen qualitativ gut abgeschätzt werden. Voraussetzung hierzu ist jedoch eine entsprechende Kalibrierung der Modelle und somit die Kenntnis einer Reihe von Parametern.

7.7 Entlastungsmassnahmen – Fallbeispiel Engelberger Aa

Christian Tognacca, Roger Kolb, Josef Eberli

7.7.1 Einführung

Das an der Engelberger Aa in den Jahren 1998–2007 realisierte System von Hochwasserentlastungen ist während des Hochwassers vom 21.–23. August 2005 planmässig angesprungen und hat dadurch unkontrollierte Dammbrüche im Unterlauf der Engelberger Aa von Buochs erfolgreich verhindert (Abb. 7.25). Das Ereignis war eine ernsthafte Belastungsprobe für das neu erstellte Hochwasserschutzkonzept.

Ziel der Analyse

Ziel der folgenden Analyse ist es, die beim Hochwasser im Bereich der Entlastungen abgelaufenen hydraulischen und morphologischen Prozesse zu rekonstruieren und Schlüsse bezüglich der Anwendung solcher Entlastungskonzepte an anderen Gewässern zu ziehen.

Abb. 7.25 > Stanser Boden am 24. August 2005.

Über die unteren beiden Entlastungen beim Flugplatz Buochs wird ein Teil des Abflusses der Engelberger Aa durch den Entlastungskorridor zwischen Buochs (rechts) und Ennetbürgen (links) in den Vierwaldstättersee abgeleitet.

Foto: Schweizer Luftwaffe

7.7.2 Vorgeschichte

Motivation und Realisierung des Hochwasserschutzkonzepts

Unter dem Eindruck der Unwetter von 1987 an der Urner Reuss wurde für die Engelberger Aa ein Bauprojekt erarbeitet, das eine umfassende Sanierung des Unterlaufes von Dallenwil bis nach Buochs sowie ein neues Hochwasserschutzkonzept beinhaltete. Auf dieser Grundlage erfolgte 1998 bis 2007 die etappenweise Umsetzung der Massnahmen. Bis zum Ereignis vom August 2005 waren drei von vier Entlastungen fertig erstellt, welche ein zentrales Element des Hochwasserschutzkonzeptes darstellen. Einzelne Dämme entlang des Entlastungskorridors zwischen Buochs und Ennetbürgen standen im August 2005 noch im Bau und konnten ihre Funktion so noch nicht vollständig erfüllen. Ebenfalls noch nicht saniert ist der Abschnitt von Dallenwil bis nach Grafenort, wo das Hochwasser entsprechend grosse Schäden verursachte.

7.7.3 Das Hochwasserschutzkonzept

Seitliche Entlastungen als zentrales Element

Das aus vier Streichwehren bestehende Entlastungssystem ist ein zentraler Bestandteil des Hochwasserschutzkonzeptes am Unterlauf der Engelberger Aa (Abb. 7.26). Die durch seitliche Wildbachkegel in Dallenwil und Büren kanalisierten Wassermengen werden im Überlastfall dosiert über die seitlichen Entlastungen in die linke Talebene abgegeben. Aufgabe des Entlastungssystems ist die Verhinderung von unkontrollierten Dammbrüchen durch ein Überströmen der Dämme. Eines der Ziele besteht darin, dass der Hochwasserabfluss im engen Flussabschnitt von Buochs auch bei Extremereignissen 150 m³/s nicht übersteigt.

Vorteile des gewählten Systems

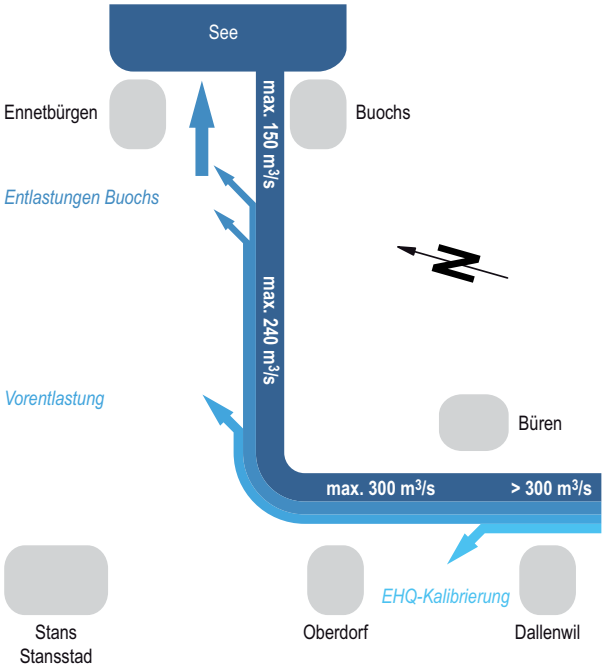
Das beim Entwurf des Bauprojekts 1996 gewählte System von mehreren in Serie angeordneten Streichwehren weist folgende Vorteile auf:

- genügende hydraulische Leistungsfähigkeit
- stufenweise, an die für den Stanserboden definierten Schutzziele angepasste Ausleitung des Überlastfalls
- robustes Verhalten; Abweichungen vom geplanten Verhalten einer Entlastung werden durch eine Änderung des Abflusses über die nachfolgenden Streichwehre kompensiert
- Verteilung der durch die Entlastungen bedingten Geschiebeablagerungen auf eine lange Flussstrecke, d.h. Reduktion der zu erwartenden Sohlenhebungen und damit des Einflusses des Geschiebes auf die Trenncharakteristik der Entlastungen

Integrales Hochwassermanagement

Das Hochwasserschutzkonzept an der Engelberger Aa beinhaltet aber nicht nur technische Massnahmen. Im Umgang mit den verbleibenden Risiken vereint es eine breite Palette an Massnahmen und stellt so ein Beispiel für eine integrale Planung dar. Sekundäre Dämme zur seitlichen Begrenzung des Entlastungskorridors sowie Objektschutzmassnahmen verhindern Schäden im Bereich der Siedlungsgebiete von Buochs und Ennetbürgen sowie an einzelnen Bauten. Integraler Bestandteil des Hochwasserschutzkonzepts ist zudem eine umfassende Notfallplanung. Diese umfasst u. a. die Information und Alarmierung der Bevölkerung, die Organisation von Dammwachen, mobile Massnahmen zur Schliessung von Lücken in den Begrenzungen des Entlastungskorridors, Verkehrssperrungen sowie den vorbereiteten Einsatz von Baumaschinen und Fachexperten.

Abb. 7.26 > Entlastungssystem an der Engelberger Aa, Abschnitt Dallenwil – Buochs.



Raumplanerische Sicherung des Entlastungskorridors

Der für den Hochwasserfall vorgesehene Entlastungskorridor ist raumplanerisch gesichert. Die Aufnahme in den kantonalen Richtplan und die Ausscheidung des Entlastungskorridors als Sondernutzungszone in den Zonenplänen der Gemeinden Buochs und Ennetbürgen stellt seine Freihaltung sicher.

7.7.4 Hydraulische und geschiebetechnische Dimensionierung

Im Rahmen der Projektierungsarbeiten erfolgte die hydraulische Dimensionierung der Streichwehre mit einer Staukurvenberechnung, wobei die seitlichen Ausflüsse iterativ mit dem Ansatz nach Hager (1982) berechnet wurden. Damit im Bereich der Entlastungen möglichst gleichmässige hydraulische Bedingungen herrschen, wurde das Gerinne flussaufwärts aufgeweitet und im Bereich der Entlastung kontinuierlich verengt. Bei der untersten Entlastung (Entlastung A) wurden Kippelemente eingebaut. Diese zögern das Anspringen des Streichwehrs hinaus. Bei einsetzender Entlastung kippen die Elemente (Abb. 7.27) und gewährleisten so eine ausreichende Entlastungsleistung. Abb. 7.29 zeigt die im Rahmen der Projektierung berechnete Entlastungscharakteristik für die Entlastung A, wobei auch der Einfluss möglicher Geschiebeablagerungen berücksichtigt wurde. Abb. 7.30 zeigt die Entlastungscharakteristik des Gesamtsystems.

Abb. 7.27 > Streichwehr mit stehenden Kippelementen bei der Entlastung A im April 2004 (Blick gegen die Fliessrichtung).

Abb. 7.28 > Kippelemente bei der untersten Entlastung A in gekipptem Zustand unmittelbar nach dem Hochwasser 2005 (Blick in Fliessrichtung).

Im stehenden Zustand erhöhen die Elemente die Überfallkante des Streichwehrs und zögern so das Anspringen der Entlastung hinaus.

Abb. 7.29 > Entlastungscharakteristik der untersten Entlastung (Buochs A) mit Kippelementen für den Fall ohne und mit Auflandungen.

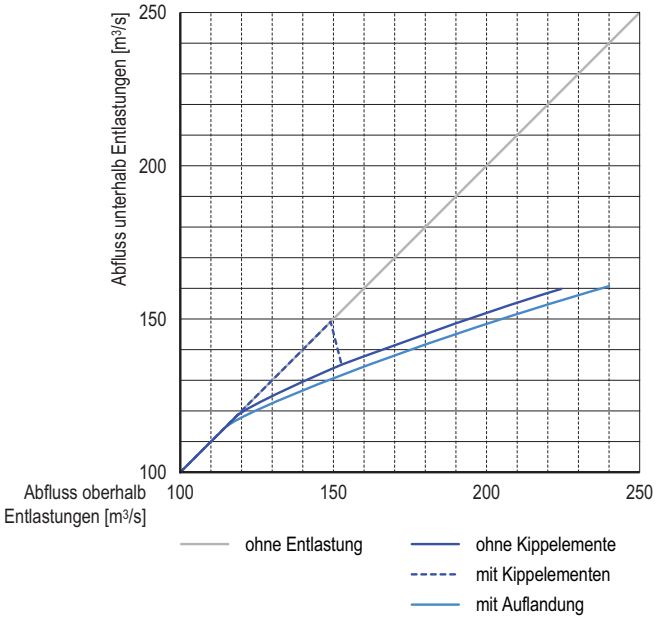
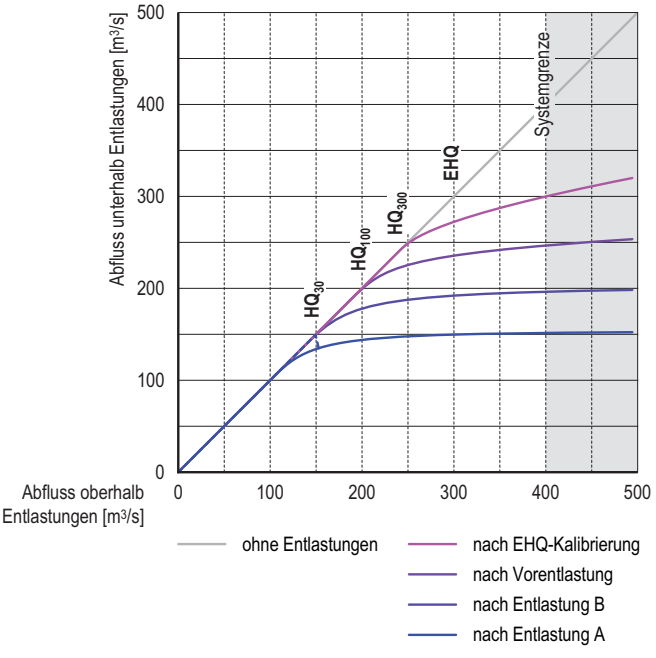


Abb. 7.30 > Entlastungscharakteristik des Gesamtsystems.



Geschiebetransport und morphologische Veränderungen

Die Problematik von Auflandungen infolge der Ableitung eines Teils des Abflusses, verbunden mit entsprechenden Auswirkungen auf die Entlastungscharakteristik wurde bereits in der Projektierung erkannt. Mittels einer Reihe von Sohlenfixpunkten (Schwellen) wurden daher die Flussabschnitte, in welchen die Entlastungen angeordnet sind, morphologisch weitgehend voneinander entkoppelt (vgl. Abb. 7.33). Durch die entsprechende Abtreppung des Längenprofils wird erreicht, dass Auflandungen in einem Flussabschnitt sich nicht oder erst in einer relativ späten Phase eines Ereignisses auf die Sohlenlagen im jeweils oberliegenden Abschnitt auswirken. Die während eines Überlastfalles zu erwartenden Sohlenveränderungen wurden im Rahmen der Projektierung mittels abschnittsweiser Geschiebebilanzen ermittelt. Die Geschiebeführung wurde dabei mit den Transportformeln von Meyer-Peter und Müller (1948) sowie Smart und Jäggi (1983) berechnet, wobei die im jeweiligen Abschnitt durch die Sohlenveränderungen resultierenden Gefällsänderungen iterativ berücksichtigt wurden. Die Geschiebeparameter und insbesondere die Geschiebezufuhr der Engelberger Aa stammten aus den durch die VAW durchgeführten numerischen Simulationen mit dem Modell MORMO (VAW, 1991), wobei die damals simulierte Ganglinie etwas kürzer und die von weiter oben zugeführte Geschiebefracht mit 15’500 m³ kleiner war als beim Ereignis 2005.

Übertragung der Erkenntnisse aus der Urner Reuss

Die Projektierung und Bemessung der Entlastungen an der Engelberger Aa stützte sich massgeblich auf die im Rahmen der Planung des Hochwasserschutzkonzepts Urner Reusstal durchgeführten Modellversuche für die Entlastungen an der Reuss bei Altdorf (VAW, 1995). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse stellten eine wesentliche Grundlage für das Projekt an der Engelberger Aa dar und liessen sich auf den vorliegenden Fall übertragen. Dadurch waren für die Planung der Massnahmen an der Engelberger Aa keine zusätzlichen Modellversuche notwendig.

Erwartete Sohlenveränderungen

Die im Rahmen der Projektierung bezüglich der damaligen Sohlenlage prognostizierten Sohlenhebungen sind in Tab. 7.5 zusammengestellt. Zu unterscheiden ist dabei zwischen dem Anteil infolge der Gerinneaufweitungen und den Schwellen sowie der Sohlenhebung bedingt durch den eigentlichen Entlastungsvorgang.

Tab. 7.5 > Im Rahmen der Projektierung prognostizierte Sohlenveränderungen im Bereich der Entlastungen.

Die Kilometrierung bezieht sich auf die in den Abb. 7.32, 7.33 und 7.35 gezeigten Längenprofile.

	km 1.9	km 1.8	km 1.6	km 1.4
Sohlenhebung nach Bau (infolge Aufweitungen und Schwellen)	35 cm	25 cm	15 cm	10 cm
Sohlenhebung während Ereignis (infolge Entlastungsvorgang)	25 cm	20 cm	15 cm	10 cm

7.7.5 Ereignisverlauf

Abfluss und Geschiebetransport

Der Spitzenabfluss des Hochwassers vom August 2005 war mit 230 m³/s fast doppelt so hoch wie das in der Messperiode seit 1916 bisher beobachtete Maximum von 125 m³/s (1960). Die geschätzte Jährlichkeit der Abflussspitze vom August 2005 liegt über 200 Jahren (Eberhard et al., 2007) Die Ganglinie erstreckte sich über drei Tage und das v. a. im Ober- und Mittellauf der Engelberger Aa mobilisierte Geschiebevolumen betrug insgesamt rund 250'000 m³. Ungefähr 20'000 m³ Geschiebe gelangten bis in den Bereich der unteren beiden Entlastungen beim Flugplatz Buochs.

Funktionsweise der seitlichen Entlastungen

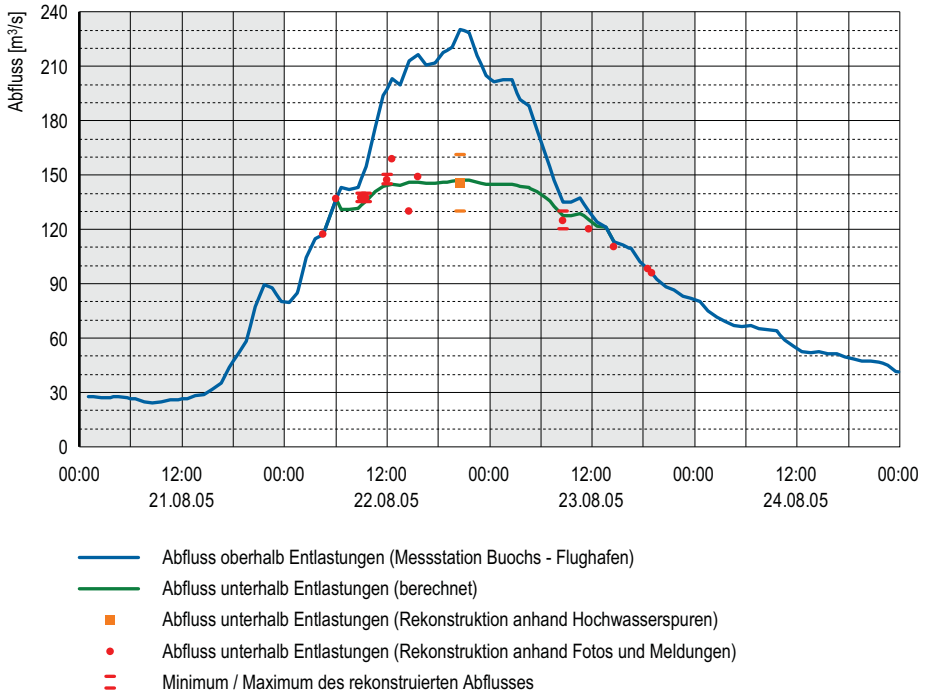
Bei einem Spitzenabfluss von 230 m³/s sollten gemäss Projekt die beiden untersten Entlastungen beim Flugplatz Buochs anspringen und den Abfluss in der unterliegenden Strecke auf einen Wert von 150 m³/s begrenzen (Abb. 7.26). Die Vorentlastung bei km 3.1 sprang kurzzeitig zwar leicht an, doch war der entlastete Abfluss mit maximal 10 m³/s vergleichsweise gering. Wie geplant fand die Entlastung über die beiden untersten Streichwehre A und B beim Flugplatz statt (Abb. 7.25). Dadurch konnte ein Ausufern der Engelberger Aa im Bereich der Ortschaft Buochs verhindert werden (Abb. 7.31). Ohne die Entlastungen wäre ein unkontrolliertes Überströmen der Hochwasserdämme mit entsprechenden Konsequenzen im Unterlauf der Engelberger Aa nicht abzuwenden gewesen.

Abb. 7.31 > Engelberger Aa in Buochs unterhalb der Entlastungen am 22.8.2003 um 12 Uhr.

Zu dem im Bild gezeigten Zeitpunkt beträgt der Abfluss in der Engelberger Aa bei Buochs dank der Entlastung von 55 m³/s noch rund 145 m³/s.

Unmittelbar flussaufwärts der beiden unteren Entlastungen befindet sich die Abflussmessstation «Engelberger Aa – Buochs, Flugplatz» des BAFU. Die hier gemessenen Abflüsse (Abb. 7.32) entsprechen somit dem Zufluss der Engelberger Aa vor den Entlastungen A und B. Mit den in Abb. 7.29 und Abb. 7.30 gezeigten Entlastungscharakteristika wurde die Ganglinie der Engelberger Aa unterhalb der Entlastungen berechnet, welche somit dem Sollwert gemäss Projekt entspricht. Da unterhalb der Entlastungen keine Abflussmessungen verfügbar sind, wurde der Abfluss im Bereich der Ortschaft Buochs für verschiedene Zeitpunkte anhand von Beobachtungen und mittels hydraulischer Berechnungen rekonstruiert. Die Rekonstruktion stützt sich auf die nach dem Hochwasser durch das BAFU aufgenommenen Hochwasserspuren (maximale Wasserspiegellage bei Durchgang der Hochwasserspitze), auf Fotografien mit genauer Zeitangabe sowie auf Meldungen der Einsatzkräfte vor Ort. Die Auswertung dieser Beobachtungen begrenzt sich dabei auf die Abschnitte ohne störende Einflüsse, wie Auflandungen und Seerückstau. Die Güte der auf diese Weise rekonstruierten Abflusswerte kann als gut bezeichnet werden, beträgt doch die Streuung maximal rund ± 15 m³/s. Wie Abb. 7.32 zeigt, stimmen die berechneten Sollwerte gut mit den aus den Beobachtungen rekonstruierten Abflüssen überein. Mit den beiden Entlastungen konnte demnach der Zufluss der Engelberger Aa wie vorgesehen auf 150 m³/s reduziert werden.

Abb. 7.32 > Abflussganglinien der Engelberger Aa oberhalb und unterhalb der beiden Entlastungen beim Flughafen Buochs.



Einfluss von Auflandungen auf die Trenncharakteristik

Gemäss Abb. 7.32 liegt der Mittelwert des rekonstruierten Spitzenabflusses sehr nahe beim Sollwert von 150 m³/s. Beim Abklingen des Hochwassers ist der beobachtete Abfluss leicht kleiner als der Sollwert. Der Ausfluss bei Entlastung A stoppte bei 100 m³/s und damit 20 m³/s unter dem Sollwert. Dies kann mit der am Ende des Ereignisses im Bereich der Entlastung A vorhandene Sohlenauflandung von 0.2 m erklärt werden. Da während der Nacht vom 22. auf den 23. August keine Beobachtungen vorliegen, kann der Beginn dieser Auflandung nicht genauer bestimmt werden. Die etwas längere Entlastung am Ende des Ereignisses war allerdings unproblematisch.

Rasche Dokumentation der Sohlenveränderungen

Dank der auf das Ereignis folgenden Schönwetterperiode und der sofortigen Vermessung der Engelberger Aa konnte die Lage der Sohle gleich nach dem Hochwasser dokumentiert werden. Im Bereich der Vorentlastung waren aufgrund der unmittelbar flussabwärts erstellten Blockrampe und der relativ geringen entlasteten Wassermenge wie erwartet keine Sohlenveränderungen zu beobachten.

Sohlenhebungen im Bereich der Entlastungen

Bei der Entlastung A beträgt die Sohlenhebung gegenüber der Projektsohle durchschnittlich 20 cm (Abb. 7.33). Die Mächtigkeit der Auflandungen nimmt von 0 cm am unteren Ende der Entlastung gleichmässig auf 44 cm an deren oberem Ende zu und widerspiegelt damit die kontinuierliche Aufweitung des Flussprofils in diesem Bereich. Aufgrund der Sohlenhebung resultiert rechnerisch ein um rund 20 m³/s grösserer Abfluss über die Entlastung A, wie dies aufgrund der Beobachtungen am Ende des Ereignisses auch festgestellt wurde. Die Mächtigkeit der Auflandung reduziert sich im Bereich der Verengung zwischen den Entlastungen A und B und beträgt am unteren Ende der Entlastung B 23 cm und an deren oberen Ende 33 cm. Dies stellt aus Sicht des Hochwasserschutzes kein Problem dar, da primär eine Überbelastung der flussabwärtigen Flussabschnitte verhindert werden soll und ein leicht höherer Abfluss im breiten Abflusskorridor zwischen Buochs und Ennetbürgen aufgrund der hier vorhandenen Kapazität nicht kritisch ist.

Verhältnisse im Entlastungskorridor

Im Entlastungskorridor verändert sich aufgrund der grossen Breite die Abflusstiefe bei unterschiedlichen Abflüssen nur geringfügig. Der Abflusskorridor weist somit ein grundsätzlich «gutmütiges» Abflussverhalten auf. Infolge der geringen Fliessgeschwindigkeiten sind im Entlastungskorridor einige Besonderheiten zu beachten. Beispielsweise hat das Ereignis 2005 verdeutlicht, dass Zäune schnell und dicht mit Treibgut verlegt werden und so den Abfluss zurückstauen können. Infolge der relativ kleinen Fliessgeschwindigkeiten resultierten auch bis zu 0.5 m mächtige Ablagerungen von Feinsedimenten im breiten und flachen Entlastungskorridor. Umgekehrt führten Abflusskonzentrationen v. a. im Bereich der Entlastungen zu Erosionen.

Deutliche Auflandungen flussabwärts der Entlastungen

Von der Blockschwelle unterhalb der Entlastung A bis zum Ambauenwehr, welches die Sohlenentwicklung im Bereich der Entlastungen vom Unterlauf entkoppelt, lag die Sohle am Ende des Hochwassers unterhalb der Projektsohle. Teilweise bedingt durch den Seerückstau landete die Sohle zwischen dem Ambauenwehr und dem See um bis zu 1 m auf (Abb. 7.33).

Geschiebebilanz im Unterlauf der Engelberger Aa

Die Auswertung der Querprofilaufnahmen ergab, dass beim Ereignis 19'500 m³ Geschiebe in den Bereich der Entlastungen A und B gelangten. Davon wurden 16'000 m³ weitertransportiert und rund 3500 m³ im Bereich der Entlastungen abgelagert.

7.7.6 Rekonstruktion der Sohlenentwicklung anhand numerischer Simulation

7.7.6.1 Ziele und Methodik

Ziel der numerischen Simulation

Ziele der numerischen Simulation sind die Rekonstruktion des Ereignisses und ein besseres Verständnis der abgelaufenen Prozesse. Insbesondere interessieren die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage während des Hochwassers, der Einfluss der Sohlenlage auf die seitlichen Entlastungen sowie der Einfluss der Entlastungen auf den Geschiebehaushalt. Weiter sollen die numerischen Simulationen Informationen zur künftigen Entwicklung und zur Geschiebebewirtschaftung der Engelberger Aa liefern.

Nachbildung des Systems

Der untersuchte Flussabschnitt umfasst die letzten rund 3.5 km der Engelberger Aa oberhalb des Vierwaldstättersees und beinhaltet die Vorentlastung sowie die beiden Entlastungen beim Flugplatz Buochs (Abb. 7.26). Das numerische Modell besteht aus einem 1D-Modell des Gerinnes, das im Bereich der Entlastungen A und B mit einem 2D-Modell ergänzt wurde. Die Entlastungen A und B wurden als vollkommene Überfälle modelliert. Die geschiebetechnisch unbedeutende Vorentlastung wurde im Modell durch eine entsprechende Reduktion des Abflusses berücksichtigt.

Gerinnegeometrie

Die Gerinnegeometrie vor dem Ereignis wurde anhand von Querprofilaufnahmen vom Dezember 2002, ergänzt mit punktuellen Aufnahmen vom Januar 2005, modelliert. Die Geometrie der Entlastungen wurde den Projektplänen entnommen. Die Sohlenlage nach dem Ereignis stammt aus den Querprofilaufnahmen unmittelbar nach dem Ereignis.

Fraktionierte Berechnung des Geschiebetransports

Zentral für die korrekte Beschreibung der morphologischen Prozesse während eines Hochwassers ist die Berücksichtigung der Sortierprozesse auf der Flusssohle. Das eingesetzte Programmsystem FLUMEN/FLUSH (Beffa, 2008) setzt dazu die Transportformel von Parker (1990) ein, die anhand von Naturmessungen in Kiesflüssen hergeleitet wurde. Die Formel basiert auf der Kenntnis der Kornverteilung der Deckschicht, die entsprechend dem Konzept der Austauschschicht von Hirano (1971) ermittelt wird. Im Erosionsfall wird Material aus der Unterschicht in die Austauschschicht aufgenommen. Im Auflandungsfall wird Material aus der Austauschschicht und dem transportierten Geschiebe in die Unterschicht abgegeben. Die Anfangsbedingungen für die Kornverteilungen der Austausch- und der Unterschicht wurden aus vorhandenen Linienproben abgeleitet.

Randbedingungen

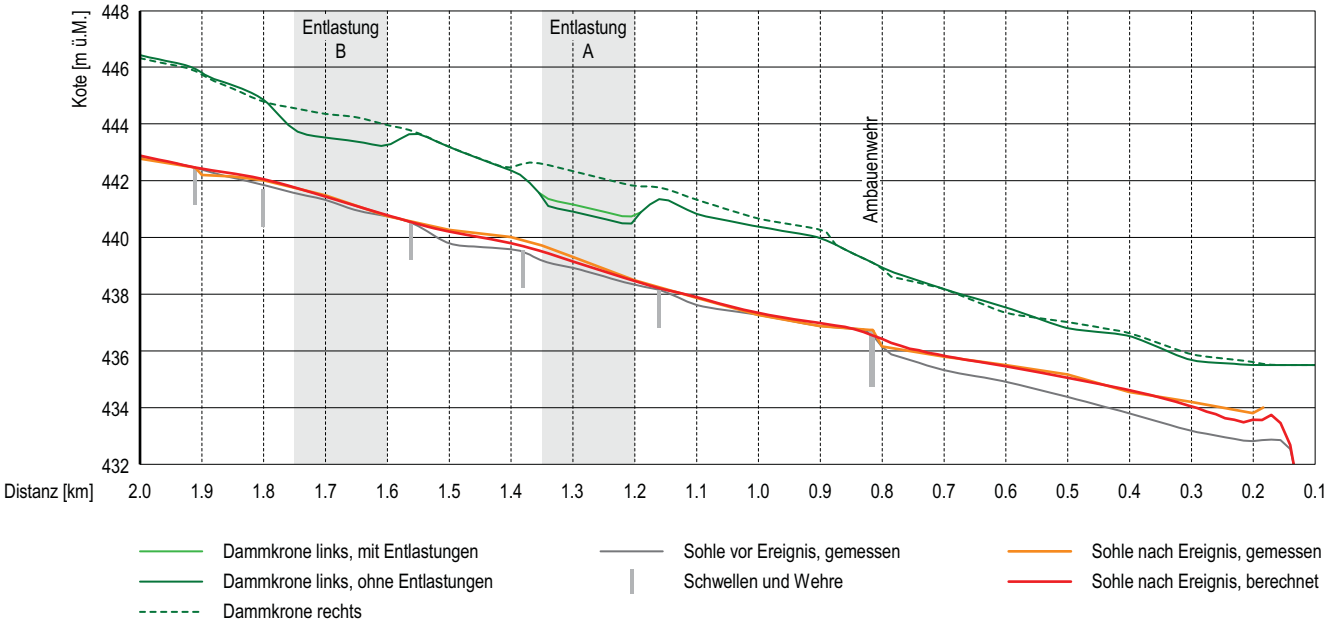
Als Randbedingungen wurden am oberen Rand die bei der Messstation Buochs bei km 1.915 gemessene Abflussganglinie und am unteren Rand der gemessene Seewasserspiegel berücksichtigt. Die Geschiebezufuhr in den modellierten Abschnitt und deren Kornverteilung wurden unter Annahme gleich bleibender Kornverteilung der Deckschicht mittels Normalabflussberechnungen für eine weiter flussaufwärts gelegene Schlüsselstrecke abgeschätzt. Das Kippen der Elemente bei der Entlastung A wurde entsprechend den Zeugenberichten am 22. August um 6.00 Uhr simuliert.

7.7.6.2 Zeitliche Entwicklung der Sohlenlage

Sohlenlagen am Ende des Ereignisses

Abb. 7.33 zeigt einen Vergleich der berechneten und gemessenen Sohlenlagen am Ende des Ereignisses. Die gemessenen Sohlenveränderungen können mit dem numerischen Modell sowohl bei den Entlastungen A und B als auch im Abschnitt flussabwärts des Ambauenwehrs gut nachgebildet werden. Abweichungen ergeben sich lediglich am oberen Ende der Entlastung A, wo die berechnete Sohlenlage am Ende des Ereignisses etwa 20 cm tiefer liegt als gemessen. Aufgrund der guten Übereinstimmung der beobachteten und simulierten Sohlenlagen am Ende des Ereignisses und der auf Naturmessungen abgestützten Wahl der Modellparameter darf angenommen werden, dass sich mittels der Simulationsrechnungen auch der zeitliche Verlauf der Sohlenveränderungen während des Hochwassers reproduzieren lässt.

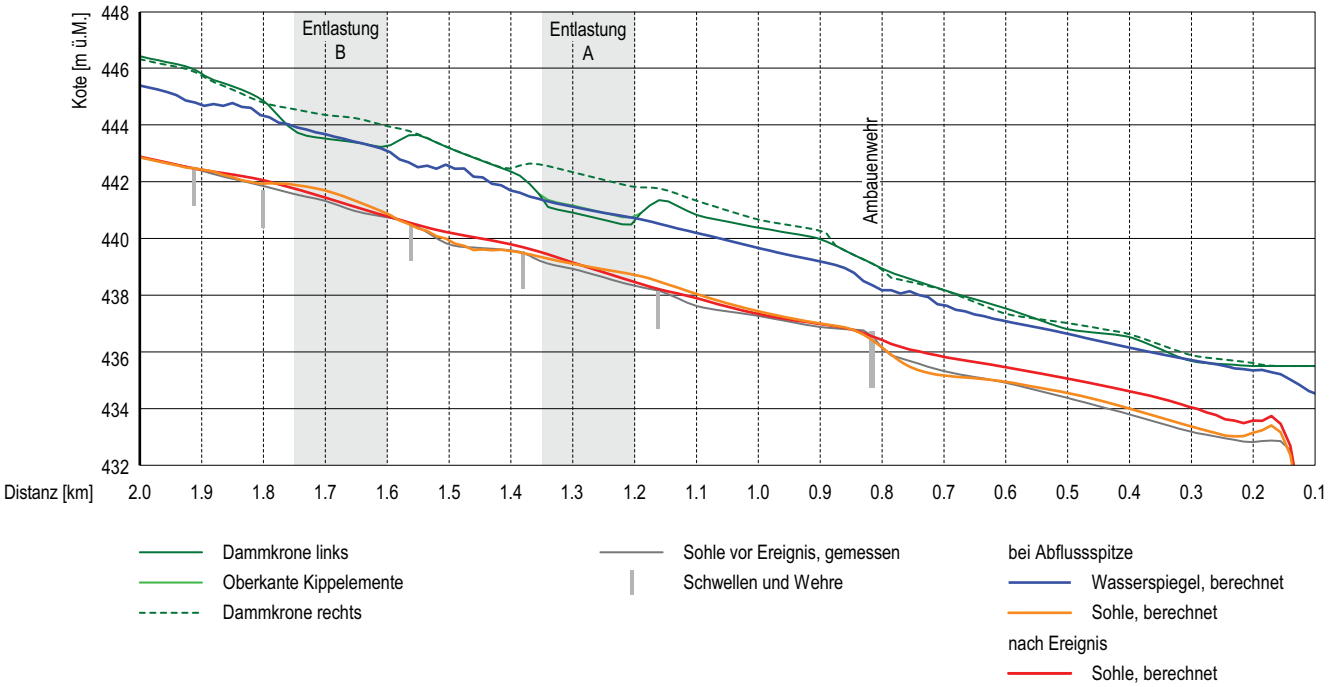
Abb. 7.33 > Gemessene und berechnete Sohlenlage am Ende des Ereignisses.



Sohlen- und Wasserspiegellage beim Spitzenabfluss

Abb. 7.34 zeigt die berechnete Wasserspiegel- und Sohlenlage während der Abflussspitze (230 m³/s) sowie die berechnete Sohlenlage am Ende des Hochwassers. Aus dem Vergleich der beiden Sohlenlagen ist erkennbar, dass die Sohle im Bereich der Entlastung B während der Abflussspitze bis zu 30 cm höher lag als am Ende des Ereignisses. Weiter ist ersichtlich, dass die mächtigen Ablagerungen unterhalb des Ambauenwehrs hauptsächlich während des Abklingens des Hochwassers entstanden sind. Wie weiter unten gezeigt wird, sind diese bis zu 1 m mächtigen Ablagerungen mindestens z. T. auf den Rückstau des angestiegenen Vierwaldstättersees zurückzuführen.

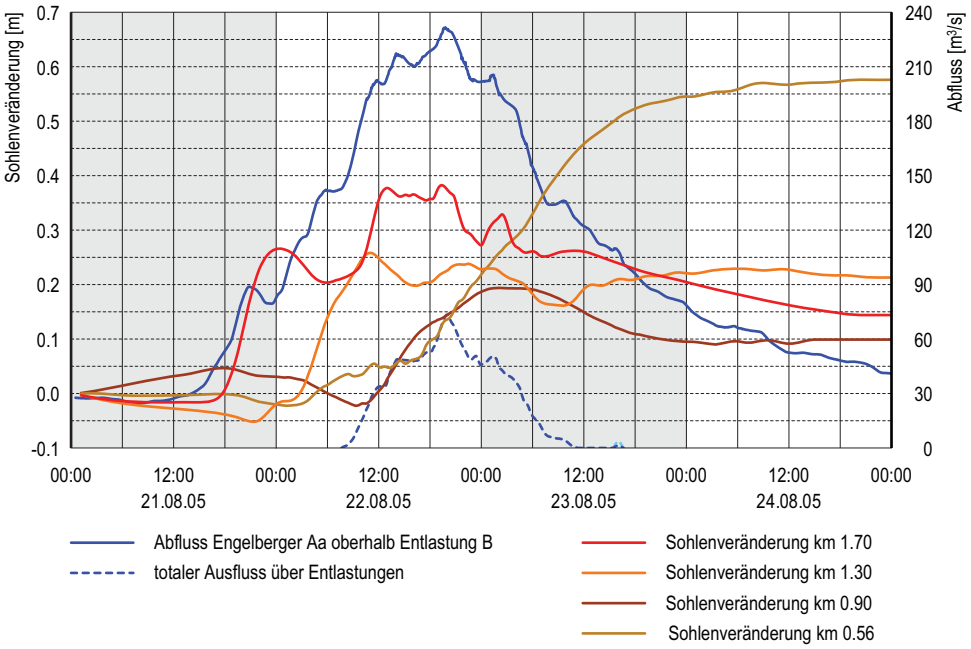
Abb. 7.34 > Berechnete Sohlenlage während der Abflussspitze und am Ende des Ereignisses.



Zeitliche Entwicklung der Sohlenlage

In Abb. 7.35 ist die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage in vier ausgewählten Profilen dargestellt. Ausgewählt wurden ein Profil zwischen dem See und dem Ambauenwehr (km 0.56), ein Profil zwischen dem Ambauenwehr und der Entlastung A (km 0.90) sowie je ein Profil bei den Entlastungen A (km 1.30) und B (km 1.70). Die Simulationen zeigen, dass die Auflandungen zuerst bei der oberen Entlastung B einsetzten, nachdem ein Abfluss von rund 50 m³/s erreicht wurde. Am 21. August um 24:00 Uhr – eindeutig bevor die seitliche Entlastung einsetzte – hat sich bei der Entlastung B bereits eine ausgeprägte, im Längenprofil «hügelförmige» Ablagerung gebildet (ähnlich wie bei der Hochwasserspitze, siehe Abb. 7.34). Diese Ablagerung ist damit rein auf den Einfluss der Gerinnegeometrie (leichte Aufweitung im Bereich der Entlastung) zurückzuführen. Erste Auflandungen treten bei der unteren Entlastung A erst einige Stunden später auf. Bei beiden Entlastungen erreicht die Mächtigkeit der Auflandungen zum Zeitpunkt der Hochwasserspitze praktisch ihren Maximalwert. Die Ablagerungen bei der Entlastung B werden bei Abklingen des Hochwassers stark abgebaut, während sie bei der Entlastung A bis zum Ende des Ereignisses nur leicht abnehmen.

Abb. 7.35 > Berechneter Verlauf der Sohlenlage in vier ausgewählten Profilen während des Hochwassers.



Einfluss des Vierwaldstättersees

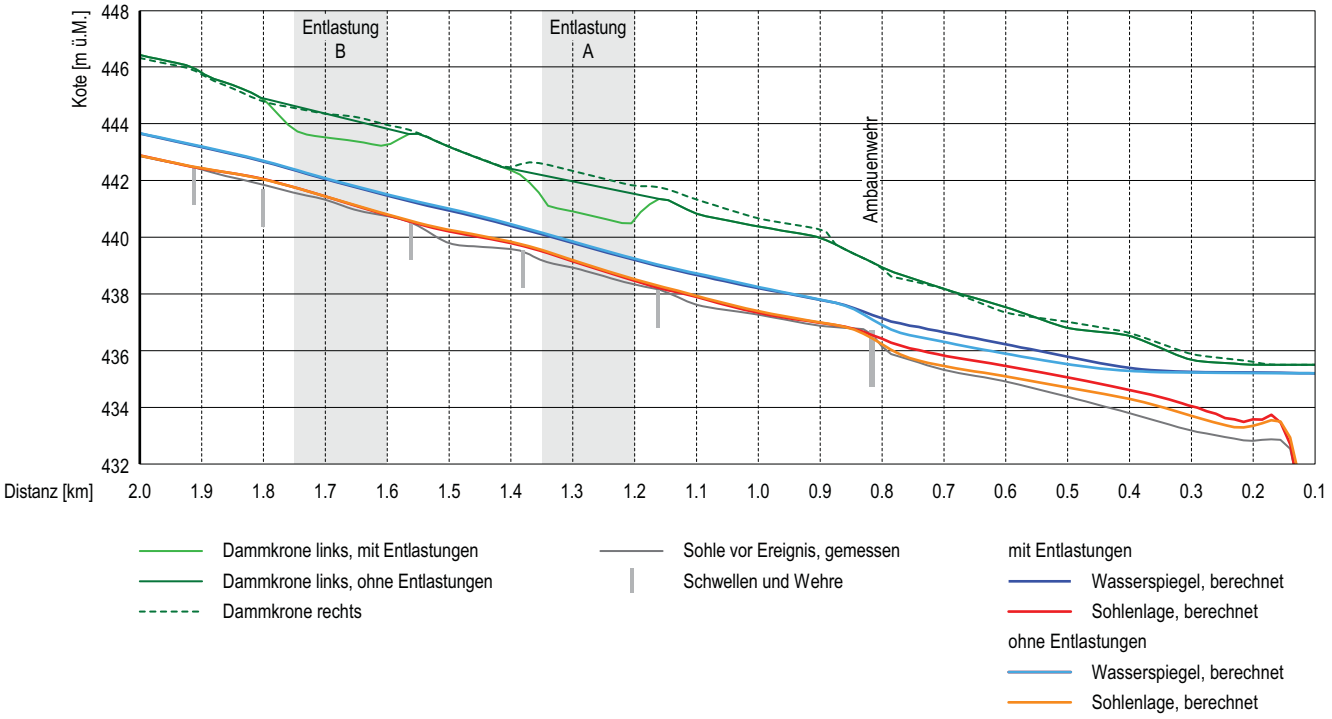
Die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage unterhalb des Ambauenwehrs korreliert gut mit dem Verlauf des Wasserspiegels im Vierwaldstättersee, der am 24. August um 20.00 Uhr den maximalen Stand von 435.22 m ü.M. erreichte. Die Auflandungen in der Engelberger Aa werden in diesem untersten Abschnitt durch den Rückstau des Sees gesteuert. Der Einfluss des Sees auf die Sohlenlage in der Engelberger Aa erstreckt sich flussaufwärts bis zum Ambauenwehr. Oberhalb davon ist die Entwicklung der Sohlenlage dank des relativ hohen Wehrs von den Prozessen im unterliegenden Flussabschnitt entkoppelt.

7.7.6.3 Einfluss der Entlastung auf die Sohlenlage

Hypothetische Situation ohne Entlastungen

Die grosse Mächtigkeit der beobachteten und berechneten Ablagerungen unterhalb des Ambauenwehrs ist nebst dem Rückstau durch den See auf die Reduktion des transportwirksamen Abflusses in der Engelberger Aa infolge der seitlichen Entlastungen zurückzuführen. Dies zeigt eine Vergleichssimulation, welche für die hypothetische Situation durchgeführt wurde, bei der kein Wasser aus dem Gerinne austritt. In diesem Fall wären die Ablagerungen unterhalb des Ambauenwehrs nur etwa halb so mächtig (Abb. 7.36). Die Sohlenlage flussabwärts des Ambauenwehrs würde ohne Entlastungen durchschnittlich 35 cm tiefer liegen als mit Entlastungen. Trotzdem bleibt der Einfluss des Rückstaus durch den hohen Seewasserstand erhalten.

Abb. 7.36 > Berechnete Sohlen- und Wasserspiegellage am Ende des Ereignisses in den Fällen mit (d. h. wie beim Ereignis 2005) und ohne Entlastungen (hypothetische Situation als Vergleich).



Der Vergleich der Situation mit und ohne Entlastungen zeigt aber auch, dass der Einfluss der seitlichen Entlastungen auf die Sohlenveränderungen oberhalb des Ambauenwehrs am Ende der Hochwasserganglinie bescheiden ist. Aus Abb. 7.345 ist ersichtlich, dass die Sohlenlage am Ende des Ereignisses im Falle ohne Entlastungen etwas höher liegt (im Durchschnitt rund 5 cm) als im Fall mit Entlastungen. Während der Hochwasserspitze sind die Unterschiede jedoch grösser. Die hügelförmigen Ablagerungen im Bereich der Entlastungen sind im Falle ohne Entlastungen bis zu 30 cm mächtiger. Sie werden aber bei abklingendem Hochwasser schnell abgebaut und die Sohle entspricht am Ende der Simulation praktisch dem Zustand mit seitlichen Entlastungen.

Entlastungen beeinflussen primär die Verhältnisse im unterliegenden Flussabschnitt

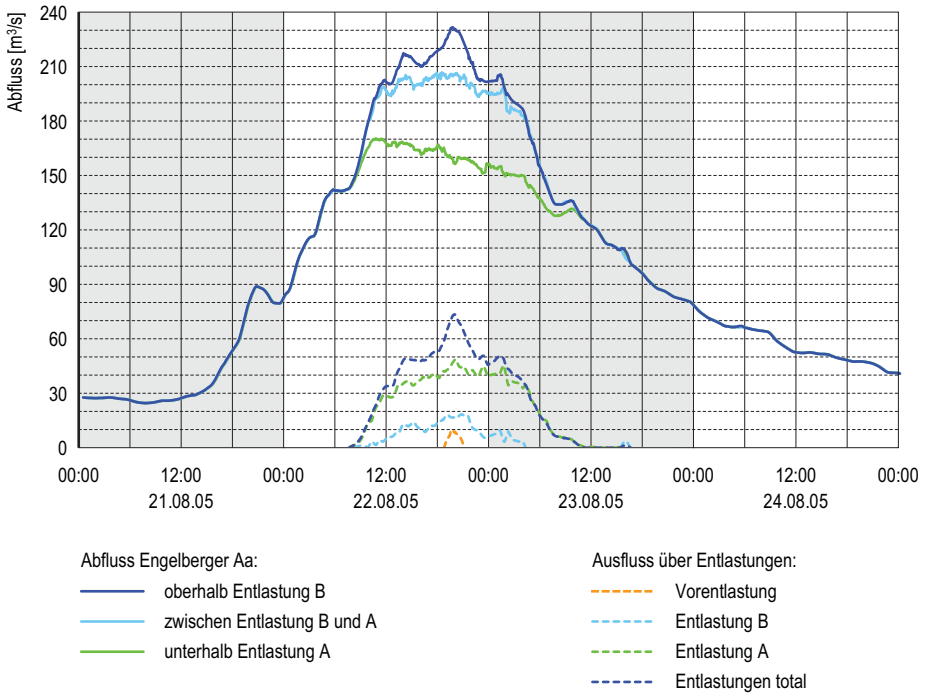
7.7.6.4 Hochwasserentlastungsmengen

Anhand der numerischen Simulationen können auch die über die zwei unteren Streichwehre in den Entlastungskorridor entlasteten Abflüsse berechnet werden. Gemäss diesen Berechnungen, deren Ergebnisse in Abb. 7.37 dargestellt sind, werden bei der Abflussspitze insgesamt 75 m³/s seitlich entlastet, etwa 2/3 davon bei der Entlastung A. Der maximale Abfluss flussabwärts der untersten Entlastung beträgt rund 170 m³/s. Im Vergleich zu den anhand der Messungen und Beobachtungen rekonstruierten Abflüssen (Abb. 7.32) resultiert am 22. August zwischen 8:00 und 18:00 Uhr eine Überschätzung des unterhalb der Entlastungen in der Engelberger Aa verbleibenden Abflusses. Der berechnete Abfluss ist 10 bis 20 m³/s grösser als der aufgrund der Hoch-

Rekonstruktion der entlasteten Abflussmengen

wasserspuren geschätzte Abfluss. Dies kann auf die Unterschätzung der Mächtigkeit der Auflandungen im Bereich der Entlastung A zurückgeführt werden (Abb. 7.33). Die hier am Ende des Ereignisses vorhandene Differenz von rund 20 cm zwischen der berechneten und der beobachteten Sohlenlage kann die festgestellte Abflussdifferenz von bis zu 20 m³/s zum grössten Teil erklären.

Abb. 7.37 > Berechnete Hochwasserganglinien an ausgewählten Standorten und entlastete Abflüsse.



7.7.7 Folgerungen

Verhinderte Schäden

Dank der Entlastungen konnte ein Dammbruch mit verheerenden Schäden in Buochs, wie er ohne Entlastungen mit grosser Wahrscheinlichkeit eingetreten wäre, verhindert werden. Die im Entlastungskorridor entstandenen Schäden belaufen sich auf 1,6 Mio. CHF. Die dank der Entlastungen verhinderten Schäden werden auf mehr als 160 Mio. CHF geschätzt. Ohne Entlastungen wäre der Gesamtschaden im Kanton Nidwalden rund doppelt so hoch wie der Tatsächliche ausgefallen. Dem gegenüber stehen Investitionen von rund 26 Mio. CHF für das Hochwasserschutzkonzept.

Robustes und überlastbares Konzept

Das Entlastungskonzept und der Entlastungsmechanismus an der Engelberger Aa hat trotz Auflandungen und Schwemmholz gut und zuverlässig funktioniert. Das Gesamtsystem und insbesondere die Entlastungen verhielten sich – selbst bei massivem Geschiebeeintrag – wie geplant. Sowohl die Beobachtungen während als auch die nach dem Ereignis durchgeführten numerischen Simulationen zeigten deutlich auf, dass sich das Konzept der in Serie angeordneten Entlastungen als robustes und funktionsfähiges

System bewährt hat. Die im Rahmen der Projektierung durchgeführte hydraulische und geschiebetechnische Dimensionierung hat sich im August 2005 bestätigt.

Erkenntnisse für ähnliche Projekte

Die ausführliche Dokumentation und die numerische Rekonstruktion des Hochwasserereignisses 2005 am Unterlauf der Engelberger Aa ermöglichen einen vertieften Einblick in die Wirkung der seitlichen Entlastungen in einem geschiebeführenden Fluss und verdeutlichen die Interaktion zwischen Geschiebetransport, Entlastung und morphologischer Veränderung. Aus der Rekonstruktion des Ereignisses an der Engelberger Aa resultieren damit folgende wichtige Erkenntnisse für die Planung von Entlastungen an geschiebeführenden Flüssen:

- Seitliche Entlastungen haben nicht nur einen lokalen Einfluss auf den Geschiebehaushalt, sondern auch auf die unterliegende Flussstrecke. Das Ausmass der Auswirkungen einer Entlastung kann im Unterlauf bedeutend grösser sein als die lokalen Veränderungen bei der Entlastung selbst. Bei der Planung von Hochwasserentlastungen ist dieser Umstand zu berücksichtigen. Entsprechende Simulationsrechnungen sind durchzuführen.
- Zur Gewährleistung einer robusten Trenncharakteristik sind Flussabschnitte, in welchen Entlastungen angeordnet sind, morphologisch zu entkoppeln. Durch Fixpunkte lässt sich die Variation der Sohlenlagen im Bereich von Entlastungen begrenzen. Eine entsprechende Abtreppung des Längenprofils bewirkt, dass Auflandungen im Unterlauf die Lage der Sohle im Bereich einer Entlastung nicht oder erst in einer späten Phase des Ereignisses beeinflussen.
- In Entlastungskorridoren können beispielsweise Zäune, die sich mit Treibgut dicht verlegen und dem Wasserdruck standhalten, die Abflussverhältnisse wesentlich beeinflussen. Entlastungskorridore müssen daher frei von abflusshemmenden Hindernissen jeglicher Art sein. In breiten und flachen Entlastungskorridoren führen kleine Fliessgeschwindigkeiten zur Ablagerung von Feinsedimenten, die es bei der Planung zu berücksichtigen gilt. Schliesslich ist zu beachten, dass Abflusskonzentrationen zu Erosionen und Kolken führen können. Die entsprechenden Stellen sind gegen Erosion zu sichern.
- Die über mehrere Jahrzehnte beobachtete Erosion am Unterlauf der Engelberger Aa wurde 2005 während eines einzigen Ereignisses durch mächtige Ablagerungen mehr als wettgemacht. Damit bestätigt sich die generelle Erkenntnis, dass Extremereignisse zu einer Umkehr von Langzeittrends bezüglich Entwicklung der Sohlenlage führen können (vgl. Kap. 4.2). Bei der Konzeption und der Dimensionierung von Hochwasserschutzsystemen müssen daher sowohl langsam ablaufende Veränderungen infolge Langzeittendenzen als auch episodische Störungen in Form von Extremereignissen berücksichtigt werden.
- Am Unterlauf der Engelberger Aa wurde ein umfassendes, robustes Hochwasserschutzkonzept realisiert, das sich 2005 bei einer deutlichen Überbelastung bewährt hat. Die seitlichen Entlastungen stellen dabei zentrale Elemente dar. Zusammen mit den Massnahmen am Gerinne der Engelberger Aa, den Objektschutzmassnahmen entlang des Entlastungskorridors und dessen raumplanerischer Sicherung sowie einer umfassenden Notfallplanung stellen sie im vorliegenden Fall die erfolgreiche Kombination aus der Palette der Möglichkeiten des integralen Risikomanagements dar.

7.8 Erkenntnisse

Holzsperren als doppelwandige Holzkasten ausbilden

Im Wildbachverbau eingesetzte Holzsperren müssen bei starker Geschiebeführung eine Festigkeit aufweisen, die mit einwandigen Konstruktionen nicht erreicht werden kann. Doppelwandige Holzkastenkonstruktionen können hingegen die Beanspruchung aus intensiver Geschiebeführung übernehmen. Voraussetzung sind eine grosszügige Überfallsektion, die somit nicht allein aufgrund der hydraulischen Kriterien zu bemessen ist, sowie ein konstruktiv einwandfreier Verbund des Sperrenkörpers mit den in der Regel deutlich höher belasteten Sperrenflügeln.

Ingenieurbiologische Hangsicherung ähnlich stabil wie natürliche Waldflächen

Ingenieurbiologische Massnahmen zur Hangsicherung erreichen nach rund 10 Jahren eine Stabilität, die sich mit jener von natürlichen Waldflächen vergleichen lässt. Voraussetzung ist die standortgerechte und artenreiche Bepflanzung sowie flankierende Massnahmen wie beispielsweise Holzkasten, welche auch in der Initialphase eine ausreichende Stabilität gewährleisten. Gesicherte Aussagen zum Langzeitverhalten ingenieurbiologischer Systeme sind nach wie vor schwierig.

Geschiebesammler überlastbar auslegen

Geschiebesammler können grundsätzlich überlastet werden, weil dem für den Rückhalt verfügbaren Volumen aus topographischen und ökonomischen Gründen Grenzen gesetzt sind. Entscheidend für die Auswirkungen einer Überlastung sind die Menge und Intensität des ins Unterwasser verfrachteten Materials und insbesondere der Weg, den Wasser und Geschiebe nehmen. Das Fallbeispiel des Humligenbachs bei Wolfenschiessen zeigt, wie sich die im Überlastfall ablaufenden Prozesse wirksam beeinflussen und kontrollieren lassen. Bei neuen Sammlern ist der Überlastfall fest in die Konzeption einzubeziehen und bestehende Sammler sind bezüglich ihres Verhaltens bei Überlastung zu prüfen. Die Vorgänge im Geschiebesammler Stiglisbrücke am Schächen bei Bürglen verdeutlichen, dass eine dem Ereignis angepasste Geschiebedosierung mittels durchlässiger Sperren ausserordentlich schwierig ist.

Kombination von Abstürzen und Blockrampen besonders kritisch

Blockrampen in einlagig gesetzter (klassischer) Bauweise versagen bei Überlastung relativ schlagartig. Sie weisen somit – im Gegensatz zu aufgelösten Rampen – ein weniger gutmütiges Verhalten auf. Aufgelöste Rampen können hingegen weniger steil ausgebildet werden und weisen deshalb bei gleicher Höhendifferenz eine bedeutend grössere Länge auf. Die bisher realisierten aufgelösten Rampen wurden im August stark beansprucht und haben sich dabei bewährt. Als besonders kritisch erweist sich – unabhängig von ihrer Bauweise – der Anschluss von Rampen an bestehende Absturzbauwerke. Der Übergang zwischen dem starren Absturz und der flexibel reagierenden Rampe hat sich in praktisch allen untersuchten Schadensfällen als die für das Versagen vermutlich entscheidende Schwachstelle erwiesen. Aus dieser Feststellung ergeben sich grosse Vorbehalte in Bezug auf eine Kombination von bestehenden starren Abstürzen mit flexiblen Rampen. Ein weiterer Aspekt betrifft die Anwendung der unter idealisierten Bedingungen abgeleiteten Bemessungsansätze für Blockrampen. In Natur davon abweichende Verhältnisse wie beispielsweise Strömungskonzentrationen oder Kurveneffekte sind bei der Planung sorgfältig abzuklären und bei der Bemessung zu berücksichtigen.

Flussaufweitungen: eine differenzierte Bilanz

Flussaufweitungen wurden ursprünglich mit dem Ziel der Sohlenstabilisierung und der ökologischen Aufwertung durch Erhöhung der Strukturvielfalt realisiert. Aus der mit dem Hochwasser 2005 ergänzten Bestandesaufnahme resultiert heute ein differenzierteres Bild. Flussaufweitungen können im Falle eines übergeordneten Erosionstrends die Sohlenlage in ihrem Oberwasser nicht oder nur bedingt stabilisieren. Die Abflusskapazität in lokalen Flussaufweitungen ist nicht oder nur bedingt grösser als die Kapazität im ursprünglichen Zustand. Rechnerische Ansätze, die unter Gleichgewichtsbedingungen abgeleitet wurden, erlauben auch für Aufweitungen in erodierenden Flüssen zumindest eine Abschätzung des Sohlenversatzes, der Abflusstiefe sowie der Bankhöhen und Kolktiefen. Die Auswirkungen geschiebeführender Abflüsse in Aufweitungen lassen sich mittels 2-dimensionalen Simulationsmodellen qualitativ gut reproduzieren, sofern die verfügbaren Daten eine entsprechende Kalibrierung der Modelle erlauben.

Integrales Risikomanagement am Unterlauf der Engelberger Aa

Die Massnahmen an der Engelberger Aa im Stanserboden repräsentieren ein robustes und überlastbares Hochwasserschutzkonzept, das sich 2005 bei einer deutlichen Überbelastung bewährt hat. Die Entlastung eines Teils des Abflusses in den Entlastungskorridor zwischen Buochs und Ennetbürgen ist ein zentrales Element dieses Konzepts. Die Grösse des entlasteten Abflusses ist von der Geschiebeführung der Engelberger Aa und von der Bildung von Ablagerungen im Bereich der Entlastungen abhängig. Diese Prozesse beeinflussen die Ausdehnung der im Überlastfall betroffenen Fläche jedoch kaum, was die Robustheit und Überlastbarkeit des Hochwasserschutzkonzeptes unterstreicht. Die raumplanerische Sicherung der im Überlastfall erforderlichen Flächen, die weiteren Massnahmen am Gerinne der Engelberger Aa, die Objektschutzmassnahmen entlang des Entlastungskorridors und eine umfassende Notfallplanung stellen im vorliegenden Fall die erfolgreiche Kombination aus der Palette an Möglichkeiten des integralen Risikomanagements dar.

Herausforderung Überlastfall

Das Hochwasser vom August 2005 zeigt, dass der Überlastfall Realität ist. Die wesentliche Herausforderung bei der Planung künftiger und der Anpassung bestehender Hochwasserschutzmassnahmen besteht deshalb darin, diese robust und überlastbar auszulegen. Für Überlastsituationen braucht es nebst einer umfassenden Notfallplanung v. a. genügend Raum, um Wasser, Feststoffe und Schwemmholz abzuführen oder zurückzuhalten. Nur wenn die geeigneten Flächen und Korridore gesichert und freigehalten werden, lassen sich Schäden bei zukünftigen Ereignissen wirkungsvoll reduzieren.

Literatur:

Amezketa E. 1999: Soil aggregate stability: A review. Journal of Sustainable Agriculture 14, 83–151.

Beffa C. 2008: Kurzbeschriebe der Programme FLUMEN und FLUSH, *www.fluvial.ch* (abgefragt am 17.07.2008).

Bezzola G.R. 2008: Unerwartete Prozesse in einem Geschiebesammler – Der Geschiebesammler «Stiglisbrücke» am Schächen während des Hochwassers vom August 2005: In: Internationales Symposium Interpraevent 2008, Dornbirn, Österreich. Band 1: 271–282.

Böll A., Graf F. 2001: Nachweis von Vegetationswirkungen bei oberflächennahen Bodenbewegungen – Grundlagen eines neuen Ansatzes. Schweiz. Z. Forstwes. 1, 1–11.

Böll A. 1983: Lebendverbau bei der Sanierung von steilen Hängen. Schweiz. Z. Forstwes. 3, 167–177.

Böll A. 1997: Wildbach- und Hangverbau. Bericht der Eid. Forschungsanstalt WSL 343, 123 S.

Böll A. 2003: Überwachung und Unterhalt von Schutzmassnahmen. Kursunterlagen des Weiterbildungskurses 2003 in Gams SG. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), 28 S.

Böll A., Burri K., Graf F. 2008: Dokumentation/Analyse der Bewährung von biologischen und technischen Massnahmen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau (Eco Engineering), Projektbericht im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Zürich. (in Vorber.)

Burri K. 2006: Boden-Aggregatstabilität als Parameter zur Quantifizierung von Vegetationswirkungen auf oberflächennahe Bodenbewegungen. Diplomarbeit Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 110 S.

Eberhard A., Diezig R., Kan C., Siegrist B. 2007: Hydrologie Fliessgewässer. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 39–70.

Fäh R. 1997: Numerische Simulation der Strömung in offenen Gerinnen mit beweglicher Sohle. Mitteilung Nr. 153, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Frei M., Böll A., Graf F., Heinimann H.R., Springman S. 2003: Quantification of the influence of vegetation on soil stability. In: Lee C., Tham L.: Slope Engineering. Proc. Int. Conf., Dept. Of Civil Engineering, University of Hong Kong, 872–877.

Graf C., Böll A., Graf F. 2003: Pflanzen im Einsatz gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen. Merkbl. Prax. 37, 8 S.

Graf F., Frei M., Schwarz M., Böll A. 2006: Use and importance of mycorrhiza in site-specific restoration. Proceedings of «Soil Bioengineering: ecological restoration with native plants and seed material», Gumpenstein, 5–7 September 2006, 155–150.

Hager W.H.H. 1982: Die Hydraulik von Verteilkanälen, Teil 1: Theorie der Verteilkanäle. Mitt. Nr. 55, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 332 S.

Hirano M. 1971: River bed degradation with armoring. Proc. Japan Society of Civil Engineers, No. 195, pp 55–65.

Hunzinger L. 1998: Flussaufweitungen: Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung. Mitteilung Nr. 159, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Hunzinger L. 2007: Belastungstest Hochwasser 2005: Wie haben die Blockrampen standgehalten? Mitteilung Nr. 201, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich, 11 S.

IMPULS 2007: Unwetteranalyse vom August 2005 im Perimeter des forstlichen Verbauungs- und Aufforstungsprojektes Brienzer Wildbäche. Bericht z.H. Kanton Bern, Amt für Wald Abt. Naturgefahren. Thun, 7 S.

Jäggi M. 2006: Unwetter vom 22./23. August 2005 Schächen und Reuss. Bericht im Auftrag des Amts für Tiefbau des Kantons Uri (unveröffentlicht).

Jäggi M. 2006: Blockrampe Ettisbühl Malters, Hochwasser vom 22. August 2005, Ereignisanalyse, Sanierungsvorschläge. Bericht im Auftrag des Bau-, Umwelt- und Wirtschaftdepartements des Kantons Luzern (unveröffentlicht).

Jäggi M. 2007: Blockrampe an der Kander bei Mülenen, Hochwasser vom 22. August 2005, grobe Ereignisanalyse, Sanierungsvorschläge. Bericht im Auftrag des Fischereiinspektorats des Kantons Bern (unveröffentlicht).

Lange D., Bezzola G.R. 2006: Schwemmholz – Probleme und Lösungsansätze, Mitteilung Nr. 188, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Lange D. 2007: Blockrampen – ökologische Bauwerke zur Sohlenstabilisierung. Mitteilung Nr. 201, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich, 17 S.

Lehmann C., Gertsch E., Grasso A., Jakob A., Spreafico M. 2007: Feststoffbeobachtungen. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 149–161.

Meyer-Peter E., Müller R. 1948: Formulas for Bed-Load Transport. Second Meeting IAHSR, Appendix 2, Stockholm: 39–64.

Mordini M. 2007: Analyse der Wirksamkeit kombiniert technisch-biologischer Systeme zur Stabilisierung oberflächennaher Rutschungen in der Schwandrübi. Semesterarbeit Dept. Umweltwissenschaften, ETH, Zürich, 28 S.

Oeko-B AG / Niederer + Pozzi Umwelt AG 2006: Ereigniskataster Nidwalden Unwetter August 2005, Ereignisdokumentation im Auftrag des Kantons Nidwalden, Amt für Wald und Energie / Tiefbauamt.

Parker G. 1990: Surface-based bedload transport relation for gravel rivers. Journal of Hydraulic Research, 28(4), pp 417–436.

Raetzo H., Rickli R. 2007: Rutschungen. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 195–210.

Requena P., Bezzola G.R., Minor H.E. 2005: Aufweitungen in erodierenden Flüssen. In: Wasser Energie Luft, Heft 7/8, 97. Jahrgang S. 193–198.

Romer B. 2007: Sukzessionsprozesse und Bodenstabiliät in ingenieurbiologisch verbauten Flächen. Diplomarbeit ETH Zürich, 81 S.

Schwarz M. 2006: Development of vegetation and soil within the scope of bioengineering measures. Tesi di Laurea, Univerista degli Studi di Firenze Facolta di Agraria Corso di Laurea in Scienze Forestali Ambientali, 113 pp.

Smart G.M., Jäggi M.N.R. 1983: Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitt. Nr. 64, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, ETH Zürich, Zürich, 191 S.

SN 670 008 1997: Identifikation der Lockergesteine, Labormethoden mit Klassifikation nach USCS, 16 S.

Tiefbauamt Kanton NW 2005: Ereignisbericht August 2005 Kanton Nidwalden, Beilage zu den Schadensmeldungen (unveröffentlicht).

VAW 1991: Erfassung des Geschiebehaushalts der Engelberger Aa zwischen Grafenort und der Mündung in den Vierwaldstättersee und Prognosen für die zukünftige Sohlenentwicklung. Bericht Nr. 4020 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich (unveröffentlicht)

VAW 1995: Entlastung Reusskanal. Bericht Nr. 4065 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, ETH Zürich, Zürich (unveröffentlicht).

VAW 2007: Morphologische Entwicklungen von Flussaufweitungen. Bericht Nr. 4234. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, ETH Zürich, Zürich (unveröffentlicht).

VAW 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005: Bericht Nr. 4240, 4241, 4242. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, ETH Zürich, Zürich (in Vorbereitung).

Weibel T. 1985: Ingenieurbiologie – Beispiele über Planung und Ausführung. Schweiz. Z. Forstwes. 6, 457–467.

Zarn B. 1997: Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransport. Mitteilung Nr. 154, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Zürich.

Zeller J., Röthlisberger G. 1987: Lebensdauer von Holzsperren am Beispiel der Gamser Wildbäche. Bericht der Eidg. Forschungsanstalt WSL. 291, 33

8 > Massnahmen im Wirkungsgebiet

Die Unwetter vom 22./23. August 2005 bieten durch ihre grosse Ausdehnung erstmals die Gelegenheit, die Wirksamkeit von Objektschutz und raumplanerischen Massnahmen bezüglich Schadenminderung zu prüfen. Dazu werden Grundlagen dargestellt und mit Fallbeispielen verglichen. Darauf aufbauend werden Schlüsse für das Verhalten aller Akteure gezogen.

8.1 Einleitung

Raumplanung

Im Wirkungsgebiet geht es darum, mit geeigneten Massnahmen die Auswirkungen von auftretenden Ereignissen zu minimieren. Die wirkungsvollste Massnahme ist dabei die Raumplanung. Durch Nutzungsauflagen für potenziell gefährdete Gebiete wird das Vorhandensein von Objekten beeinflusst, die Schaden nehmen könnten. In Kap. 8.2 wird anhand der Erfahrungen beim Hochwasser vom August 2005 erläutert, inwiefern dieses Ziel erreicht werden konnte.

Objektschutz

Wie stark ein Objekt bei einem bestimmten Ereignis Schaden nimmt, hängt von seiner Verletzlichkeit ab. Diese kann mit Objektschutzmassnahmen oder mittels angepasster Nutzung massgeblich reduziert werden. In Kap. 8.3 werden solche Aspekte anhand von Fallbeispielen aus dem Hochwasser vom August 2005 analysiert.

8.2 Raumplanerische Umsetzung der Gefahrenkarte

Bettina Witmer, Roberto Loat

8.2.1 Einführung

Schutz vor Naturgefahren primär durch raumplanerische Massnahmen

Der Staat hat den gesetzlichen Auftrag, Menschen und hohe Sachwerte vor schädlichen Auswirkungen durch Naturgefahren zu schützen. Risiken können primär durch planerische, technische und organisatorische Massnahmen reduziert werden. Erste Priorität haben gemäss dem Bundesgesetz über den Wasserbau (WBG, 1991) raumplanerische Massnahmen. Deren Ziel ist es, das Schadenpotenzial in den Gefahrengebieten zu reduzieren, oder es zumindest nicht unkontrolliert steigen zu lassen.

Stand der Gefahrenkartierung

Wichtige Grundlage für die raumplanerischen Massnahmen sind die Gefahrenkarten. 2005 waren rund 30 % der benötigten Gefahrenkarten realisiert, etwa 50 % davon bereits in der Nutzungsplanung umgesetzt. Der Stand der Kartierung und Umsetzung variiert von Kanton zu Kanton sehr stark. Bis 2011 sollen die Gefahrenkarten gesamtschweizerisch vorliegen.

Erfolgskontrolle

Da über die Hälfte der Schweiz durch die Unwetter 2005 betroffen war, bietet sich nun erstmals eine Erfolgskontrolle an. Dabei interessieren besonders folgende Fragen:

- Konnten im Jahr 2005 dank raumplanerischen Massnahmen Schäden verhindert werden? Fallbeispiele?
- Welche konkreten Massnahmen haben sich in Bezug auf eine Schadensreduktion bewährt und welche Abläufe wirken unterstützend auf die optimale Umsetzung dieser Massnahmen?

Vorgehen

Mittels Interviews wurden die 12 Raumplanungsfachstellen der durch die Ereignisse von 2005 am stärksten betroffenen Kantone (AG, BE, FR, GL, GR, LU, NW, OW, SG, SZ, UR, ZG) zur Umsetzung der Gefahrenkarten befragt und Fallbeispiele ausgewertet.

Begriffsklärung

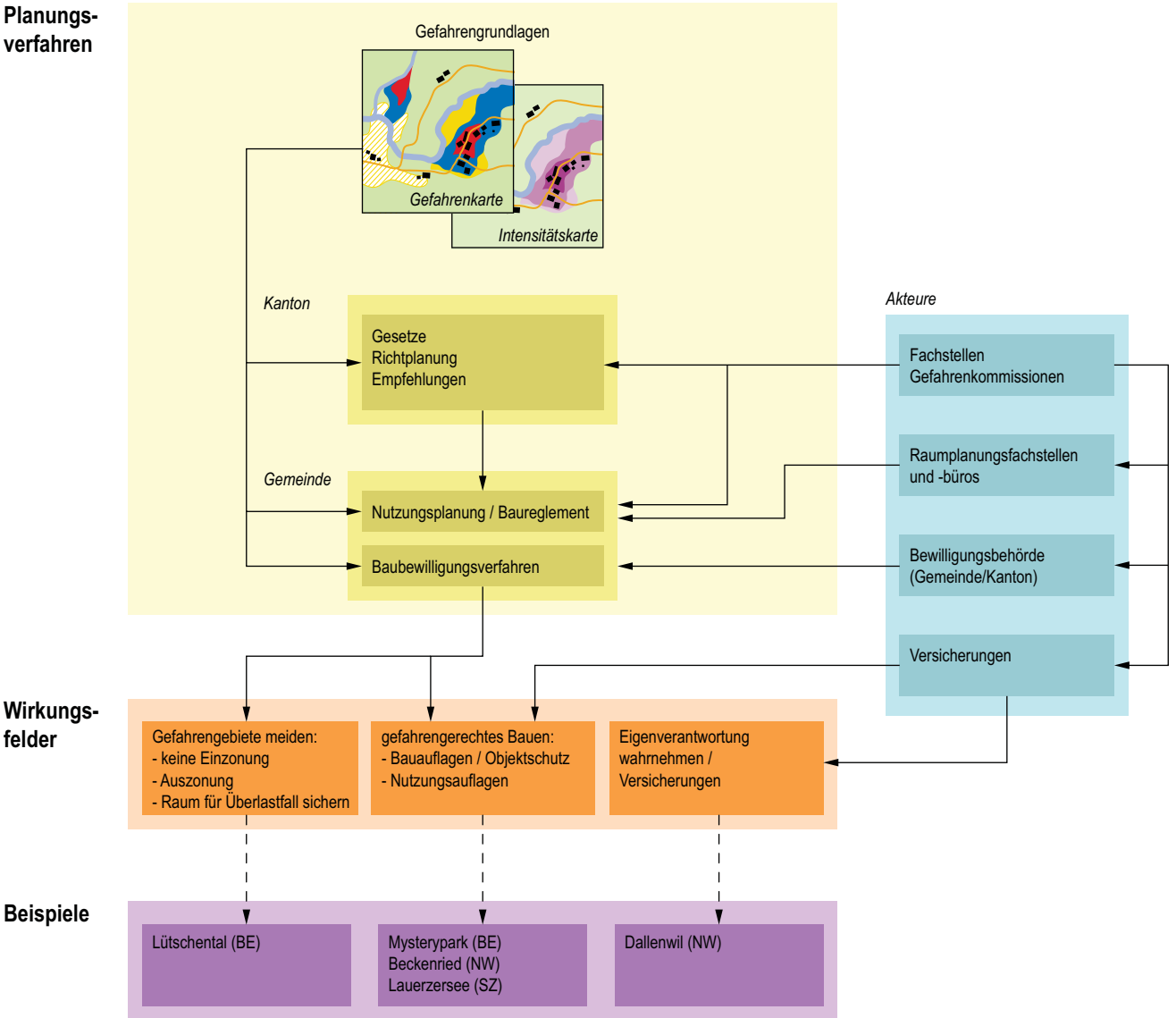
In dieser Untersuchung umfasst der Begriff Umsetzung alle raumplanerischen Massnahmen, die aufgrund der Gefahrenkarte auf den verschiedenen Stufen vom Kanton über die Gemeinden bis hin zur Projektrealisation ausgelöst werden. Es handelt sich im Wesentlichen um die Richtplanung, Nutzungsplanung und das Baubewilligungsverfahren sowie die dazugehörigen rechtlichen und verfahrenstechnischen Schritte.

8.2.2 Die Raumplanung: Grundlagen, Akteure und Wirkungsfelder

Akteure und Verfahren

Die Abb. 8.1 zeigt vereinfacht, welche Akteure bei der Umsetzung der Gefahrenkarte beteiligt sind, welche wichtigsten Verfahren bei der Umsetzung angewandt werden und wo die Raumplanung schliesslich ihre Wirkung entfalten kann. Die verschiedenen Verfahren (Richtplan-, Nutzungsplan- und Baubewilligungsverfahren) regeln die verbindliche Umsetzung der Gefahrenkarten mit den notwendigen Massnahmen.

Abb. 8.1 > Ablaufschema zur Umsetzung der Gefahrengrundlagen in die Raumplanung und deren Wirkungsfelder.



8.2.3 Grundlagen in den Kantonen und Gemeinden

Berücksichtigung der Gefahrengrundlagen

Die Kantone haben die vom Bund übertragene Aufgabe, die Gefahrengrundlagen bei raumwirksamen Tätigkeiten zu berücksichtigen (WaV Art.15, 1992; WBV Art. 21, 1994). Der Vollzug wird je nach Kanton in unterschiedlichen Gesetzen mehr oder weniger detailliert geregelt (vgl. Tab. 8.1). Zusätzlich werden in den betrachteten Kantonen die gesetzlichen Rahmenbedingungen, Grundsätze, Aufträge und Zuständigkeiten verbindlich im kantonalen Richtplan festgehalten.

Gesetzeslücken schliessen

Einzig in den Kantonen SG, SZ und AG fehlte bisher eine eindeutige Regelung auf gesetzlicher Stufe. Diese Kantone sind deshalb gegenwärtig daran, die notwendigen rechtlichen Voraussetzungen zu schaffen.

Der Kanton SG stellte bis anhin im Richtplan ausführlich dar, wie die vorhandene Gesetzgebung auf Naturgefahren anzuwenden ist. Bis 2011 ist eine Revision des Baugesetzes geplant und auch im kantonalen Wasserbaugesetz soll das Thema Naturgefahren bis 2008 verankert werden (Thürlemann, 2007).

Der Kanton SZ kennt in seinem Planungs- und Baugesetz (PBG) zurzeit weder eine Kompetenznorm noch ausführliche Bestimmungen zum Schutz vor Naturgefahren. Der § 54 im PBG verlangt in einer allgemeinen Form, dass Bauten und Anlagen so zu erstellen und unterhalten sind, dass sie weder Personen noch Sachen gefährden. Im Rahmen der laufenden PBG-Revision sollen die Grundsätze der Umsetzung von Naturgefahrenkarten in die Raumplanung festgehalten werden. In § 20 im neuen Planungs- und Baugesetz (nPBG) wird festgehalten, dass Gefahrenzonen auf Basis der vom Kanton erstellten Gefahrenkarten in der kommunalen Nutzungsplanung ausgeschieden werden. Zudem soll neu ein Paragraph in die kantonale Verordnung zum Bundesgesetz über den Wald aufgenommen werden, welcher den Inhalt der Gefahrenkarte, das Verfahren sowie die Kosten für deren Erarbeitung regelt (Schmid, 2007).

Im Kanton AG tritt im Zuge des neuen Gebäudeversicherungsgesetzes die Fremdänderung des Baugesetzes auf 1.1.2008 in Kraft. Mit dieser Änderung erhalten die Gemeinden die Möglichkeit, Gefahren- und Überflutungszonen in der Nutzungsplanung auszuscheiden. Der Regierungsrat regelt die Details über die Anforderungen an Bauten in Bezug auf die Sicherheit vor Naturgefahren (Tschannen, 2007).

In den Kantonen BE, FR, GL, GR, NW, OW, UR und ZG standen den Gemeinden bereits vor 2005 Richtlinien, Empfehlungen oder Merkblätter zur Umsetzung der Gefahrenkarte in die Nutzungsplanung zur Verfügung. Darin werden z. B. die Darstellung der Gefahrenzonen im Nutzungsplan, die Festlegung der Bauzonen oder die Bestimmungen im Baureglement thematisiert.

Die Kantone AG, LU und der Kanton SZ sind daran, eine solche Arbeitshilfe auszuarbeiten, der Kanton SG hat seine Empfehlung 2007 veröffentlicht. Im Kanton GL werden die bestehenden Richtlinien momentan überarbeitet.

Tab. 8.1 > Gesetzliche Regelung zum Thema Naturgefahren in der Gesetzgebung der betrachteten Kantone.

	Gesetzgebung				
	Bau/Raumplanung	Wald/Forst	Wasser	Versicherung	Sonstige Regelungen
AG					
BE					
FR					
GL					
GR					
LU					
NW					
OW					
SG					
SZ					
UR					
ZG					

Grün: Gesetzliche Regelung zum Thema Naturgefahren in entsprechendem Gesetz vorhanden
Weiss: Keine gesetzliche Regelung zum Thema Naturgefahren im entsprechendem Gesetz vorhanden

8.2.4 Überführung in die Nutzungsplanung

Nutzungen parzellengenau festlegen

Auf der kommunalen Stufe überführt die Gemeinde die nach wissenschaftlichen Kriterien erarbeiteten Gefahrenkarten in die Nutzungsplanung. Im Zonenplan und den dazu gehörenden Vorschriften des Bau- und Zonenreglements legt sie die zulässigen Nutzungen des Bodens parzellengenau und grundeigentümerverbindlich fest.

Nutzungsplanverfahren: Gefahrenhinweismodell und Gefahrenzonenmodell sind gleichwertig

Es wird zwischen zwei Nutzungsplanverfahren unterschieden:

- **Gefahrenhinweismodell**
  Die Gemeinden tragen im Zonenplan Gefahrenhinweisgebiete ein und erlassen im Bau- und Zonenreglement allgemein gehaltene Vorschriften. Erst im Rahmen eines Baugesuchs werden dann detaillierte Auflagen festgelegt (Bsp. BE, FR, SG).
- **Gefahrenzonenmodell**
  Die Gemeinden scheiden im Zonenplan grundeigentümerverbindliche Gefahrenzonen aus und erlassen im Bau- und Zonenreglement Vorschriften (alle anderen Kantone).

Aus der Analyse der Kantone zeigt sich, dass die Übergänge von einem Modell zum anderen fliessend sind und die Qualität der Umsetzung nicht vom gewählten Modell abhängig ist.

Gefahrenkarte möglichst unverändert in Gefahrenzonen überführen

Gefahrenkarten sollten möglichst unverändert in den Zonenplan überführt werden. Bei der Festlegung von Gefahrenzonen kann es aber in begründeten Fällen zu Änderungen der Gefahrengebiete kommen. Die Gefahrenkarte ist eine nach objektiven Kriterien erarbeitete wissenschaftliche Grundlage. Die Umsetzung der Gefahrenkarte in die Nutzungsplanung ist dagegen ein politischer Prozess, bei dem gewisse Problem-

bereiche diskutiert werden können und in Grenzfällen Ausnahmen möglich sind. Solche Entscheide müssen aber begründet und dokumentiert werden.

Gefahrenkommissionen bewähren sich

Im Kanton GR ist die Gefahrenkommission für diesen Umsetzungsschritt verantwortlich. Sie scheidet (in Zusammenarbeit oder in Absprache mit der Gemeinde) basierend auf den Gefahrenkarten die Gefahrenzonen aus. Die Gemeinde muss die von der Gefahrenkommission ausgeschiedenen Gefahrenzonen in die Nutzungsplanung (Zonenpläne) übernehmen. Die Gefahrenzonen unterliegen der öffentlichen Mitwirkung und sind anfechtbar. Erst mit der regierungsrätlichen Genehmigung der Nutzungsplanung treten die Gefahrenzonen in Kraft, respektive entfalten die Bestimmungen des kantonalen Raumplanungsgesetzes ihre rechtliche Wirkung. Die Kantone UR und NW kennen einen ähnlichen Vollzug.

Planungszonen erlassen

In der neuen Arbeitshilfe des Kantons SG (Kanton St.Gallen, 2007) wird festgehalten, dass zuerst mit einem Massnahmenkonzept (aktive und passive Massnahmen) alle Handlungsoptionen geprüft und evaluiert werden sollen. Für eingezonte Flächen, die ganz oder zum überwiegenden Teil unüberbaut sind und die in der Gefahrenkarte als Gebiet mit erheblicher Gefährdung (rot) eingestuft sind, kann die Gemeinde innert drei Monaten nach Vorliegen der Gefahrenkarte eine Planungszone erlassen. Damit soll verhindert werden, dass das Gebiet überbaut wird, bevor ein Massnahmenkonzept mit allfälligen Nutzungsbeschränkungen vorliegt.

Umsetzung dauert sehr lange

Problematisch ist die lange Zeitspanne, die für die Umsetzung benötigt wird. Die Zeitdauer hängt von der Kadenz der Nutzungsplanrevision, der Art der Umsetzung (Gefahrenzonenmodell, Gefahrenhinweismodell), der erhobenen Einsprachen, den kantonalen Fristen und vom politischen Willen der Gemeinde ab. Die Umsetzung der Gefahrenkarte dauert im günstigsten Falle ca. 6 Monate, im schlechtesten Fall können Jahre vergehen: Da bei der Nutzungsplanung verschiedene Interessen berücksichtigt werden müssen und das Ganze ein Prozess ist, an dem viele verschiedene Akteure beteiligt sind, kann sich das Verfahren über längere Zeit hinziehen.

Umsetzung beschleunigen

Zur Beschleunigung der Umsetzung setzen die Kantone BE und SG in ihren Richtplänen eine Frist von 2 Jahren fest. Die anderen Kantone kennen bisher keine Fristen.

Bauvorschriften im Baureglement regeln

Zur Nutzungsplanung gehört auch das Baureglement. Die meisten Kantone stellen den Gemeinden Mustertexte zur Verfügung, welche die grundeigentümerverbindlichen Vorschriften für das Bauen in Gefahrenzonen bzw. -gebieten regeln. Die Kantone LU, AG und SZ sind daran, solche Mustertexte zu erarbeiten, im Kanton SG werden keine Vorgaben gemacht.

Gefahrengebiete meiden

Die Tab. 8.2 zeigt, wie in den Kantonen der Umgang mit Gefahrengebieten gehandhabt wird. Es fällt auf, dass sich die kantonalen Vorgaben stark ähneln und dass bei der Einzonung neuer Baugebiete auf die Gefahrensituation Rücksicht genommen wird.

Tab. 8.2 > Übersicht über den Umgang mit den Gefahrengebieten.

	nicht eingezont, unüberbaut	eingezont, unüberbaut	eingezont, überbaut
rotes Gefahrengebiet	Keiner der untersuchten Kantone erlaubt Neueinzonungen	Alle Kantone verlangen eine Um- oder Auszonung	Es gilt die Bestandsgarantie. In den Kantonen BE, UR und OW kann die Bauzone bestehen bleiben. Die Kantone FR, GL und GR verlangen eine Auszonung.
blaues Gefahrengebiet	In allen Kantonen wird zurückhaltend eingezont	Die Kantone BE, GL, OW, SG, UR verlangen nach Möglichkeit eine Um- oder Auszonung	Wird in allen Kantonen in der Bauzone belassen
gelbes Gefahrengebiet Restgefährdung	Kann in allen Kantonen als Bauzone ausgeschieden werden		

8.2.5 Berücksichtigung der Gefahrengrundlagen im Baubewilligungsverfahren

Auflagen formulieren

Im Baubewilligungsverfahren stellt die zuständige Behörde sicher, dass ein Baugesuch die Vorschriften der Gemeinde und das übergeordnete Recht einhält. Es können Auflagen (Objektschutzmassnahmen, Nutzungsbeschränkungen usw.) formuliert oder Baugesuche abgelehnt werden (ARE et al. 2005). Im Normalfall wird erst auf dieser Stufe konkret entschieden, welche Auflagen notwendig sind.

Akteure frühzeitig einbeziehen

Die Erfahrung aus den Ereignissen 2005 zeigt, dass ein transparentes Baubewilligungsverfahren mit dem frühen Einbezug aller beteiligten Akteure (Bauherr, Architekt, Gebäudeversicherung, Naturgefahrenexperten) und der klaren Formulierung der Auflagen einen wesentlichen Beitrag zu einer erfolgreichen Umsetzung der Gefahrengrundlagen leistet (vgl. Fallbeispiel Beckenried/Mystery Park).

Aktuelle Grundlagen verwenden

Die Analyse der Fallbeispiele hat ebenfalls bestätigt, dass im Baubewilligungsverfahren immer die neuesten Erkenntnisse – insbesondere wenn die Gefahrengrundlagen in Überarbeitung sind – verwendet werden sollen, auch wenn der Nutzungsplan noch nicht angepasst wurde. Zum Beispiel erstellte im Kanton BE der Oberingenieurkreis I nach dem Augusthochwasser 2005 Prozessraumkarten (von Wassergefahren betroffene Fläche, ohne Angabe der Intensitäten), welche ab dem 29. Mai 2006 zwingend bei allen raumwirksamen Tätigkeiten zu berücksichtigen sind, bis die Überarbeitung der Gefahrenkarten abgeschlossen ist. Alle Baugesuche, welche innerhalb dieser Prozessräume liegen, müssen der kantonalen Fachstelle vorgewiesen werden. Die Prozessraumkarte hat den Status einer provisorischen Gefahrenkarte (OIK I Kanton Bern, 29.5.2006).

Bauabnahme vorsehen

Es obliegt der Gemeinde, die Auflagen bei der Bauabnahme zu kontrollieren. Werden diese Kontrollen nicht konsequent durchgeführt, kann ihre Wirkung nicht garantiert werden. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die kommunalen Baubewilligungsbehörden oft durch die Komplexität der Materie und die fehlenden Ressourcen überfordert sind (Gammeter, 2007; Loup, 2007). Dies führt dazu, dass in den grossen

blauen und gelben Zonen, die Umsetzung der Erkenntnisse aus der Gefahrenbeurteilung in konkrete Bauauflagen oft ungenügend häufig und nur schleppend erfolgt. Weil gerade in diesen Zonen jeweils ein grosser Anteil der Schäden entsteht, verdient dieser Umstand besondere Beachtung.

Versicherungen spielen eine entscheidende Rolle

In einigen Kantonen unterstützen die Gebäudeversicherungen diese Kontrollen. Im Kanton NW zeigt eine noch laufende Untersuchung der Nidwaldner Sachversicherung (NSV), dass sorgfältig geplante Objektschutzmassnahmen nicht exakt ausgeführt und kontrolliert wurden und so 2005 trotz allen Vorkehrungen Schäden entstanden sind. Die Nidwaldner Sachversicherung hat deshalb die «Vereinbarung bezüglich Versicherungsleistung» eingeführt. Darin wird die volle Versicherungsdeckung im Schadensfall an die fachgerechte Ausführung der Objektschutzmassnahmen bzw. die Auflagen der Baubewilligung geknüpft. Damit erhält der Objektschutz für Bauherren eine grössere Bedeutung und deren Interesse an einer einwandfreien Ausführung der Massnahmen erhöht sich beträchtlich.

8.2.6 Wirkungsfeld «Gefahrengebiete meiden»

Grundsatz

Die beste Vorsorge besteht darin, Gefahrengebiete zu meiden. So sollen wenn immer möglich keine neuen Bauzonen in gefährdeten Gebieten ausgeschieden werden. Bei bereits eingezonten, aber noch unüberbauten Gebieten sind Um- oder Auszonungen zu prüfen. Die Ereignisse von 2005 haben gezeigt, dass Nutzungserweiterungen in blauen Gefahrengebieten nur zurückhaltend zugelassen werden dürfen bzw. neue Nutzungen zu vermeiden sind, insbesondere wenn Alternativen an weniger gefährdeten Standorten zur Verfügung stehen.

8.2.6.1 Beispiel Lütschental (BE)

Ausgangslage

Die Gemeinde Lütschental wollte 2004 zwei Flächen von insgesamt 2500 m² in die Bauzone einzonen. Da es sich bei diesen Vorhaben um eine Zonenplanänderung handelte, war das Amt für Gemeinden und Raumordung des Kantons Bern (AGR) für die Vorprüfung und Genehmigung zuständig.

Abwägungen

Dem Amt diente als Grundlage für seine Abwägungen der Zonenplan von Lütschental aus dem Jahre 2002 mit Hinweisen auf die Inhalte der Gefahrenkarte (Abb. 8.2). Beide geplanten Vorhaben befinden sich in blauem Gefahrengebiet, wie dies die Gefahrenkarte (Abb. 8.3) und auch der Zonenplan deutlich zeigen.

Entscheid

Nach Prüfung der beiden Gesuche und einer Begehung vor Ort kam das AGR zu folgendem Entscheid:

«Aus folgenden Gründen besteht keine Aussicht auf eine entsprechende Umzonung:

- *Gemäss Art. 21 Abs. 2 RPG werden Nutzungspläne erst überprüft und nötigenfalls angepasst, wenn sich die Verhältnisse wesentlich geändert haben.*

> *Die Revision der Ortsplanung Lütschental wurde am 4. Juli 2002 genehmigt. Eine Änderung der Planung nach rund zwei Jahren seit der Genehmigung widerspricht der Planbeständigkeit von Nutzungsplänen.*
> *Die Begehung vor Ort und die nochmalige Prüfung Ihres Gesuches haben gezeigt, dass sich an unserer Gesamtbeurteilung keine Änderung ergibt – im Gegenteil! – zusätzlich relevant ist:*
Neueinzonungen gemäss ständiger Praxis von Bund und Kanton im blauen Gefahrengebiet nur in Ausnahmefällen ausgeschieden werden können (z. B. schliessen von Baulücken oder im Randbereich eines Gefahrengebietes).»

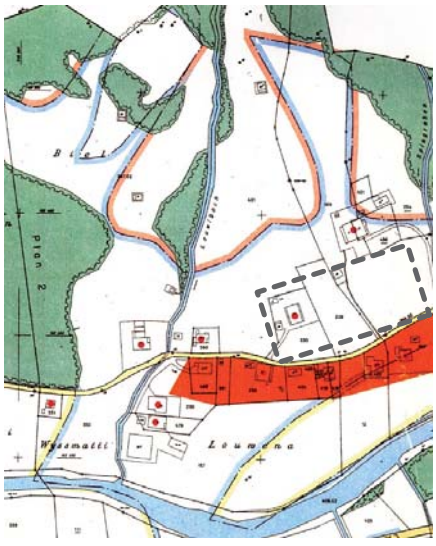
Dank der Nichteinzonung konnten Schäden verhindert werden

Die zuständige Fachstelle des Kantons Bern hat in diesem Falle die vom Bund geforderte Massnahme, nämlich nach Möglichkeit keine Ausscheidung neuer Bauzonen in blauem Gefahrengebiet zuzulassen, konsequent umgesetzt. Dass diese Massnahme sinnvoll war, haben die Unwetter im August 2005 gezeigt. Die der Nutzungsplanung zugrunde liegende Gefahrenkarte stimmte mit der Prozessraumkarte (Abb. 8.4) des Ereignisses 2005 überein. Die Parzellen, für welche eine Umzonung beantragt worden war, wurden von den Ereignissen betroffen, wie es die Gefahrenkarte aufzeigte.

Transparentes Verfahren

Um die Transparenz für alle Gesuchssteller zu erhöhen, hat der Kanton Bern die Bestimmungen zum Umgang mit Gefahrengebieten in der Zonenplanung im kantonalen Richtplan neu festgehalten.

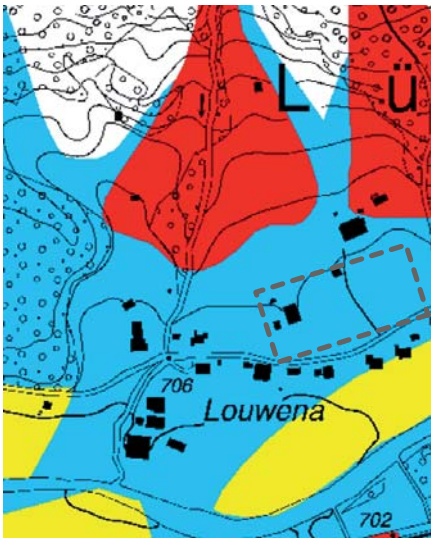
Abb. 8.2 > Ausschnitt Zonenplan Lütschental 2002.



WG2 Wohn- und Gewerbezone
LWZ Landwirtschaftszone
Wald

Quelle: Steiner & Buschor , 2002

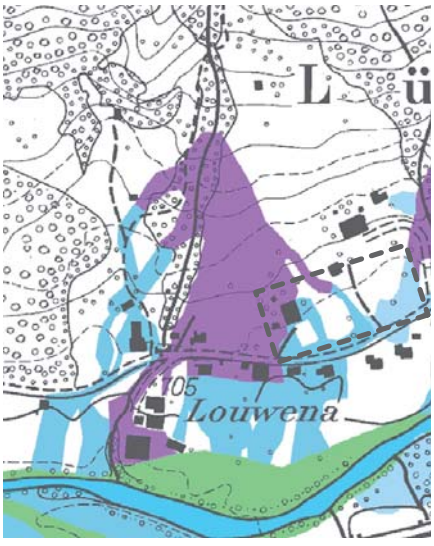
Abb. 8.3 > Ausschnitt Gefahrenkarte Lütschental.



geringe Gefährdung
mittlere Gefährdung
erhebliche Gefährdung

Quelle: Geotest, 2000, OIK I, Thun

Abb. 8.4 > Ausschnitt Prozessraumkarte Lütschental.



Erosion
Übersarung
Überflutung dynamisch
Murgang

Quelle: Flotron Ingenieure , 2006

8.2.7 Wirkungsfeld «Gefahrengerechtes Bauen»

Grundsatz

Im bereits weitgehend überbauten Raum sind Neubauten in blauen und gelben Gefahrengebieten zulässig, sofern mit Bau- und Nutzungsauflagen die Risiken insgesamt nicht erhöht werden.

8.2.7.1 Beispiel Mysterypark (BE)

Ausgangslage

Beim Bau des Mysteryparkes hält die Einwohnergemeinde Matten bereits in der Überbauungsordnung (UeO) Ändermoos «Die grossen Rätsel dieser Welt» im Art. 6 fest, dass für das Areal eine gewisse Überflutungsgefahr durch die Lütschine bestehe. Deshalb sei bei der Planung der Bauten und Anlagen rechtzeitig die Gefahrenkarte zu konsultieren. Allfällige durch die Bauträgerschaft zu treffende bauliche Massnahmen an den Bauten und Anlagen innerhalb des Überbauungsperimeters seien mit dem Oberingenieurkreis I des kantonalen Tiefbauamts (OIK I), welches die Massnahmen festlegt, abzusprechen.

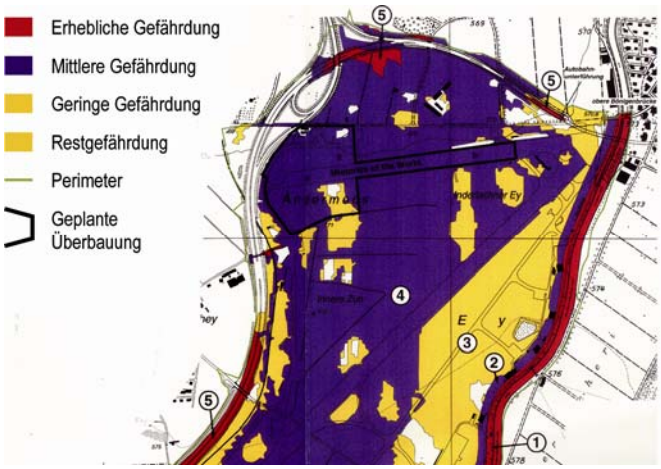
Neubau mit Auflagen

Das OIK I stellt in seinem Mitbericht zur Vorprüfung fest, dass die Überbauungsordnung Ändermoos «Die grossen Rätsel dieser Welt» gemäss der Gefahrenkarte (Abb. 8.5) zum überwiegenden Teil im Bereich «mittlere Gefährdung» (Gefahrenstufe blau), zu einem kleinen Bereich «geringe Gefährdung» (Gefahrenstufe gelb) und somit im Grenzbereich Gebotsbereich/Hinweisbereich liegt. Es erbittet um eine möglichst frühzeitige Kontaktaufnahme seitens der Projektverfasser zur Festlegung der detaillierten Bauauflagen.

Auflage: Geländeanpassungen

Im November 2000 wurden alle bezüglich Überflutungsgefährdung relevanten Anlageteile gemeinsam durch die Fachstelle Hochwasserschutz und die Mystery Park AG im Detail überprüft und die entsprechenden minimalen Höhenkoten und die weiteren Details festgelegt. Diese Festlegungen sind für die Detailplanung verbindlich.

Abb. 8.5 > Gefahrenkarte Bödeli Matten/Wilderswil, Wassergefahren (1999).



Quelle: Lehmann, 1999

Abb. 8.6 > Orthophoto des Mysteryparkes, überlagert mit Prozessraumkarte 2005.

Quelle: OIK I, Bern

Die auf Grund der Gefahrengrundlagen getroffenen Massnahmen, die Höherlegung des Terrains und eine den Wassergefahren angepasste Bauweise, schützten den Mysterypark im August 2005 vor grossen Schäden, wie dies in Abb. 8.6 klar zu sehen ist.

Dank der Bauauflagen konnten Schäden verhindert werden

8.2.7.2 Beispiel Beckenried (NW)

In Beckenried sollte 2002 auf einer Parzelle, welche sich im Einflussgebiet des Seehochwassers und in der Überflutungszone des Sumpfbaches befindet, ein Haus renoviert werden.

Ausgangslage

Gemäss gängiger Praxis des Kantons Nidwalden muss bei Um- oder Neubauten der Bauherr oder die Gemeinde zuerst im Zonenplan abklären, ob das Bauvorhaben in einer Gefahrenzone liegt. Liegt die Parzelle in der Gefahrenzone 1 (erhebliche Gefährdung) oder 2 (mittlere Gefährdung), müssen der Baubewilligung ein Nachweis der Naturgefahren und der geplanten Schutzmassnahmen beigelegt werden.

Nachweis der Schutzmassnahmen durch den Bauherrn

Nachdem das Gemeindebauamt Beckenried den Zonenplan konsultiert hat, ersucht es die Baudirektion um eine Vorprüfung. Betreffend Naturgefahren nimmt diese im Mai 2002 wie folgt Stellung:

Auflage: Objektschutz

- *«Aufgrund der Gefahrenkarte See ist sicherzustellen, dass ein permanenter Schutz bis auf Kote 435.05 (100-jährliches Ereignis) eingehalten wird. Ausserdem ist ein temporärer Schutz (300-jährliches Ereignis) bis auf Kote 435.25 sicherzustellen. Der Wellenschlag ist zu diesen Koten zusätzlich mit zu berücksichtigen.*
- *Auf Grund der geringen Höhendifferenz empfehlen wir bis zum 300- jährlichen Ereignis einen permanenten Schutz zu realisieren.»*

Nach einer Besprechung mit dem zuständigen Architekten, dem Bauherrn und dem Kantonsingenieur ersucht das Gemeindebauamt Beckenried im August 2002 die Fachkommission Naturgefahren um ein Gutachten. Diese nimmt zum Bauvorhaben Stellung und formuliert am 19. September 2002, gestützt auf die Beurteilung der Fachkommission Naturgefahren und einer Besprechung zwischen dem Architekten und der Sachversicherung Nidwalden (NSV), Auflagen zum baulichen und temporären Objektschutz für ein 300-jährliches Ereignis.

Einbezug der kantonalen Naturgefahrenfachstelle

Die Baudirektion erteilt, gestützt auf Art. 157 und 159 des kantonalen Baugesetzes sowie im Sinne von Art. 168 des kant. Strassengesetzes, ihre Bewilligung für das Bauvorhaben, unter der Auflage, dass die Bedingungen der Fachkommission Naturgefahren einzuhalten sind (Baudirektion Kanton Nidwalden, 20.9.2002).

Bewilligung mit Auflagen

Der Gemeinderat Beckenried bewilligt Ende 2002 das Bauvorhaben mit folgendem Vermerk betreffend Naturgefahren:

- *«Die Begutachtung durch die Fachkommission Naturgefahren mit den Bedingungen und Auflagen im Sinne «Stabilität der Fassaden» sowie «Baulicher Objektschutz» bildet einen wesentlichen Bestandteil dieses Beschlusses.»*

Abb. 8.7 > Gebäude am Vierwaldstättersee in Beckenried während des Hochwassers.

Foto: NSV Nidwalden

Dank der Bauauflagen konnten Schäden verhindert werden

Dank der sorgfältigen Planung und Ausführung der angeordneten Objektschutzmassnahmen und der Unterstützung der Sachversicherung Nidwalden blieb dieses Gebäude beim Hochwasser 2005 schadensfrei (Abb. 8.7).

8.2.7.3 Beispiel Lauerz (SZ)

Mindestbaukote gegen Seehochwasser

Die besiedelte Fläche in Lauerz reicht in weiten Teilen des Gemeindegebietes bis an den gleichnamigen See. Die meisten seenahen Gebäude bestehen seit mehreren Jahrzehnten. Bereits anfangs der 1990er Jahre wurde beurteilt, dass der See so hoch ansteigen könnte, dass Baugebiete überschwemmt würden. Im Baureglement von 1994 wurde daher eine Mindestbaukote von 449.50 m ü. M. aufgenommen. Beim Hochwasser von 1999 erreichte der Seepegel einen damals als Jahrhunderthöchststand bezeichnete Höhe von 449.16 m ü. M. Im Jahr 1999 erachtete man deshalb die im Baureglement genannte Kote als ausreichend.

Baukote wird überschritten und muss erhöht werden

Das Hochwasser von 2005 liess den Lauerzersee jedoch auf eine noch nie erreichte Kote von 449.65 m ü. M. ansteigen. Da mit diesem Hochwasserstand auch noch unbebaute Parzellen betroffen waren, erhöhte man die Mindestbaukote auf eine derzeit gültige Höhe von 450.25 m ü. M. (Gemeindekanzlei Lauerz, 2007).

Es verbleibt stets ein Restrisiko!

Im Vergleich zu der 1994 relativ hoch gesetzten Mindestbaukote erreichte das Hochwasser 2005 einen noch nie da gewesenen Pegel. Das Beispiel zeigt, dass der Festlegung von Mindestbaukoten Grenzen gesetzt sind. Es kann ein grösseres Hochwasser kommen, das die Dimensionierungswerte übersteigt (Überlastfall). Es ist daher immer mit einem Restrisiko zu rechnen.

8.2.8 Wirkungsfeld «Eigenverantwortung wahrnehmen / Versicherungen»

Versicherungen können die Eigenverantwortung fördern

In bereits besiedelten Gebieten sind die Eigentümer auf die Gefahren und mögliche Schutzvorkehrungen im Sinne der Eigenvorsorge aufmerksam zu machen. Eine zentrale Rolle kommt dabei den Versicherungen zu. Sie können z. B. durch Beratung und Förderungsinstrumente die Eigenverantwortung der Betroffenen und damit auch die Umsetzung von Schutzmassnahmen wirkungsvoll unterstützen.

8.2.8.1 Beispiel Dallenwil (NW)

Risikobeurteilung

Eine für das Kraftwerk Dallenwil erstellte Risikobeurteilung veranlasste die Verantwortlichen, das Werk mit Hilfe von Objektschutzmassnahmen besser zu schützen.

Temporäre Massnahmen

Die Massnahmen wurden auf eine Wiederkehrdauer eines 100-jährlichen Hochwassers dimensioniert. Wasserbauliche Massnahmen (Damm der Engelberger Aa) schützen vor einem 30-jährigen Hochwasser. Die Schutzmassnahmen sind temporär und umfassen die Abriegelung der Türen und Tore (Abb. 8.9 und Abb. 8.13). Die Schutzmassnahmen wurden im Frühling 2004 geplant und realisiert. Die Kosten für die Schutzmassnahmen beliefen sich auf rund 15’000 CHF, die durch die Nidwaldner Sachversicherung mitgetragen wurden. Die Arbeiten wurden durch das Kraftwerk in Eigenregie ausgeführt.

Abb. 8.8 > Kraftwerk Dallenwil während des Unwetters 2005.

Foto Schweizer Luftwaffe

Abb. 8.9 > Kraftwerk Dallenwil mit Objektschutzmassnahme.

Foto: Nidwaldner Sachversicherung

Das Kraftwerk Dallenwil (NW) wurde am 22. August 2005 von der Engelberger Aa überschwemmt (Abb. 8.8). Der Gesamtschaden betrug ca. 24'000 CHF. Dank den Objektschutzmassnahmen (Abb. 8.9 und Abb. 8.13) konnte beim Unwetter 2005 nach Angaben der Nidwaldner Sachversicherung ein potenzieller Schaden von über 6 Mio. CHF an Gebäude und Anlagen verhindert werden, Betriebsunterbruch nicht mit eingerechnet (vgl. ausführliche Darstellung dieses Fallbeispiels Kap. 8.3).

Mit 15'000 CHF über 6 Mio. CHF Schaden verhindert

8.2.9 Folgerungen

Wegen der geringen Datenbasis konnte die Wirksamkeit der raumplanerischen Massnahmen nicht flächendeckend statistisch überprüft werden. Anhand einzelner Fallbeispiele konnte aber gezeigt werden, dass sich mit Hilfe von raumplanerischen Massnahmen Schäden vermeiden lassen.

Raumplanerische Massnahmen helfen Schäden zu vermeiden

Gefahrenkarten eignen sich als Instrument für die Raumplanung und können technisch meist ohne grössere Probleme umgesetzt werden. Die Intensitätskarten sind äusserst wichtige Grundlagen für die Formulierung wirksamer Auflagen für Objektschutzmassnahmen.

Gefahren- und Intensitätskarten erforderlich

Die Gefahrenkarten sind nach Fertigstellung umgehend im Rahmen von Baubewilligungsverfahren zu berücksichtigen auch wenn sie noch nicht verbindlich in der Nutzungsplanung umgesetzt wurden. Das gleiche gilt sinngemäss nach Unwetterereignissen. Die Gefahrenkarten sind rasch zu überprüfen und den neuen Erkenntnissen anzupassen. Beim Wiederaufbau ist es wichtig, sich auf diese neuen Grundlagen zu stützen. Auflagen (Nutzungs-, Bauauflagen) bis hin zu Bauverboten zur Risikoreduktion sind zu prüfen.

Wiederaufbau nur nach Klärung der Gefahrensituation

Problematisch ist die lange Zeitspanne, die für die Umsetzung der Gefahrenkarten in die Nutzungsplanung benötigt wird. Sie kann im besten Fall ca. sechs Monate dauern, im schlechtesten Fall können Jahre vergehen. Bewährt hat sich im Kanton BE und SG die Festlegung einer Frist von zwei Jahren. Voraussetzung für eine rasche Umsetzung auf kommunaler Ebene ist eine klare Kompetenzenregelung und die Integration aller beteiligten Fachstellen in ein koordiniertes Verfahren.

Kompetenzen und Verfahren regeln, Fristen setzen

Um die Wirksamkeit raumplanerischer Massnahmen nachweisen zu können, ist eine Erfolgskontrolle nötig. In den wenigsten Gemeinden oder Kantonen besteht eine Übersicht über getroffene Massnahmen wie Nichteinzonungen, Umzonungen, Nutzungsauflagen oder Objektschutzmassnahmen und deren Wirksamkeit. Im Kanton NW ist momentan die Gebäudeversicherung daran, eine Überprüfung der Objektschutzmassnahmen durchzuführen.

Erfolgskontrollen durchführen

Dank Objektschutzmassnahmen können Schäden erfolgreich verhindert werden. Aber auch sie haben nur eine begrenzte Wirkung. Es gilt dem Überlastfall genügend Beachtung zu schenken, wie das Beispiel Lauerz (SZ) illustriert.

Überlastfall berücksichtigen

Bei gut prognostizierbaren Intensitäten wie Seehochstände oder Überflutungshöhen ist die Festlegung von adäquaten Objektschutzmassnahmen durch den Planer und die

Fachexperten beiziehen

Baubewilligungsbehörde möglich. Passende Objektschutzmassnahmen können auch bereits im Baureglement der Gemeinden festgesetzt werden. Bei komplexen Prozessen und -kombinationen ist der Beizug von Fachexperten (Naturgefahren, Bauingenieur), die die Massnahmen im Einzelfall festlegen, unabdingbar. Bewährt hat sich beispielsweise im Kanton NW der frühe Einbezug der kantonalen Gebäudeversicherung und die enge Zusammenarbeit mit dem Bauherren und Architekten bereits während der Projektphase eines Bauvorhabens.

Planerische Massnahmen fördern und Risiken vermehrt beachten

Vor allem in Bereichen der mittleren und geringen Gefährdung zeigte sich, dass trotz umgesetzten Gefahrenkarten grosse Schäden entstanden sind. Dies mag damit zusammenhängen, dass entweder die Gefahren unterschätzt wurden oder in den betroffenen Gebieten nicht alle Massnahmen bereits realisiert worden sind. Künftig sollte gerade in Bereichen mit mittlerer aber auch geringer Gefährdung vermehrt die Realisierung von Massnahmen an neuen wie auch an bestehenden Bauten gezielt gefördert werden, wenn ein hohes Risikopotenzial besteht (Industrie- und Dienstleistungszonen, Grossüberbauungen). Gebäudeversicherungen können dabei eine Schlüsselrolle einnehmen.

Versicherungen wichtiger Partner

Zu oft werden bei bestehenden Bauten Objektschutzmassnahmen erst nach einem Schadensereignis ergriffen. Hier müssen Lösungen gefunden werden, um die Realisierung zumutbarer Schutzmassnahmen vor einem Ereignis zu beschleunigen. Erfolg versprechen Beratung und Unterstützung durch die Versicherungen. Einige kantonale Gebäudeversicherungen unterstützen Eigentümer mit finanziellen Beiträgen, wenn sie bestehende Gebäude mit Objektschutzmassnahmen sichern. Es muss zudem geprüft werden, ob und wie die Versicherungen bereits in das Baubewilligungsverfahren eingebunden werden könnten.

8.3 Verletzlichkeit, Objektschutz und Nutzung

Pierre Vanomsen, Thomas Egli

8.3.1 Einführung

Beim Hochwasserereignis 2005 resultierte eine grosse Anzahl Schäden an Gebäuden und deren Inhalt. Ein wesentlicher Grund hierfür sind die relativ grosse Verletzlichkeit der Gebäude, fehlende Objektschutzmassnahmen oder eine der Gefahrensituation nicht angepasste Nutzung.

Ziel der Untersuchung

Bezüglich der bei Ereignissen zu erwartenden Einwirkungen und Belastungen bestehen teilweise beträchtliche Unschärfen. Zudem sind die Erfahrungen über den Widerstand von Tragstrukturen und Gebäudehüllen bei Einwirkungen durch Naturprozesse begrenzt. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist eine Überprüfung der Verletzlichkeit von Gebäuden in Bezug auf die aufgetretenen Intensitäten der Gefahrenprozesse und damit eine Erweiterung der diesbezüglichen Erfahrungen.

Weiter wurden Massnahmen zum Schutz von Gebäuden, die vom Ereignis 2005 betroffen waren, hinsichtlich ihrer Funktionstüchtigkeit beurteilt um daraus Schlüsselfaktoren für einen erfolgreichen Objektschutz zu ermitteln.

Als Teil der Objektschutzmassnahmen gelten auch Umnutzungen von Gebäuden bzw. Gebäudeteilen. Deshalb wurden auch Umnutzungen bezüglich ihrer Wirksamkeit analysiert und untersucht, unter welchen Voraussetzungen solche Massnahmen ergriffen werden.

8.3.2 Verletzlichkeit der Gebäude

Die Verletzlichkeit von Gebäudetragwerken wird in Bezug auf die aufgetretenen Einwirkungen durch die Gefahrenprozesse überprüft. Die Einwirkung wird für ganze Siedlungen anhand der Intensitätskarte dargestellt oder bei Einzelgebäuden mit verschiedenen einfachen Modellen abgeschätzt und mit baustatischen Berechnungen verglichen. Daraus ergibt sich eine Bandbreite der möglichen Belastungen.

Auswahl der Fallbeispiele

Die gewählten Fallbeispiele umfassen aufgetretene Gefahrenprozesse, welche durch das Unwetter verursacht wurden. Dargestellt werden die Fallbeispiele Brienz BE (Murgang) und Vitznau LU (Hangmure). In Egli Engineering (2008) finden sich darüber hinaus die Fallbeispiele Oey BE (Übersarung), Kien BE (Übersarung), Gersau SZ (Hangmure), Alpnachstad OW (Hangmure), Schüpfheim LU (Hangmure), Entlebuch LU (Rutschung), Wohlhusen LU (Ufererosion) und Diemtigtal BE (Ufererosion).

8.3.2.1 Fallbeispiel Siedlung Brienz

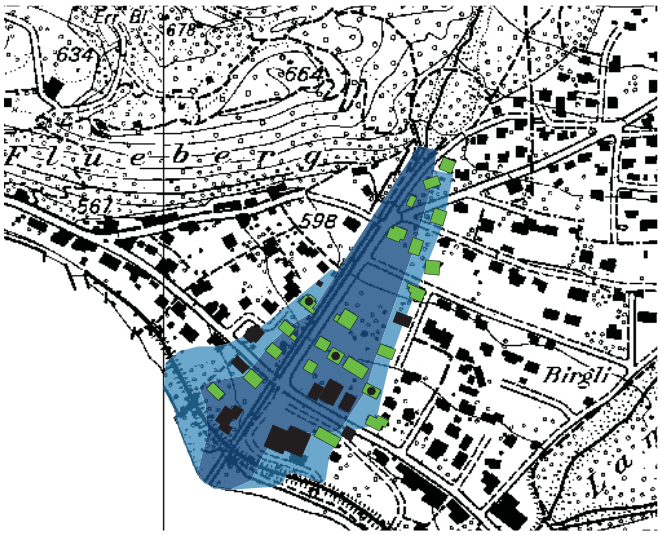
Die starken Niederschläge im August 2005 führten zu Rutschungen im Einzugsgebiet des Glyssibaches. In der Folge kam es in der Nacht vom 22. auf den 23. August zu einem Murgang, der das Dorf Brienz schwer traf (NDR Consulting Zimmermann und Niederer + Pozzi AG, 2006).

Vergleich von Tragwerksschäden und aufgetretenen Intensitäten

Untersucht wird das räumliche Auftreten von Tragwerksschäden an Gebäuden im Vergleich zur Intensitätskarte der Übermurung beim Ereignis 2005. Gebäude mit Tragwerksschäden weisen eine verkippte, fehlende oder beschädigte Tragkonstruktion auf. Die Einteilung der Gebäude mit und ohne Tragwerksschaden erfolgt durch Flück (2007). Die Intensitätskarte des Ereignisses ist eine Abschätzung aufgrund von Feldkenntnissen und Bildern (Zimmermann, 2007). Die Grenzwerte der Intensität richten sich nach den Bundesempfehlungen (BWW et al., 1997).

Abb. 8.10 > Intensitätskarte der Übermurung (Zimmermann, 2007) und Gebäude mit einem Tragwerksschaden durch den Murgang in Brienz (Flück, 2007).

Die angegebenen Intensitätsstufen beziehen sich auf Übermurung gemäss BWW, BRP, BUWAL (1997).



Tragwerksschäden im Bereich starker und mittlerer Intensitäten

Unter Berücksichtigung der mit der Einschätzung der Intensitäten verbundenen Unschärfe kann die Übereinstimmung der Intensitätskarte mit den aufgetretenen Gebäudeschäden als gut bezeichnet werden (Abb. 8.10). Nur wenige beschädigte Gebäude befinden sich am äusseren Rand des Bereichs mittlerer Intensitäten.

Inhomogene Verteilung der Tragwerksschäden

Die Verteilung der Tragwerksschäden folgt keinem klaren Muster. Tragwerksschäden kommen in beiden Intensitätsklassen vor, auch blieben im Bereich der starken Intensität Gebäude ohne Beschädigung. Ein möglicher Grund für die inhomogene

Verteilung der Tragwerksschäden könnte sein, dass die Nachbargebäude die unversehrten Gebäude geschützt haben. Auch die durch den Murgang mittransportierten Blöcke haben selektiv massive Schäden verursacht, wie die Ereignisanalyse zeigt (NDR Consulting Zimmermann und Niederer + Pozzi AG, 2006).

8.3.2.2 Fallbeispiel Schreinerei Vitznau

Am 22. August 2005 beschädigte eine Hangmure die bergseitige Fensterfront einer Schreinerei. Das langsame Losrutschen der Erdmasse wurde bemerkt und Sofortmassnahmen konnten eingeleitet werden. Diese bestanden darin, dass Schalungstafeln vertikal, im Doppel und von aussen vor die Fensterfront gestellt wurden. Der Erfolg war gering: nur das rechte wenig angestaute Fenster blieb intakt. Die beiden anderen wurden eingedrückt (Abb. 8.11und Abb. 8.12).

Vergleich von Tragwiderstand und Erddruck

Die Einwirkung wird aufgrund der äusserst geringen Geschwindigkeit der Hangmure mit dem Erdruhedruck charakterisiert. Dieser stellt den tiefsten anzunehmenden Wert dar. Mit Hilfe von baustatischen Berechnungen wird abgeschätzt, wie gross die Druckwerte bis zum Versagen der Schalungstafeln sind. Die Druckwerte hängen von den Stauhöhen ab, welche bei allen drei Fenstern unterschiedlich sind.

Abb. 8.11 > Aufstau der Erdmassen an der bergseitigen Wand.

Minimale Belastung: Statischer Erddruck

Der statische Erddruck ist der minimale Druck, der auf die bergseitige Wand wirken kann, falls eine dynamische Komponente unberücksichtigt bleibt. Die Berechnung des Erddrucks nach Lang et al. (2007) ergibt einen maximalen Druck auf Terrainhöhe von 19 kN/m². Die Fensterfront befindet sich rund 0.2 m über der Terrainhöhe, somit beträgt der maximale Ruhedruck für das linke Fenster 17 kN/m². Für das mittlere Fenster resultiert ein Druck von 12 kN/m² und für das rechte Fenster ein Wert von 8 kN/m².

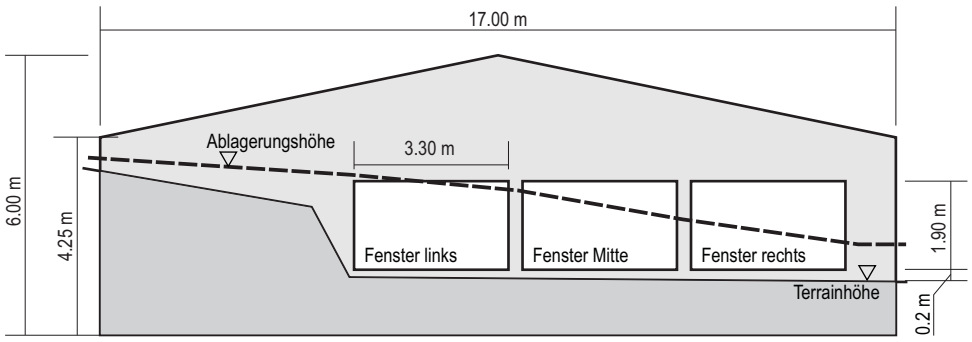
Maximale Belastung: Bruchlast der Schaltafeln

Die unterschiedlichen Stauhöhen an den Schaltafeln sowie deren Verhalten lassen eine Abschätzung des maximalen Druckes zu. Als Annahme wird die mittlere Biegebruchspannung der Schaltafel mit 36 N/mm² veranschlagt. Das Versagen der Schaltafeln am linken und am mittleren Fenster muss bei einem Druck von mehr als 45 kN/m² stattgefunden haben. Ab einem Druck von 75 kN/m² hätte mit einem Versagen aller Tafeln gerechnet werden müssen.

Eingrenzung der aufgetretenen Belastung

Aus den baustatischen Berechnungen kann geschlossen werden, dass die Hangmure mit einem Druck grösser 45 kN/m² und kleiner 75 kN/m² auf die bergseitige Wand gewirkt hat. Die Druckwerte aus dem Erdruhedruck ohne Berücksichtigung der dynamischen Komponente ergeben zu geringe Werte, um ein Versagen des linken und mittleren Fensters zu verursachen.

Abb. 8.12 > Bergseitige Wand mit Ablagerungshöhe.



8.3.3 Objektschutz an Gebäuden

Allgemeines Vorgehen

Der Objektschutz an Gebäuden wird exemplarisch anhand erfolgreicher und fehlgeschlagener Vorkehrungen dargestellt und die Schlüsselfaktoren für einen funktionierenden Schutz bestimmt. Im Weiteren wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Schutzvorkehrungen ermittelt.

Auswahl der Fallbeispiele

Die gewählten Fallbeispiele stammen aus Regionen mit Gebäudeeigentümern mit Hochwassererfahrung. Vorangegangene Ereignisse wie beispielsweise das Hochwasser 1999 sind für die Gebäudeeigentümer Auslöser gewesen, vor Herbst 2005 Objektschutzmassnahmen zu ergreifen. Gezeigt werden das Fallbeispiel Dallenwil und eine zusammenfassende Darstellung aus dem Kanton Nidwalden. Weitere Fallbeispiele finden sich in Egli Engineering (2008).

8.3.3.1 Fallbeispiel Wasserkraftwerk Dallenwil

Art der Massnahme

Das Areal des Kraftwerks Dallenwil wurde am 22. August 2005 von der Engelberger Aa überschwemmt. Die vorbereiteten und während des Ereignisses eingesetzten temporären Schutzmassnahmen umfassten die Abriegelung der Türen und Tore mit Betonschutzschilder (Abb. 8.13).

Abb. 8.13 > Objektschutzmassnahmen am Wasserkraftwerk Dallenwil.

Foto: Nidwaldner Sachversicherung

Zuverlässigkeit der Objektschutzmassnahmen

Die Zuverlässigkeit wird beurteilt anhand der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit nach den SIA Normen 260 und 261 (Romang, Margreth, 2007). Die Betonschilder wurden 0.6 m eingestaut. Die Oberkante lag damit über dem maximalen Wasserspiegel vom August 2005. Die Tragsicherheit der Massnahme war somit gegeben. Die Betonschilder konnten im August 2005 zeit- und fachgerecht installiert werden, womit auch die Gebrauchstauglichkeit gegeben war. Der langfristige Betrieb der Schutzmassnahme und somit deren Dauerhaftigkeit ist gesichert, da der Kraftwerksbetrieb eine eigene Abflussmessstation mit Alarmauslösung besitzt und über einen permanenten Pikettdienst verfügt, der jederzeit einsatzbereit ist. Die Objektschutzmassnahme weist somit insgesamt eine hohe Zuverlässigkeit auf.

Nutzen-Kosten-Analyse

Im betrachteten Fall ist das Schadenpotenzial sehr gross. Der 2005 verhinderte Schaden beträgt nach Angaben der Nidwaldner Sachversicherung (Meier, 2006) 5.5 bis 6.0 Mio. CHF. Diese verhinderten Schäden setzen sich aus potenziellen Gebäudeschäden von 0.5 bis 1.0 Mio. CHF und potenziellen Anlagenschäden von rund 5 Mio. CHF zusammen. Der Stromunterbruch durch eine allfällige Lahmlegung des Betriebes hätte zusätzliche Schäden in Millionenhöhe verursacht.

Die Objektschutzmassnahmen wurden auf die Überflutungstiefe bei einem 100-jährlichen Hochwasser bemessen. Die derzeit vorhandenen wasserbaulichen Massnahmen in Form eines Dammes entlang der Engelberger Aa verhindert im heutigen Zustand lediglich die Ausuferung des Flusses bis zu einem 30-jährlichen Hochwasser.

Bei der Nutzen-Kosten-Analyse wird die Reduktion des jährlichen Schadenserwartungswerts (Risikominderung infolge der Massnahme) den annuisierten Kosten (Jahreskosten der Massnahme) gegenübergestellt. Die Betrachtung erfolgt dabei über die erwartete Lebensdauer der Massnahme, die im vorliegenden Fall mit 50 Jahren veranschlagt wird. Die Grundlagen für die präsentierte Nutzen-Kosten-Analyse sind in Tab. 8.3 zusammengestellt. Bezüglich einer detaillierteren Beschreibung des Vorgehens sei beispielsweise auf Egli (2005) verwiesen.

Tab. 8.3 > Grundlagen für die Nutzen-Kosten-Analyse des Objektschutzes am Kraftwerk Dallenwil.

Schadensgrenze ohne Objektschutz	HQ_{30}
Schadensgrenze mit Objektschutz	HQ_{100}
Schadenspotenzial bei HQ_{100}	5.5 Mio. CHF
Lebensdauer Objektschutzmassnahme	50 Jahre
Kosten Objektschutzmassnahme	15'000 CHF

Nutzen

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Objektschutzmassnahme innerhalb der nächsten 50 Jahre zum Einsatz kommt, ohne dass Schäden, eintreten beträgt 43 %. Dies entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb der nächsten 50 Jahre der Spitzenabfluss eines 30- jährlichen Hochwassers überschritten, derjenige eines 100-jährlichen Hochwassers jedoch nicht übertroffen wird. Mit dem Schadenspotenzial von 5.5 Mio. CHF bei einem 100-jährlichen Hochwasser ergibt sich durch die Objektschutzmassnahme eine Reduktion des jährlichen Schadenserwartungswertes (Risikominderung) und somit ein Nutzen von 23'650 CHF. Angenommen wird dabei ein linearer Anstieg der Schäden, ausgehend von der Schadensgrenze beim 30-jährlichen Hochwasser.

Kosten

Die Kosten für die Schutzmassnahmen belaufen sich auf rund 15'000 CHF. Bei einer Lebensdauer des Bauwerks von 50 Jahren und der Verzinsung der Investition mit 3 % betragen die jährlichen Kosten 583 CHF.

Grosse Kostenwirksamkeit der Objektschutzmassnahme

Der Vergleich der jährlichen Kosten von 583 CHF mit dem jährlichen Nutzen von 23'650 CHF zeigt ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0.02, was aus wirtschaftlicher Sicht als sehr lohnend bezeichnet werden kann. Würden die Schadenskosten, die durch einen Betriebsunterbruch des Kraftwerks entstehen, in die Rechnung miteinbezogen, wäre das Verhältnis noch günstiger und die Objektschutzmassnahmen noch attraktiver.

8.3.3.2 Fallbeispiel Kanton Nidwalden

Objektschutzmassnahmen an Neubauten

Alle Neubauten, welche in den Jahren 2000 bis 2005 im ganzen Kanton Nidwalden erstellt wurden und im potenziellen Überflutungsbereich des Vierwaldstättersees liegen, mussten aufgrund gesetzlicher Vorgaben Objektschutzmassnahmen ergreifen. Die gesetzlichen Bestimmungen stützen sich auf den maximalen Seestand des Jahres 1999. Abb. 8.14 zeigt den Schadensbetrag, der trotz der Schutzmassnahmen entstanden ist. Die Auswertung beruht auf der Betrachtung von insgesamt 70 Gebäuden.

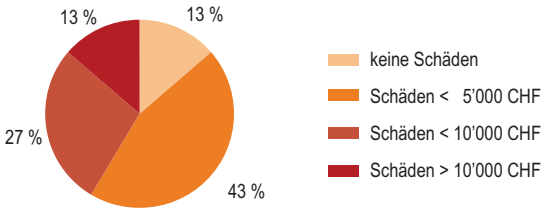
Dank Objektschutz geringe Schäden

Abb. 8.14 zeigt, dass die Schäden dank der getroffenen Objektschutzmassnahmen relativ gering ausgefallen sind. Bei 87 % der Fälle sind die an den einzelnen Gebäuden eingetretenen Schäden kleiner als 10'000 CHF. Ein durch Überschwemmung verursachter Gebäudeschaden im Jahr 2005 beträgt hingegen durchschnittlich rund 37'000 CHF (VKF, 2008).

Nur bei 9 der 70 betrachteten Gebäude kam es 2005 zu keinen Schäden. Die absolute Schadensfreiheit kommt somit mit 13 % nur selten vor. Der Grund ist einerseits der hohe Seespiegel des Vierwaldstättersees beim Ereignis 2005, der deutlich über dem

Seestand des Jahres 1999 lag. Andererseits verlangen Objektschutzmassnahmen eine konsequente Kontrolle bei der Planung und Umsetzung, da die realisierten Massnahmen erst im Ernstfall auf ihre Tauglichkeit geprüft werden können und der kleinste Mangel bereits zum Schaden führt.

Abb. 8.14 > Schadensklassierung an 70 Neubauten mit Objektschutzauflagen im Kanton Nidwalden.



Quelle: Meier, 2006

8.3.4 Umnutzung von Räumlichkeiten im Gebäude

Umnutzung als organisatorische Objektschutzmassnahme

Die Umnutzung ist eine organisatorische Objektschutzmassnahme, sie kann permanent sein (der Umzug ist definitiv und wird auch nach dem Ereignis belassen) oder temporär (der Umzug ist nur kurzfristig, nach dem Ereignis wird er rückgängig gemacht). Es werden die auslösenden Faktoren und entscheidenden Akteure für die Umnutzung bestimmt und die Wirksamkeit der Massnahme geprüft.

Auswahl der Fallbeispiele

Die Fallbeispiele umfassen Umnutzungen, die vor oder nach dem Ereignis 2005 getätigt wurden. Die dargestellten Fallbeispiele umfassen eine permanente Umnutzung von Teilen eines Büro- und Geschäftshauses in Luzern und eine temporäre Umnutzung von Teilen eines Wohnhauses in Bern. In Egli Engineering (2008) finden sich weitere Beispiele für eine permanente Umnutzung.

8.3.4.1 Fallbeispiel Büro- und Geschäftshaus Luzern

Verlegung der EDV Zentrale ins Obergeschoss

Die EDV-Zentrale eines Bankgeschäftes befand sich bis zum Ereignis 1999 im 3. Untergeschoss. Sie wurde während des Hochwassers in das 4. Obergeschoss verlegt und dort belassen. Aus der temporären Umnutzung wurde mit entsprechend baulichen Aufwendungen eine permanente Umnutzung. Neben der EDV-Zentrale wurde der nicht wasserdichte Tresorraum vom Untergeschoss temporär ins Obergeschoss verlegt und nach dem Hochwasser 1999 ausgelagert.

Die Umnutzung erfolgte auf Eigeninitiative der Geschäftsleitung der Bank mit dem Ziel, Schaden und Betriebsunterbruch zu verhindern. Von Behörden- oder Versicherungsseite wurden keine Auflagen gemacht.

Hohe Kosten der permanenten Umnutzung

Der Umzug der EDV-Zentrale in das 4. Obergeschoss verursachte Kosten von mehr als 100’000 CHF. Die Umnutzung war eingebettet in umfangreiche temporäre und permanente bauliche Objektschutzmassnahmen. Die Objektschutzmassnahmen und die Um-

nutzung sind aus wirtschaftlicher Sicht aufgrund des hohen Schadenpotenzials und der hohen Eintretenswahrscheinlichkeit gerechtfertigt (BWG, 2004).

Die Massnahmen bewährten sich beim Hochwasser 2005 und der Betrieb der Bankfiliale konnte aufrechterhalten werden.

Hohe Zuverlässigkeit

8.3.4.2 Fallbeispiel Wohnhaus Bern

Das Wohn- und Bürogebäude befindet sich in Bern im Mattenquartier unmittelbar neben der Aare und ist regelmässig vom Hochwasser betroffen. Beim Ereignis 2005 wurden temporär verschiedene elektronische Messinstrumente im Umfang von rund 200'000 CHF vom Erdgeschoss in das Obergeschoss umgezogen. Der Eigentümer handelte aus eigener Motivation. Der Aufwand für die temporäre Umnutzung betrug rund 6 Arbeitsstunden. Dank der temporären Umnutzung konnten die Messinstrumente gerettet werden.

Geringe Kosten
der temporären Umnutzung

8.3.5 Folgerungen

8.3.5.1 Verletzlichkeit der Gebäude

Der *Murgang* in Brienz hat mit aller Deutlichkeit gezeigt, dass im Bereich starker Intensitäten mit Tragwerksschäden an Gebäuden gerechnet werden muss. Dies deckt sich mit den Bundesempfehlungen (BWW et al., 1997). Allerdings kam es auch im Bereich mittlerer Intensität zu Schäden am Tragwerk von Gebäuden, was sich nur bedingt mit den Empfehlungen deckt.

Murgang:
gute Übereinstimmung
mit den Bundesempfehlungen
bei starken Intensitäten

Die Ermittlung der Einwirkung durch *Hangmuren* auf Gebäude ist – wie die untersuchten Fallbeispiele zeigen – mit erheblichen Unschärfen verbunden. Die gleichzeitige Anwendung unterschiedlicher Methoden (Ermittlung der Belastung über den morphologischen Prozess, bzw. den Tragwiderstand betroffener Gebäudeteile) erlaubt eine Eingrenzung der aufgetretenen Belastungen. Die resultierenden Bandbreiten verdeutlichen jedoch den grossen Forschungsbedarf im Bereich der quantitativen Beschreibung des Prozesses und dessen Einwirkungen auf Gebäude. Ein Vergleich der aufgrund der Schadenwirkung abgeschätzten Intensitäten mit den Grenzwerten der Intensitäten gemäss der Bundesempfehlungen (Lateltin, 1997) zeigt dennoch eine relativ gute Übereinstimmung, vorausgesetzt die Bausubstanz ist solide.

Hangmure:
Übereinstimmung
mit den Bundesempfehlungen
bei guter Bausubstanz und
erheblicher Forschungsbedarf

Die *Übersarung* wird in den Empfehlungen des Bundes nicht als eigentlicher Gefahrenprozess ausgewiesen, da sie immer mit einer dynamischen Überschwemmung auftritt. Das Potenzial der Übersarung als Verursacher von Tragwerksschäden ist vorhanden, wie die im Rahmen der Studie untersuchten Fallbeispiele zeigen. Es ist daher sinnvoll, bei Gerinnen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von Geschiebeablagerung im technischen Bericht zur Gefahrenbeurteilung darauf hinzuweisen.

Übersarung:
Hinweis im technischen Bericht
zur Gefahrenkarte

Das Ausmass der Schäden an Gebäuden, die beim Ereignis 2005 durch Rutschung oder Ufererosion verursacht wurden, deckt sich mit den Grenzenwerten der Intensitätsklassen der Bundesempfehlungen.

Rutschung, Ufererosion: Übereinstimmung mit den Bundesempfehlungen

8.3.5.2 Objektschutz an Gebäuden

Die untersuchten Fallbeispiele zeigen, dass Objektschutz eine wirksame Massnahme zur Schadensminderung darstellt. Die Schlüsselfaktoren für einen wirkungsvollen Objektschutz lassen sich aus den Fallbeispielen ableiten. Entscheidend sind die richtige Einschätzung der Gefährdungsszenarien und insbesondere der möglichen Intensitäten sowie eine sorgfältige Planung und vollständige Realisierung der Massnahmen.

Objektschutz ist wirkungsvoll, muss aber sorgfältig geplant und Realisiert werden

Objektschutzmassnahmen können – v. a. bei Neubauten – ohne grosse Mehrkosten realisiert werden und tragen erheblich zur Minderung der Risiken bei. Objektschutz ist somit aus wirtschaftlicher Sicht sehr lohnend. Sorgfältige Planung und Kontrolle durch Sachverständige sind aber nötig, da im Ereignisfall bereits der kleinste Mangel zum Schaden führt. Die Kontrolle wird sinnvollerweise von einer externen Stelle durchgeführt, so z. B. von einer kantonalen Stelle, der Kantonalen Gebäudeversicherung oder einer externen Prüfungsstelle.

Planung und Kontrolle nötig, denn der «Teufel steckt im Detail»

Nachträgliche Ausbesserung von Fehlern bei der Planung oder Realisierung und auch Objektschutzmassnahmen an bestehenden Bauten weisen häufig ein relativ ungünstiges Nutzen-Kosten-Verhältnis auf. Dennoch kann eine Realisierung der Massnahme sinnvoll sein, denn der Nutzen kann im Gegensatz zu den Kosten oft nur unvollständig monetarisiert werden.

Nachträglicher Objektschutz ist aufwändig

Jeder Schutzmassnahme sind letztlich Grenzen gesetzt. Im Überlastfall soll das Versagen einer Objektschutzmassnahme möglichst graduell erfolgen. Für den Hochwasserfall ist es beispielsweise denkbar, die Überflutung innerhalb eines Gebäudes durch Bildung von Kompartimenten – ähnlich wie beim Brandschutz – zu verzögern. Damit kann im Überlastfall zusätzliche Zeit gewonnen werden und allenfalls die Schadensentwicklung begrenzt werden.

Überlastfall auch bei Objektschutzmassnahmen

8.3.5.3 Umnutzung von Räumlichkeiten im Gebäude

Voraussetzung einer erfolgreichen Umnutzung ist eine entsprechende Vorbereitung sowie die Präsenz entsprechend instruierter Personen, die diese Arbeiten übernehmen können. Temporäre Umnutzung wird als Notmassnahme bei Hochwasserereignissen häufig praktiziert, jedoch nur selten dokumentiert.

Temporäre Umnutzung

Permanente Umnutzungen machen Sinn, wenn die Vorwarnzeit kurz ist, bewegliche Sachwerte nicht kurzfristig in sichere Teile des Gebäudes (Obergeschoss) verlegt oder aus dem Gebäude evakuiert werden können oder eine Beschädigung unter allen Umständen verhindert werden muss (z. B. bei Kulturgütern). Das ist der Fall bei sehr hohem Schadenspotenzial und zentral bei Infrastrukturen, welche im Ernstfall eine wichtige Funktion haben. In diesen Fällen sind auch die hohen Kosten gerechtfertigt, welche durch die permanente Umnutzung entstehen.

Permanente Umnutzung

8.4 Erkenntnisse

Raumplanung und Objektschutz grundsätzlich bewährt

Sowohl raumplanerische Massnahmen als auch der Objektschutz und Umnutzungen haben beim Hochwasser vom August 2005 ihr Potenzial zur günstigen Beeinflussung des Schadenspotenzials deutlich belegt. Allerdings sind die positiven Beispiele bis heute noch Einzelfälle. Deshalb sind wesentliche Anstrengungen nötig, damit das volle Potenzial dieser Massnahmen ausgenutzt werden kann.

Beschleunigung der Verfahren notwendig

Auch wenn Gefahrenkarten unmittelbar nach ihrer Realisierung im Rahmen der Baubewilligungsverfahren erste Wirkung erzielen, geht ihre Umsetzung in die Raumplanung heute oft noch zu lange. Entsprechend sind Massnahmen zur Beschleunigung der Verfahren und zur besseren Koordination der Amtsstellen notwendig.

Objektschutz bedingt sorgfältige Planung und Ausführung

Beim Objektschutz liegt der Teufel im Detail. Die Massnahmen müssen sorgfältig geplant, ausgeführt und fachkundlich kontrolliert werden, damit nicht kleine Unachtsamkeiten trotzdem zum Schadenseintritt führen. Basis für die Planung von Objektschutzmassnamen bilden geeignete Grundlagen, die aus der Gefahrenbeurteilung abgeleitet werden können. Die Umsetzung dieser Grundlagen in konkrete Massnahmen bedingt die Sensibilisierung und Ausbildung der Planer und Baufachleute. Welchen Beitrag entsprechende Normen leisten können, ist in Folgeprojekten zu klären.

Anreize durch Versicherungen

Bei der Umsetzung der Gefahrenkarten und insbesondere bei der Realisierung von Objektschutzmassnahmen oder Umnutzungen spielen Anreize für die Eigentümer eine wesentliche Rolle. Hier können Versicherungen durch eine entsprechende Ausgestaltung von Versicherungspolicen massgebliche Beiträge leisten.

Literatur:

ARE, BWG, BUWAL 2005: Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren, Bern.

Bundesamt für Wasser und Geologie BWG 2004: Hochwasservorsorge. Bericht des BWG, Serie Wasser Nr.6, Bern.

BWW, BRP, BUWAL 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Egli T. 2005: Wegleitung, Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bern.

Egli Engineering 2008: Bericht zum Teilprojekt «Schadenanalyse Unwetter 2005, Untersuchungen zur Verletzlichkeit von Gebäuden und der Wirksamkeit des Objektschutzes». St. Gallen.

Flotron Ingenieure 2006: Hochwasser August 2005, Prozessraumkarte, Massstab 1:5'000. im Auftrag von: Tiefbauamt Kanton Bern, OIK I, Meiringen.

Flück P. 2007: Angaben zur Verteilung der Tragwerkschäden an Gebäuden in Brienz. Briefliche Mitteilung vom September 2007.

Gammeter M. 2007: Mündliche Mitteilung zum kommunalen Baubewilligungsverfahren im Kt. Nidwalden vom 2.11.06.

Gemeindekanzlei Lauerz 2007: Mündliche Mitteilung zu Mindestbaukoten in Lauerz vom 12.7.07.

Lang H.-J., Huder J., Amann P. 2007: Bodenmechanik und Grundbau. 8., ergänzte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York: 336 S.

Lateltin O. 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Loup B. 2007: Mündliche Mitteilung zum kommunalen Baubewilligungsverfahren im Kt. Fribourg vom 21.1.07.

Meier B. 2006: Wirkung von Objektschutzmassnahmen. Erfahrungen aus dem Unwetter August 2005. Vortrag. Nidwaldner Sachversicherung, Stans.

NDR Consulting Zimmermann, Thun; Niederer + Pozzi AG, Uznach 2006: Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Glyssibach. Bericht zum Vorprojekt, im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Bern: 44 S.

Romang H, Margreth S. 2007: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Einzelprojekt A3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.

Schmid T. 2007: Mündliche Mitteilung zur Ramplanung im Kt. Schwyz vom 9.10.2007.

Steiner & Buschor Ingenieure und Partner AG 2002: Gemeinde Lütschental. Zonenplan, Genehmigungsexemplar, Massstab 1:2'000, im Auftrag des Kantons Bern. Burgdorf.

Thürlemann B. 2007: Mündliche Mitteilung zur Raumplanung im Kt. St. Gallen vom 24.9.2007.

Tschannen M. 2007: Mündliche Mitteilung zur Raumplanung im Kt. Aargau vom 31.10.2007.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherung VKF 2008: Elementarschäden an Gebäuden, Vergleich über 10 Jahre. *http://www.kgvonline.ch/downloads.asp?pid=2&p=63* (20.03.2008)

Zimmermann M. 2007: Nachträgliche Schätzung der Intensitäten der Übermurung in Brienz. NDR Consulting, Thun, unveröffentlicht.

9 > Intervention und Instandstellung

Bei aussergewöhnlichen Naturereignissen wird mit der Intervention das Ziel verfolgt, Personenschäden zu verhindern und Sachschäden zu begrenzen. Bei der anschliessenden Instandstellung geht es um die Erstellung einer angemessenen Sicherheit vor Naturgefahren, aber auch um die Gewährleistung von Infrastrukturen. In diesem Kapitel werden die beim Hochwasser vom August 2005 gemachten Erfahrungen aus unterschiedlichen Blickwinkeln dargestellt und zusammenfassende Konsequenzen gezogen. Der Bereich Warnung und Alarmierung ist im ersten Teilbericht (Rotach et al., 2007) erläutert.

9.1 Einleitung

9.1.1 Ziele und Aufbau des Kapitels

Ziele

Intervention und Instandstellung[1] kommen dann zum Tragen, wenn ein Ereignis Ausmasse annimmt, welche nicht mehr innerhalb des dafür mittels permanenter planerischer und baulicher Massnahmen vorgesehen Raums ablaufen können. Handlungen, die nach einem Ereignis notwendig werden, das sich innerhalb des dafür vorgesehenen Raums abgespielt hat, werden dem ordentlichen Unterhalt zugeordnet. In diesem Kapitel geht es darum, die Erfahrungen im Zusammenhang mit der Intervention und Instandstellung beim Hochwasser vom August 2005 aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu erläutern und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Gliederung des Kapitels

Nach einer kurzen Erläuterung der Vorgehensweise bei der Erarbeitung dieses Kapitels und der unterschiedlichen Definition unterschiedlicher Phasen je nach Akteur, folgen in den Kap. 9.2 bis 9.7 Berichte aus dem Blickwinkel der verschiedenen Akteure (Führungsorgane Bevölkerungsschutz, Feuerwehr, Zivilschutz, Armee, Fachdienste Naturgefahren und weitere Fachstellen). Diese sind verschieden in Bezug auf Art und Weise, Zeitpunkt, Autor und Grundlagen verfasst worden. Entsprechend richten sie sich nur teilweise an einer gemeinsamen Struktur aus. Aufbauend auf diesen Berichten werden in Kap. 9.8 zusammenfassende Konsequenzen v. a. in Bezug auf die Rolle der Fachdienste gezogen. Zum Schluss werden in Kap. 9.9 die wichtigsten Erkenntnisse aus dem ganzen Kapitel erläutert.

Evaluation Status Quo

Bei der Erarbeitung aller Teile dieses Kapitels wurden parallel zwei Blickrichtungen verfolgt. Einerseits wurde aufgearbeitet, wie sich der Status Quo des Jahres 2005 bei

[1] In Abweichung zur Wegleitung Hochwasserschutz wird hier bewusst der Begriff Instandstellung und nicht Wiederherstellung verwendet, um die oft zu beobachtende falsche Erwartungshaltung nicht weiter zu unterstützen, welche von dieser Phase einzig die möglichst rasche Wiedererstellung des Status Quo ante erwartet.

diesem Ereignis bewährt hatte. Dies geschah in Form von Erfahrungsberichten, welche die Sicht von verschiedenen wichtigen Akteursgruppen auf das abgelaufene Ereignis zusammenfassend und verallgemeinernd darstellen. Die Analyse zeigte, dass vieles, vielleicht sogar das meiste, nach dem damaligen Stand des Wissens gut gemacht wurde.

Entwicklungspotenzial

Gleichzeitig war aber auch ein generelles Unbehagen festzustellen, ob damit die Erwartungen der Bevölkerung erfüllt wurden. Verbreitet war auch der Wille festzustellen, es in Zukunft noch besser zu machen. Deshalb wurde die Analyse um einen entsprechenden zweiten Punkt ergänzt, in welchem das mögliche Entwicklungspotenzial im Zentrum stand. Dabei wurde der Frage nachgegangen, wie Interventionen bei Hochwasserereignissen in Zukunft noch mehr zur Schadensbegrenzung beitragen können. Dazu wurden zu Beginn der Arbeiten konzeptionelle Grundüberlegungen angestellt, die dann im Rahmen von Workshops und Sitzungen parallel zur Erarbeitung der Erfahrungsberichte diskutiert und überarbeitet wurden. Die Ergebnisse dieser Überlegungen sind in Kap. 9.8 dargestellt.

Überblicksbetrachtung

Generell standen bei dieser Analyse übergeordnete, konzeptionelle Aspekte im Vordergrund, wobei die Vorarbeiten im Rahmen des Projektes OWARNA (BABS, 2007) aufgenommen wurden. Spezifische lokale Aspekte, etwa unter dem Stichwort «Mehr Sandsäcke bereithalten», fanden in der Analyse nur zusammenfassend Eingang.

9.1.2 Die unterschiedliche Verwendung des Begriffs Phasen je nach Akteur

Verschiedene Akteure sind unterschiedlich lange an der Intervention und Instandstellung beteiligt. Bei der Feuerwehr dauert ein Einsatz in der Regel nur Stunden, in Ausnahmefällen Tage. Für die Fachdienste Naturgefahren dagegen bilden Intervention und Instandstellung nur eine besondere Form ihrer normalen Aufgabe, d.h. für ihren Einsatz gibt es keinen klaren Beginn und kein klares Ende. Entsprechend wird die Periode eines Ereignisses auch unterschiedlich in Phasen unterteilt (Abb. 9.1). Nachfolgend wird deshalb kurz erläutert, wie Phasen im Rahmen dieses Berichts definiert werden.

Fachstelle Naturgefahren

Den grössten Zeitbereich umfasst die Gliederung, wie sie hier für die Naturgefahrenfachstellen vorgeschlagen wird. Dabei werden die Phasen der Intervention und Instandstellung grob wie in Tab. 9.1 definiert und gegenüber der Phase mit Folgeprojekten abgegrenzt, welche im Rahmen der normalen Tätigkeit gemäss Wasserbau- bzw. Waldgesetz ausgeführt werden. Genauere Erläuterungen zu diesen Phasen sind in Kap. 9.8 zu finden.

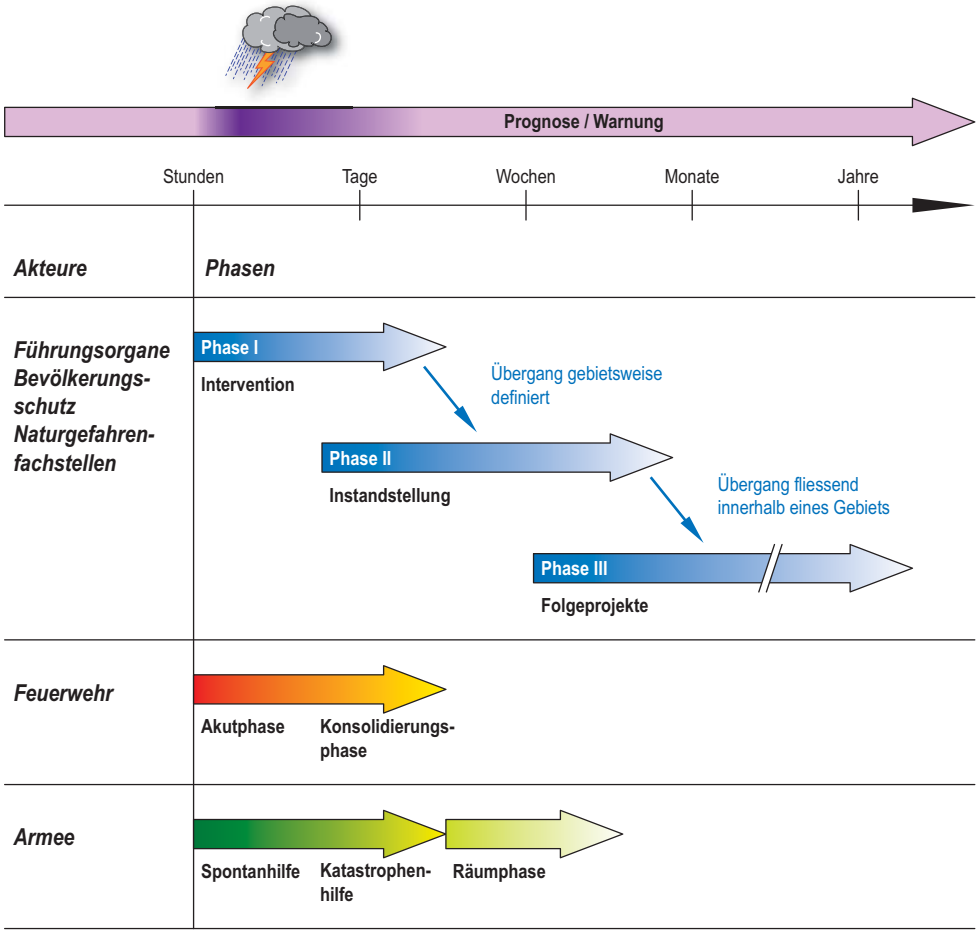
Bevölkerungsschutz, Zivilschutz

Bei den Erläuterungen in den Kapiteln «Führung Bevölkerungsschutz» und «Zivilschutz» werden die gleichen Begriffe verwendet.

Tab. 9.1 > Definition der Interventionsphasen.

Intervention	
Zeitpunkt	Unmittelbar vor, während und nach einem aussergewöhnlichen Ereignis; Teil der Bewältigung.
Ziele	Begrenzung des Schadens, unmittelbares Weiterleben ermöglichen.
Instandstellung	
Zeitpunkt	Nach Abschluss der Intervention; Teil der Regeneration.
Ziele	Erstellen einer angemessenen minimalen Sicherheit sowohl vor Naturgefahren als auch beim Betrieb von Infrastrukturen.
Folgeprojekte	
Zeitpunkt	Immer, ausser während der Intervention und Instandstellung; Teil der Prävention.
Ziele	Reduktion des Risikos auf ein angemessenes Mass.

Abb. 9.1 > Abfolge der Phasen bei Intervention und Instandstellung sowie dafür verwendete Begriffe bei unterschiedlichen Akteuren.



Armee

Die Armee ist in der Regel nur in der Phase der Intervention und allenfalls der Instandstellung nach der oben erläuterten Gliederung aktiv. Sie unterteilt die Intervention weiter in eine Akutphase mit Spontanhilfe und eine Katastrophenhilfephase, in der die eingesetzten Truppen den Kantonen aufgrund von Gesuchen zugeteilt werden. Bei grossen Ereignissen, wie dem Hochwasser vom August 2005, ist die Armee teilweise auch noch in der Instandstellungsphase im Einsatz, wobei sie dafür die Bezeichnung Räumphase verwendet.

Feuerwehr

Die Feuerwehr ist nur in der Phase der Intervention gemäss der Gliederung der Naturgefahrenfachstellen aktiv. Sie unterteilt diese weiter in eine Akutphase und eine Konsolidierungsphase.

9.2 Führung Bevölkerungsschutz

Frank Fässler

9.2.1 Einführung – Verbundsystem Bevölkerungsschutz

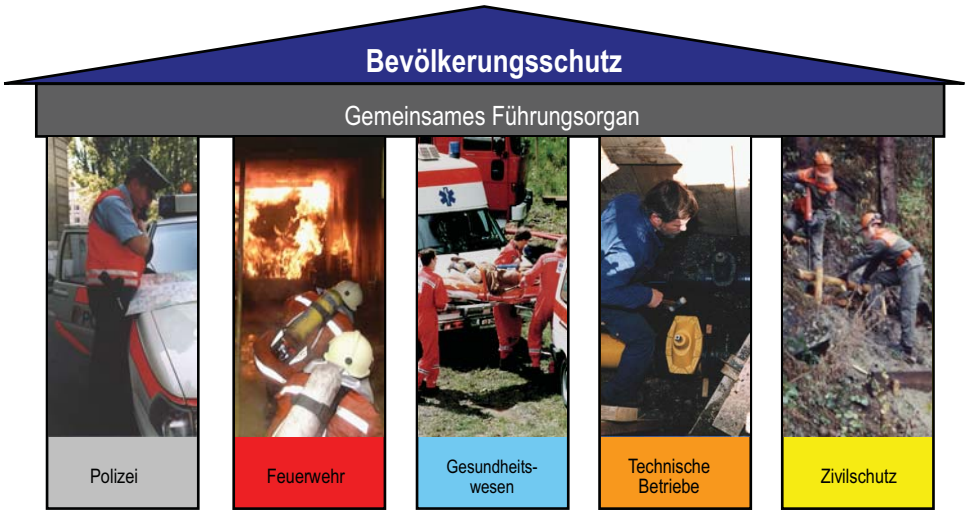
Leitbild Bevölkerungsschutz (LBBS)

Damit die nachfolgenden Erfahrungsberichte in einen Gesamtzusammenhang gebracht werden können, wird zuerst anhand von Ausschnitten aus dem Leitbild Bevölkerungsschutz (2001) das Verbundsystem (Abb. 9.2), wie es im Jahre 2004 geschaffen wurde, aufgezeigt.

Ziviles Verbundsystem

Mit der Reform 2004 wurde der Bevölkerungsschutz als ziviles Verbundsystem der fünf Partnerorganisationen Polizei, Feuerwehr, Gesundheitswesen, technische Betriebe und Zivilschutz unter einem gemeinsamen Dach geschaffen. Für den Bevölkerungsschutz sind unter Vorbehalt bundesrechtlicher Kompetenzen die Kantone zuständig.

Abb. 9.2 > Das Verbundsystem Bevölkerungsschutz – Koordination unter einem gemeinsamen Dach.



Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen

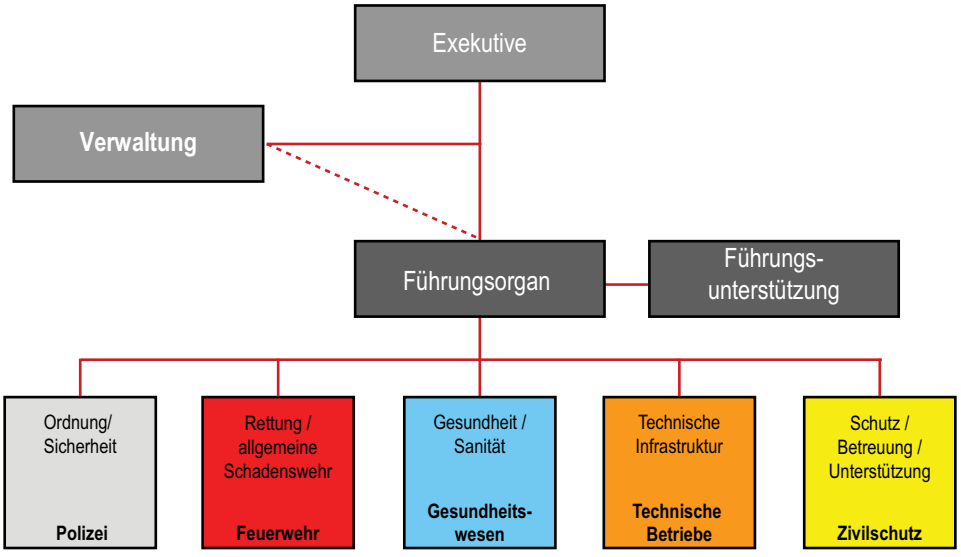
Der Auftrag des Bevölkerungsschutzes ist der Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen bei Katastrophen und in Notlagen sowie im Fall eines bewaffneten Konflikts. Der Bevölkerungsschutz stellt Führung, Schutz, Rettung und Hilfe zur Bewältigung solcher Ereignisse sicher. Er trägt dazu bei, Schäden zu begrenzen und zu bewältigen.

Die Zusammenarbeit der Partnerorganisationen erfolgt auf der Stufe Gemeinde oder Region. Die Kantone und Gemeinden legen die Organisationsform gemäss ihren Bedürfnissen, insbesondere auf Grund ihrer spezifischen Gefährdungen, fest.

Modularer Aufbau

Die Partnerorganisationen bewältigen Ereignisse mit modular aufgebauten Mitteln. Der modulare Aufbau geht vom Alltagsereignis aus. Die eingesetzten Mittel werden entsprechend der Art und dem Schweregrad eines Ereignisses verstärkt. Für die Bewältigung von Alltagsereignissen genügt die bestehende Koordination der Partnerorganisationen, insbesondere der Ersteinsatzmittel Polizei, Feuerwehr und sanitätsdienstliches Rettungswesen. Diese führen die Einsätze vor Ort nach eingespielten Verfahren. Bei Katastrophen und in Notlagen kommen mehrere oder alle Partnerorganisationen einer Gemeinde oder Region zum Einsatz. Die Partnerorganisationen können weitere Einsatzelemente aus anderen Gemeinden und Kantonen aufbieten. Sie können ausserdem durch den Beizug privater Organisationen und Unternehmen sowie durch die Armee verstärkt werden.

Abb. 9.3 > Modellstruktur der Einsatzorganisation auf Stufe Gemeinde/Region.



Die Gesamtverantwortung für die Sicherheit der Bevölkerung und damit für das Verbundsystem Bevölkerungsschutz liegt bei der zuständigen Exekutive (Abb. 9.3). Auf Stufe Kanton und Gemeinde (oder Gemeindeverband) bezeichnet diese ein politisch legitimiertes Führungsorgan.

Aufgaben Führungsorgan

Das Führungsorgan ist zuständig für:

- Sicherstellung der Information der Bevölkerung über Gefährdungen, Schutzmöglichkeiten und Schutzmassnahmen
- Warnung und Alarmierung sowie Erteilung von Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung
- Sicherstellung der Führungstätigkeit
- Koordination der Vorbereitungen und der Einsätze der Partnerorganisationen
- Sicherstellung einer zeit- und lagegerechten Bereitschaft sowie der personellen und materiellen Verstärkung des Bevölkerungsschutzes im Hinblick auf bewaffnete Konflikte

Die Führung umfasst drei Stufen:

- Bei Alltagsereignissen liegt die Führung bei der Einsatzleitung der im Einsatz stehenden Partnerorganisationen (in der Regel der Feuerwehr oder der Polizei).
- Bei Grossereignissen ist die Koordination der im Einsatz stehenden Partnerorganisationen notwendig. Die Führung obliegt einer Gesamteinsatzleitung. Deren Mitglieder sind ereignisbezogen ausgewählte Spezialisten der beteiligten Partnerorganisationen und der Verwaltung.
- Wenn mehrere Partnerorganisationen während längerer Zeit im Einsatz stehen, wie das beim Hochwasser 2005 der Fall war, übernimmt ein Führungsorgan die Koordination und die Führung. Die Partnerorganisationen sind im Führungsorgan vertreten. Die Kompetenzabgrenzung zwischen den Einsatzleitungen vor Ort und dem Führungsorgan ist klar geregelt.

Zusammensetzung Führungsorgan

Das Führungsorgan besteht aus Behördenmitgliedern, dem Stabschef und dessen StellvertreterIn, VertreterInnen der Verwaltung sowie den Ressortchefs (VertreterInnen der Partnerorganisationen). Diese Mitglieder sind bestimmt und für ihre Funktion ausgebildet. Die für die Gesamteinsatzleitung verantwortliche Person nimmt fallweise Einsitz im Führungsorgan. Ausserdem können SpezialistInnen hinzugezogen werden.

Führungsunterstützung

Die Führungsunterstützung umfasst die Sachbereiche Information, Lage, Telematik, ABC-Schutz und logistische Koordination. Die Ersteinsatzmittel stellen die Führungsunterstützung so lange wie möglich selbständig sicher. Die Verstärkung der Führungsunterstützung wird durch Personal der Verwaltung sowie der Partnerorganisationen, insbesondere des Zivilschutzes, gewährleistet.

9.2.2 Erfahrungen der Führungsorgane auf der Stufe Kanton und Gemeinde

Die nachfolgenden Ausführungen setzen sich mit den beim Hochwasser 2005 gemachten Erfahrungen der Führungsorgane auf der Stufe Kanton und Gemeinde bzw. Region auseinander. Sie stützen sich auf Aussagen aus Berichten der betroffenen Kantone, die dem Verfasser zugänglich sind.

Einleitend kann festgehalten werden, dass dank dem entschlossenen, zeit- und lagegerechten Handeln der Einsatzleitungen und Führungsorgane viele Personenschäden vermieden werden konnten. Auch die Massnahmen zur Schadenwehr wurden zeit- und lagegerecht getroffen. Die nachfolgende Koordination der Einsatzkräfte und der angebotenen Hilfe stellte die Führungsorgane teilweise vor eine grosse Herausforderung.

Grundsätzlich positive Erfahrungen

9.2.3 Zusammensetzung der Führungsorgane

Auf der Stufe Gemeinde bzw. Region sind die Führungsorgane unterschiedlich, jedoch mehrheitlich im Milizsystem zusammengesetzt. Bewährt haben sich diejenigen Organe, welche nicht nur aus Behördemitgliedern, sondern aus Vertreterinnen und Vertretern der Partnerorganisationen, des Bevölkerungsschutzes und der Verwaltung sowie aus Fachspezialisten zusammengesetzt waren und durch einen Stabschef geführt wurden. Sehr wichtig war zudem die enge Zusammenarbeit mit den Einsatzleitern. Unterschätzt wurde z. T. die Bedeutung der Führungsunterstützung. Diese wurde an manchen Orten zu spät oder gar nicht aufgeboten, was zu einer erschwerten Übersicht über die Lage führte. Zudem wurde dadurch die Zusammenarbeit mit Partnern und vorgesetzten Stellen erschwert.

Unterschiedliche Erfahrungen auf Stufe Gemeinde

Bewährt hat sich die Zusammensetzung der kantonalen Führungsorgane. Die meisten waren aus Vertretern der betroffenen Ämter, Dienst- und Fachstellen modular zusammengesetzt. Durchwegs positiv wurde auch die Zusammenarbeit mit den neu geschaffenen kantonalen Territorialverbindungsstäben der Armee erwähnt.

Gute Erfahrungen auf Stufe Kanton

Mit zunehmender Einsatzdauer der Führungsorgane wurde die Verfügbarkeit derer Mitglieder problematisch. Auf kantonaler Stufe bestand vielfach eine Doppelbelastung durch die Alltagsgeschäfte. Zur Verbesserung dieser Situation wird in den Berichten eine bessere Stellvertreterregelung gefordert.

Lange Einsatzdauer führte zu Problemen

Da der Einsatz der Milizangehörigen der Führungsorgane auf kommunaler Stufe nicht in der Erwerbsersatzordnung (EO) des Bundes geregelt ist, stellte sich oft die Frage der Erwerbsausfallentschädigung. Die Arbeitgeber waren vielfach nicht bereit, ihre Mitarbeitenden für längere Zeit freizustellen. Dadurch entstandene Lücken konnten teilweise mit Offizieren des Zivilschutzes geschlossen werden.

Erwerbsersatz unterschiedlich geregelt

9.2.4 Alarmierung der Bevölkerung und Erteilung von Verhaltensanweisungen

Für etliche Führungsorgane war es schwierig, zu entscheiden, ob die Bevölkerung über die Sirenen alarmiert werden sollte. Es gab Unsicherheiten über die Reaktion der Bevölkerung und dort, wo keine klaren Regelungen bestanden, über die Zuständigkeiten bei der lokalen Auslösung der Sirenen.

Unsicherheit bezüglich Reaktion der Bevölkerung

Diejenigen Kantone, welche die Bevölkerung mit Sirenen alarmierten, machten unterschiedliche Erfahrungen. Bei einigen funktionierten die Alarmierung und die nachfolgende Erteilung der Verhaltensanweisungen über Radio problemlos. Einzelne

Unterschiedliche Erfahrungen in Bezug auf Sirenenalarme

berichten über Schwierigkeiten bei der zeitlichen Abstimmung zwischen dem Alarm und der Verbreitung der Verhaltensanweisungen. Ausserdem werden die verständliche Formulierung der Verhaltensanweisungen und der Einbezug der Lokalradios als wichtig beurteilt.

9.2.5 Information der Bevölkerung

Information der Bevölkerung war aufwändige Aufgabe aller Führungsorgane

Die Information der Bevölkerung in einer solchen Lage ist sehr wichtig, aber auch sehr aufwändig. Dies wird aus vielen Berichten ersichtlich. Erschwert wurde die Information zusätzlich durch den Ausfall des Stroms und der elektronischen Medien. Auf kommunaler Ebene bewährten sich Auskunftsstellen, Anschläge, Flugblätter, Lautsprecherwagen und Informationsanlässe der Führungsorgane. Auch die Zusammenarbeit mit den Medien war wichtig und zeitintensiv. Einige Führungsorgane organisierten zusätzlich Telefon-Hotlines.

Auf kantonaler Ebene stand die Zusammenarbeit mit den Medien im Vordergrund. Auch auf dieser Stufe wurde sie als sehr aufwändig und zeitintensiv empfunden. Erschwerend kam hinzu, dass die Informationen in den Gemeinden zuerst beschafft und mit diesen koordiniert werden mussten. Als effizientes Mittel zur Informationsverbreitung erwies sich das Lokalradio. Damit möglichst keine Falschinformationen verbreitet werden, wird in den Berichten der frühe Einbezug der Radiosender als wichtig eingestuft. Die Informationsverbreitung über das Internet hatte auf der Ebene Kanton und in den Städten zusätzlich einen hohen Stellenwert.

9.2.6 Verbindungen

Wegen der ausgefallenen oder fehlenden Telekommunikationsmittel gestalteten sich die Verbindungen zwischen den kantonalen Führungsorganen und den Gemeinden v. a. in der Anfangsphase unbefriedigend. Weiter waren die Einsatzleitzentralen verschiedener Kantonspolizeien, die Funksysteme und die Mobiltelefone zeitweise überlastet. In dieser Hinsicht wird in den Berichten generell der Aufbau des schweizerischen Sicherheitsfunknetzes POLYCOM begrüsst und von einzelnen Kantonen eine schnellere Einführung angestrebt. Entlastung brachte die Einrichtung von speziellen Telefon-Hotlines, über welche z. B. aktuelle Verkehrssituationen bekannt gegeben oder Schadensmeldungen entgegen genommen wurden.

9.2.7 Infrastruktur an den Führungsstandorten

Infrastruktur in der Regel zu klein bemessen und teilweise veraltet

In fast allen Kantonen genügte die Infrastruktur der Führungsorgane nicht den Anforderungen eines Ereignisses dieses Ausmasses. Die Räumlichkeiten waren oft zu klein und die Technik veraltet oder nicht im erforderlichen Ausmass vorhanden. So fehlten vielfach Computer, Faxgeräte, zusätzliche Telefon- und Internetanschlüsse. Diejenigen Führungsorgane, welche ihre Standorte nicht eingerichtet oder vorbereitet hatten, wurden vom Ereignis überrascht und brauchten viel Zeit bis sie führungsfähig

waren. Einige Kantone fordern in ihren Berichten diesbezüglich Verbesserungen. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) unternimmt in seinem Zuständigkeitsbereich Anstrengungen, die technische Infrastruktur der geschützten Anlagen, welche für Katastrophen- und Notlagen benötigt werden, in den nächsten Jahren zu modernisieren.

9.2.8 Koordination der Einsatzkräfte und der angebotenen Hilfe

Als schwierig erwies sich die Koordination der Einsatzkräfte und der angebotenen Hilfe. Anfänglich fiel es den kantonalen Führungsorganen schwer, sich einen Überblick über die Lage im Kanton verschaffen zu können, da die Meldungen aus den Regionen und Gemeinden vielfach nur spärlich eintrafen und die Angaben über den Bedarf an Unterstützung oft ungenau waren. In gewissen Regionen und Gemeinden fehlten Personen, welche den Unterstützungsbedarf und die zu seiner Abdeckung erforderlichen Mittel beurteilen konnten. Auch der Weg um an die Mittel zu gelangen, war nicht überall bekannt. Demgegenüber haben sich in einigen Kantonen die speziell ausgebildeten Katastropheneinsatzleiter (KEL) oder Gesamteinsatzleiter (GEL) bewährt. Diese konnten die Gemeindeführungsorgane bei der Koordination unterstützen.

Koordination der Hilfe v. a. zu Beginn schwierig

Schnell trafen auf allen Ebenen Hilfsangebote von nicht betroffenen Kantonen, Organisationen und vielen freiwilligen zivilen Personen oder Gruppen ein. Es wurden sogar private Webseiten eröffnet, auf denen Hilfsangebote und Hilfegesuche eingetragen werden konnten. Diese spontane Hilfsbereitschaft beanspruchte die Koordination zusätzlich.

Koordinationsplattform Bevölkerungsschutz

Das BABS stellte den Kantonen mit der Koordinationsplattform Bevölkerungsschutz (KOP) ein Hilfsmittel für die interkantonale Koordination zur Verfügung. Die KOP wurde den kantonalen Führungsorganen auch über die elektronische Lagedarstellung (ELD) der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) zugänglich gemacht. Nicht optimal verlief die Zusammenarbeit mit internationalen Hilfskräften. So konnte auf ein Angebot des Technischen Hilfswerkes (THW) von Deutschland nicht rechtzeitig reagiert werden.

9.2.9 Zusammenarbeit der Einsatzkräfte

Zusammenarbeit unterschiedlicher Einsatzorganisationen problemlos

Als unproblematisch wird in den Berichten die Zusammenarbeit der Einsatzorganisationen Polizei, Feuerwehr, Zivilschutz und der Armee beschrieben. Gemeinsam ist diesen Organisationen eine klare Führungsstruktur. Zudem steht ihnen die benötigte technische und persönliche Ausrüstung jederzeit zur Verfügung. Dadurch waren sie selbständig einsetzbar. Die Absprachen und die Zusammenarbeit verliefen zielgerichtet und partnerschaftlich (Abb. 9.4).

Einsatz ziviler Freiwilliger aufwändig

Aufwändiger zeigte sich der Einsatz der zivilen freiwilligen Helfer. Diese waren unorganisiert und mehrheitlich nicht ausgerüstet. Weiter stellte sich vielerorts die Frage der Sicherheit und der Versicherung. Verschiedentlich wurden die Koordination und der Einsatz dieser Helfer dem Zivilschutz übertragen. Auf diese Weise war auch der Versicherungsschutz über die Militärversicherung gewährleistet.

Abb. 9.4 > Zivile Führungsstäbe und ihre Führungsunterstützung im Einsatz.

9.2.10 Folgerungen

Führung und Fachwissen vor Ort notwendig

Die Hochwasserereignisse im August 2005 haben klar die Notwendigkeit und Bedeutung der Führungsorgane auf allen Ebenen gezeigt. Die ereignisnahe Führung auf der Ebene Gemeinde bzw. Region ermöglichte das zeit- und lagegerechte Handeln. Damit konnten grössere Personenschäden vermieden und Sachschäden begrenzt werden. Die grosse Ausdehnung der Schäden erforderte aber auch eine überregionale Koordination der Mittel und die fachtechnische Unterstützung (inklusive Wissen zu Naturgefahren) der Gemeinden bzw. Regionen auf der Ebene Kanton.

Gewisse Probleme bestanden bei der Kommunikation und der Koordination der Einsatzkräfte und -mittel, insbesondere der zivilen freiwilligen Helfer. Unterschätzt wurden mancherorts die Bedeutung der Führungsunterstützung und die Information der Bevölkerung.

Bedarf nach Übungen

Durchwegs wurde erkannt, dass zur Bewältigung solcher Ereignisse vermehrt in der Vorsorge über alle Führungsebenen trainiert und das Zusammenwirken der Partnerorganisationen geübt werden muss. Entsprechende Massnahmen wurden in den Kantonen bereits umgesetzt oder sind in der Umsetzung. Dort, wo nötig und zuständig, werden die Kantone vom Bund unterstützt.

9.3 Feuerwehr

Peter Schneider, Christoph Hegg

9.3.1 Einführung

Für dieses Kapitel standen seitens der Feuerwehren verschiedene Einsatzberichte zum Hochwasser 2005 zur Verfügung. In diesem zusammenfassenden Kapitel werden die Aussagen bewusst anonymisiert und wenn möglich allgemein gehalten. Die Kantone sind für die Umsetzung der entsprechenden Erkenntnisse zuständig. Die Ausführungen beschränken sich ausschliesslich auf die Optik der Feuerwehr.

9.3.2 Betrachtungsfelder

Alarmierung

Die Alarmierung der Feuerwehren in den betroffenen Gebieten erfolgte in der Regel zeitgerecht und wurde über die normalen Systeme, wie Telefon oder Pager, ausgelöst. Durch die teilweise rasche Eskalation der Lage und der damit verbundenen grossen Menge von eingehenden Notrufen bei den Alarmzentralen, kam es dort teilweise zu Engpässen. Aus diesem Grund wurden die Notrufe in einigen Kantonen in eine Warteschleife geleitet. In diese Schleife kamen aber auch Feuerwehrkommandanten, welche weitere Kräfte aufbieten mussten, wodurch unerwünschte Verzögerungen in der Alarmierung entstanden.

Einsatz der Feuerwehr vor Ort

Der Einsatz der Feuerwehren vor Ort erfolgte in der Regel zeit- und lagegerecht. Da der Einsatz meist zu einem Zeitpunkt ausgelöst wurde, als noch kein Gemeindeführungsstab im Einsatz war, lag die Einsatzleitung zunächst bei der Feuerwehr, welche sich mit der Polizei und anderen absprach.

Folgende Probleme zeigten sich:

- Durch die teilweise massive Beeinträchtigung der Verkehrswege waren die Verkehrsdienste der Feuerwehren stark gefordert und fühlten sich von der Polizei teilweise ungenügend unterstützt.
- Es konnte festgestellt werden, dass bei einem Ereignis von derartigem Ausmass die materiellen Ressourcen der Feuerwehren schnell aufgebraucht sind. Insbesondere fehlten in den ersten Stunden Schmutzwasserpumpen, da sich die feuerwehrspezifischen Pumpmittel nicht besonders gut eignen.
- Der Übergang von der Akutphase in die Konsolidierungsphase, also die Ablösung der Feuerwehr durch die zweite Staffel wie Zivilschutzorganisationen (ZSO), ist nicht überall optimal abgelaufen, was zu einem nicht auftragsgerechten, langen Einsatz der Feuerwehr führte.
- Die lange Einsatzzeit führte zu persönlichen Konflikten, wenn Angehörige der Feuerwehr (AdF) gleichzeitig zu den Betroffenen zählten. Diskussionen resultierten häufig mit den jeweiligen Arbeitgebern. Diese akzeptieren in den meisten Fällen problemlos Absenzen von einigen Stunden oder ein bis zwei Tagen. Bei längeren

Einsätzen, welche nicht dem Grundsatz des Feuerwehreinsatzes entsprechen, wird die Frage des finanziellen Ausfalls aktuell. Eine Verbesserung der Situation kann durch die klare Zuweisung der Aufgaben der Feuerwehr und der Organisationen der zweiten Staffel (z. B. ZSO) erreicht werden.

Zusammenarbeit mit der Polizei

In Zusammenarbeit mit der Polizei wurde die Feuerwehr v. a. für Verkehrsregelungen eingesetzt. Ein grundlegendes Problem bildeten dabei jene Autofahrer, die sich weigerten, den Anordnungen der Feuerwehr oder des Zivilschutzes Folge zu leisten. Hier wünschten sich die Gemeinden eine stärkere Unterstützung durch die Polizei, die durch das grossflächige Auftreten der Ereignisse personell sehr starken Belastungen ausgesetzt war. So wurden in einigen Gemeinden Strassen gesperrt bzw. der Verkehr umgeleitet, wobei sie sich hier seitens der Polizei auch materielle Hilfe, z. B. in Form von Absperr- und Umleitungsmaterial, gewünscht hätten.

Bei gemeinde- oder kantonsübergreifenden Sperrungen könnten durch bessere Absprachen und Informationen der Verkehrsdienste der Feuerwehr noch Verbesserungen erreicht werden. Dies betrifft nicht nur Informationen über die Sperrung, sondern auch über deren voraussichtliche Dauer und Aufhebung.

Zusammenarbeit mit Zivilschutzorganisationen

Die Zusammenarbeit vor Ort zwischen Feuerwehr und ZSO erfolgte in der Regel gut und partnerschaftlich. Dies kann aber nicht darüber hinweg täuschen, dass z. B. wegen der hohen Anzahl an Dispensationen die zum Einsatz gelangenden Truppen der Angehörigen des Zivilschutzes (AdZS) zu gering waren.

Zusammenarbeit mit der Führung

Die Gemeindeführungsstäbe (GFS) der betroffenen Gemeinden wurden oft durch die Geschwindigkeit, die Heftigkeit und das Ausmass der Ereignisse überrascht. Die Zusammenarbeit zwischen GFS und Feuerwehr verlief in der Regel zielgerichtet und zweckmässig. Allerdings hatten insbesondere die grossflächigen Gemeinden in der Anfangsphase Probleme, sich eine aktuelle Übersicht mit den vorhandenen Mitteln zu beschaffen, v. a. als teilweise das Strom- und Telefonfestnetz unterbrochen und das Mobiltelefonnetz überlastet war. Dort wo Katastropheneinsatzleiter (KEL) eingesetzt wurden, hat sich deren Einsatz bewährt.

Kommunikation

Die Kommunikation innerhalb der Feuerwehr war weitestgehend problemlos. Zwischen den Partnern des Bevölkerungsschutzes hingegen wird sie von «gut» über «nicht in allen Teilen zufrieden stellend» bis «hat nicht funktioniert» qualifiziert. Hier scheint noch ein erheblicher Handlungsbedarf zu bestehen. Dabei mag die sukzessive Einführung des nationalen Funksystems POLYCOM einen gewissen positiven Effekt bringen. Das eigentliche Problem lässt sich damit aber nicht lösen. Es wurde in einem Bericht so wiedergegeben: «Jede einzelne Organisation hat sich noch zu stark nur mit den eigenen Aufgaben beschäftigt und die Bedürfnisse und Anliegen der Partner zu wenig zur Kenntnis genommen».

Überregionale Hilfe

Im Bereich der Feuerwehr hat die Hilfestellung durch nicht betroffene Feuerwehren aus Gemeinden desselben Kantons gut geklappt. Die einzelnen Wege der Hilfsangebote waren unterschiedlich. Vom persönlichen Kontakt Kommandant zu Kommandant bis zum offiziellen Weg über die Inspektorate gab es die unterschiedlichsten

Formen der Kontaktaufnahme. Bei der interkantonalen Hilfeleistung hat sich gezeigt, dass diese Angebote sinnvollerweise über eine kantonale und bei grossen Ereignissen über eine schweizerische Koordinationsstelle erfolgen sollten. Hierzu macht sich die Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS) bereits Gedanken.

9.3.3 Folgerungen aus der bisherigen Vorgehensweise

Das heutige System der Feuerwehr hat sich beim Ereignis 2005 bewährt. Allerdings ergeben sich folgende Punkte, welche einer näheren Betrachtung unterzogen werden müssen:

- Die richtigerweise in den meisten Kantonen vorangetriebene Effizienzsteigerung und dem damit verbundenen Abbau der Mannschaftsbestände bei den Feuerwehren führt bei Ereignissen solchen Ausmasses schnell zu personellen Engpässen. Durch dieselbe Entwicklung bei den Zivilschutzorganisationen ZSO wird das Problem noch verstärkt.
- Die Einsatzbereitschaft der Feuerwehr ist hoch und wird auch von Arbeitgebern in der Regel problemlos akzeptiert. Schwierigkeiten gibt es bei länger dauernden Einsätzen, wenn die Feuerwehr nicht abgelöst werden kann.
- Bei derartigen Ereignissen stösst das heutige Milizsystem sowohl bei den Feuerwehren wie bei den Zivilschutzorganisationen an seine Grenzen.

9.3.4 Ausblick

Wie in Rotach et al. (2007) erläutert, wurden beim Hochwasser vom August 2005 im Zusammenhang mit Niederschlags- und Abflussvorhersagen sowohl auf der Seite der Ersteller als auch auf der Seite der Kunden Verbesserungsmöglichkeiten festgestellt. Einer der wichtigsten Kunden für Vorhersagen sind die Feuerwehren, da sie das Ersteinsatzorgan in den Gemeinden sind, das mit seinem Leistungsprofil am besten für das Umsetzen von Warnungen und Vorhersagen in konkrete Massnahmen geeignet ist.

Mit dem Ziel, die Rahmenbedingungen in diesem Zusammenhang auszuloten, wurden mehrere Workshops mit Vertretern von kantonalen und lokalen Feuerwehrverantwortlichen durchgeführt. Dabei zeigte sich die grundsätzliche Bereitschaft der Feuerwehren, vermehrt auch unmittelbar vor Ereignissen aufgrund von Warnungen und eigenen Beobachtungen schadensbegrenzend tätig zu werden. Dabei kann auf den Erfahrungen von vielen Feuerwehren, v. a. in Berggemeinden, aufgebaut werden, welche dies schon «immer» praktizieren.

Als Voraussetzungen für den Erfolg derartiger Massnahmen wurden folgende Punkte diskutiert:

- Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Intervention ist ihre Planung. Dazu müssen neben den auf die Raumplanung ausgerichteten Gefahrenkarten auch die Grundlagen für Notfallplanungen aus der Gefahrenbeurteilung abgeleitet werden.

- Die Ausbildung der Feuerwehr ist vermehrt auf die Intervention bei Naturgefahren auszurichten, sei dies der Umgang mit Notfallplanungen, die Interpretation von Wetterwarnungen und -entwicklungen oder der Umgang mit spezifischem Material.
- Warnungen alleine können in der Regel nicht die einzige Grundlage für die Auslösung von temporären schadensbegrenzenden Massnahmen sein. Viel mehr sind diese dazu mit Informationen zur aktuellen Wetterentwicklung, mit Beobachtungen vor Ort und v. a. mit der lokalen Erfahrung in Verbindung zu setzen. Besonders wertvoll sind dabei systematische Beobachtungen der Prozesse vor Ort, ähnlich wie dies bei den Lawinen (Bründl, 2004) schon länger geschieht.
- Die Umsetzung von Warnungen, das Organisieren und Durchführen von Beobachtungen vor Ort sowie die Interpretation dieser Informationen bedarf spezifischer Fachkenntnisse z. B. dazu, wie Murgänge oder Rutschungen ablaufen. Diese Kenntnisse gehen über das hinaus, was die Feuerwehr gemeinhin wissen muss. Dazu sind vor Ort Spezialisten mit dem entsprechenden Fachwissen notwendig.
- Mögliche Einsätze müssen geplant, geübt und das notwendige Material bereitgehalten sein. Dabei ist auch die regionale Zusammenarbeit zu berücksichtigen und für sehr grosse Ereignisse die überregionale Hilfe vorzusehen.
- Es muss vor einem Ereignis geklärt sein, welche Aufwendungen wie entschädigt werden.
- Um eine Überlastung der Feuerwehr mit Aktionen zu Gunsten einzelner Gebäude zu verhindern, besteht zudem der Wunsch, dass die Eigenverantwortung der Hausbesitzer vermehrt gefördert wird. Dies soll ermöglichen, dass sich die Feuerwehr in der Regel auf grossräumig wirksame Massnahmen beschränken kann, während jeder einzelne spezifische Massnahmen für einzelne Gebäude wahrnimmt.

Die Feuerwehren haben bei den Ereignissen im August 2005 gute bis hervorragende Arbeit geleistet. Sowohl auf der Stufe Gemeinde wie auch auf der Stufe Kanton wurden die Einsätze und Abläufe intensiv untersucht und die Lehren daraus gezogen. Umsetzungen von Massnahmen sind bereits eingeleitet worden. Feuerwehrseitig liegen die Verbesserungsmöglichkeiten weitestgehend in der Kompetenz und im Aufgabenbereich der Gemeinden oder des Kantons. Soweit möglich und gewünscht, ist auch die FKS bereit, Koordinationsaufgaben gesamtschweizerisch wahrzunehmen.

9.4 Zivilschutz

Frank Fässler

9.4.1 Einführung

Der Zivilschutz ist im Verbundsystem Bevölkerungsschutz schwergewichtig als Einsatzmittel der zweiten Staffel vorgesehen. Er soll die Durchhaltefähigkeit bei grossen und lang andauernden Katastrophen und Notlagen sicherstellen. Seine Hauptaufgaben sind im Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz (Art. 3 BZG) festgehalten.

Sie umfassen

- den Schutz der Bevölkerung
- die Betreuung von schutzsuchenden Personen
- den Schutz der Kulturgüter
- die Unterstützung der Führungsorgane und der anderen Partnerorganisationen
- Instandstellungsarbeiten
- Einsätze zugunsten der Gemeinschaft

Erfahrungen je nach Kanton unterschiedlich

Die Organisation und der Einsatz des Zivilschutzes ist vorwiegend Aufgabe der Kantone und Gemeinden. Die Erfahrungen des Zivilschutzes während der Hochwasserbewältigung 2005 waren aus diesem Grund unterschiedlich.

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf häufig gemachte Aussagen in den Berichten der Kantone und in Interviews mit Zivilschutzkommandanten.

9.4.2 Aufgebot

Aufgebot erfolgte teilweise zu spät

Durch die schnelle Ausdehnung der Ereignisse wurden vielerorts bereits in der Akutphase, d.h. innerhalb von wenigen Stunden, Mittel des Zivilschutzes benötigt. Dort, wo technische Aufgebotsmittel zur Verfügung standen, bot dieser Umstand weniger Probleme. Organisationen, welche die Schutzdienstpflichtigen telefonisch aufbieten mussten, wurden z. T. durch unterbrochene oder überlastete Leitungen daran gehindert.

Einige Einsatzleiter oder Führungsorgane zögerten mit der Anforderung des Zivilschutzes, u. a. deshalb, weil die Einsatzmöglichkeiten des Zivilschutzes zu wenig bekannt waren. Speziell das Leistungsvermögen der Führungsunterstützung und der Logistik wurden oft unterschätzt. Dadurch ging z. T. wertvolle Zeit für die Erstellung der Marschbereitschaft und die Ablösung der Ersteinsatzkräfte verloren.

Keine Probleme während der Instandstellung

Problemlos verliefen die Aufgebote während der Instandstellungsphase. Zu diesem Zeitpunkt war die Koordination der hilfeleistenden Organisationen an den meisten Orten sichergestellt und es stand genügend Zeit für die Information und das Aufgebot der Schutzdienstleistenden zur Verfügung.

9.4.3 Einsatzspektrum und Einsatzdauer

Der Zivilschutz wurde für ein breites Spektrum an Aufgaben eingesetzt. Die häufigsten Aufträge waren:

- Abfüllen und Bereitstellen von Sandsäcken
- Betreuung von Evakuierten
- Führungsunterstützung für die Führungsorgane
- Verpflegung der Einsatzkräfte
- Verkehrsregelung
- Überwachung und Zutrittskontrollen
- Durchführen von Transporten
- Auspumpen und Räumen von Gebäuden und Fluren
- Entwässerung und Sicherung von Anriss- und Rutschgebieten
- Instandstellung von Wegen und Bachufern

Abb. 9.5 > Zivilschutz im Einsatz.

Führung und Organisation bewährten sich

Die Einsätze konnten in der Regel zur Zufriedenheit der Führungsorgane und der Bevölkerung geleistet werden (Abb. 9.5). Viele Leistungsbezüger waren sogar von der Leistungsfähigkeit des Zivilschutzes überrascht. Dabei zeigte auch das mit der Zivilschutzreform XXI eingeführte Organisationsmodell mit den an den Partnerorganisationen angepassten Führungsstrukturen seine positive Wirkung. Auch die logistische Unabhängigkeit (Ausrüstung, Verpflegung, Transport) wurde von den betroffenen Gemeinden geschätzt.

65'000 Einsatztage

Je nach Ausmass der Schäden dauerten die Einsätze mehrere Wochen oder Monate, z. T. sogar bis zum Einwintern. So wurden bis Dezember 2005 rund 65'000 Einsatztage geleistet. Einzelne Instandstellungseinsätze wurden auch noch im Folgejahr geleistet.

Der Einsatz der Zivilschutzeinheiten dauerte meist eine bis zwei Wochen. Trotz des geregelten Erwerbsersatzes und der gesetzlichen Einrückungspflicht im Falle eines Zivilschutzeinsatzes, beklagten sich einige Arbeitgeber über die kurzfristige Abwesenheit der Schutzdienstleistenden. Den meisten dieser Arbeitgeber war die gesetzliche Schutzdienstpflicht nicht bekannt und sie wollten einen Dispensation erwirken. Dort, wo die Arbeitgeber beim Eintritt ihrer Mitarbeitenden in den Zivilschutz über deren Einsatzmöglichkeiten, Pflichten und den Erwerbsersatz informiert wurden, trat diese Problematik weniger auf.

Nicht angekündigte Abwesenheiten am Arbeitsplatz führten zu Problemen

9.4.4 Überörtliche und interkantonale Einsätze

Aufgrund des Ausmasses des Ereignisses, der eigenen Betroffenheit der Schutzdienstpflichtigen und der Reduktion der Bestände in den letzten Jahren, waren die lokal vorhandenen Zivilschutzmittel relativ schnell ausgeschöpft. Es wurde deshalb überörtliche und interkantonale Hilfe des Zivilschutzes nötig. Dabei konnten die betroffenen Gebiete auf eine grosse Solidarität der Nachbarregionen und Kantone zählen. Die Hilfebegehren und Angebote nahmen dabei verschiedene Wege. Eine wichtige Rolle kam den kantonalen Führungsorganen zu. In vielen Kantonen koordinierten sie die überörtliche und interkantonale Hilfe. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) unterstütze die Kantone dabei mit der elektronischen Koordinationsplattform Bevölkerungsschutz (KOP), auf welcher Hilfebegehren und Angebote zwischen den Kantonen vermittelt wurden.

9.4.5 Material und Fahrzeuge

Teilweise altes Material

Erfahrungen mit Material und Fahrzeugen werden in den Berichten der Kantone selten erwähnt. Aus Interviews war zu erfahren, dass sich das Material mehrheitlich als einsatztauglich erwies (z. B. Abb. 9.6). Einzelne Befragte verweisen auf das z. T. hohe Alter z. B. von Kompressoren oder Funkgeräten. Dies war jedoch nur dort der Fall, wo das neue Funksystem POLYCOM noch nicht eingeführt war. Probleme bot auch das Abpumpen von Schmutzwasser. Vielfach fehlten die geeigneten Pumpen. Bei der Bedienung von organisationsfremden Geräten, wie z. B. Motorspritzen, fehlte es an einigen Orten an Routine.

Abb. 9.6 > Zivilschutz im Einsatz in der Instandstellung.

Für lokale Einsätze wurden vielfach Fahrzeuge der Gemeinden benutzt oder es wurden Fahrzeuge eingemietet. Einige grössere Zivilschutzorganisationen besassen eigene Fahrzeuge. Für die überörtlichen und interkantonalen Einsätze wurde mehrheitlich auf Geländefahrzeugen der Armee basiert.

Fahrzeuge

9.4.6 Folgerungen

Der Zivilschutz hat sich als Einsatzmittel der zweiten Staffel bewährt. Allerdings wurden Teile der Zivilschutzeinheiten bereits in den ersten Stunden benötigt. Dies erfordert technische Aufgebotsmittel wie z. B. Pager (Funkmeldeempfänger) oder das Aufgebot mit SMS.

Das Leistungsprofil des Zivilschutzes war vielen Führungsorganen und den Partnerorganisationen des Bevölkerungsschutzes noch zuwenig bekannt. Dieser Problematik kann in der Vorsorge mit einer durch die betroffenen Führungsorgane koordinierten Einsatzplanung mit Leistungsaufträgen und gemeinsamen Übungen mit den Partnerorganisationen entgegengewirkt werden.

Leistungsprofil Zivilschutz noch zu wenig bekannt

Die zunehmenden überörtlichen und interkantonalen Einsätze erfordern eine erhöhte Mobilität des Zivilschutzes. Ihr ist die nötigte Beachtung zu schenken. Eine begrüssenswerte Massnahme ist die Verwendung von Geländefahrzeugen der Armee.

9.5 Armee

Toni Honegger

9.5.1 Einführung – Grundlagen für einen Einsatz der Armee

Armeeauftrag

Die Katastrophenhilfe ist in der Schweiz primär eine Aufgabe der Kantone. Bis die Armee eingesetzt werden kann, sind einige rechtliche Vorgaben zu erfüllen. Die Legitimation für den Einsatz der Armee bei Katastrophenlagen ist im Militärgesetz in Art 1, Absatz 3 gegeben. Dort heisst es:

«Sie (die Armee) unterstützt die zivilen Behörden, wenn deren Mittel nicht mehr ausreichen:
a) bei der Abwehr von schwer wiegenden Bedrohungen der inneren Sicherheit;
b) bei der Bewältigung von anderen ausserordentlichen Lagen, insbesondere im Falle von Katastrophen im In- und Ausland.»

Die Konsequenz aus dieser Aussage im Militärgesetz verlangt von der Armee, geeignete Mittel bereitzuhalten, die Einsatzfähigkeit der personellen und materiellen Mittel sicherzustellen, die Lage im Bereich der Umwelt laufend zu beurteilen und daraus die Bereitschaft zu befehlen. Die Konsequenzen daraus werden in der Folge am Hochwasser vom August 2005 beispielhaft beschrieben.

Rechtliche Grundlagen

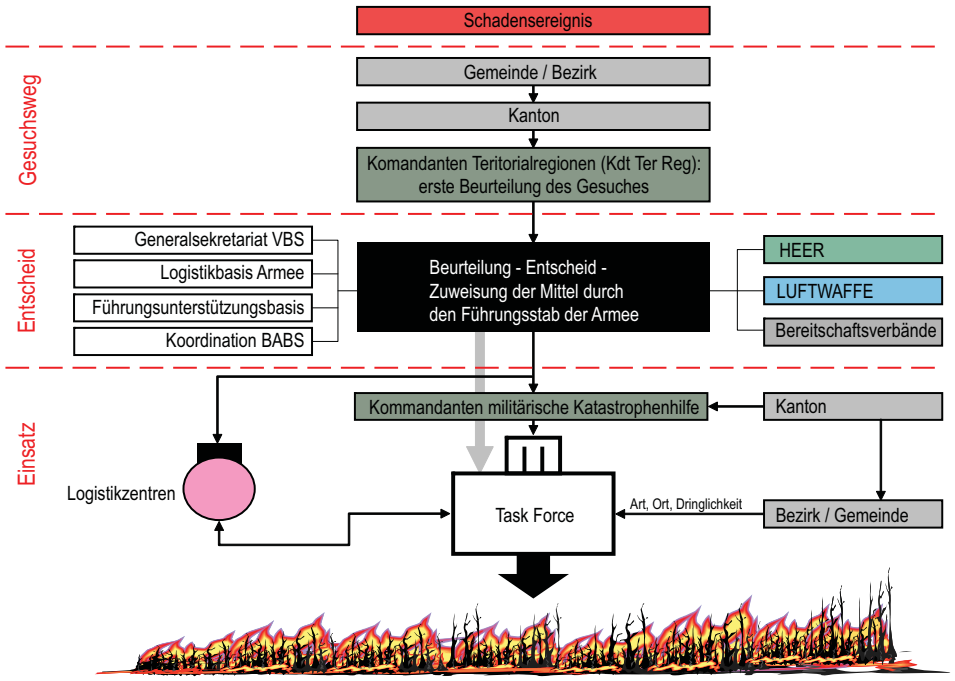
Neben dem Militärgesetz regelt die **V**erordnung über die **m**ilitärische **K**atastrophenhilfe im **I**nland (VmKI; SR 510.213) den Einsatz der Armee für die militärische Katastrophenhilfe. Diese lediglich 16 Artikel umfassende Verordnung gibt der Armee die notwendige Handlungsfreiheit, um rasch und zielgerichtet einzusetzen. Die Verordnung regelt die militärische Katastrophenhilfe, den Truppeneinsatz und die Voraussetzungen für den Einsatz der Armee. Mit dieser rechtlichen Grundlage ist die Armee in der Lage, rasch die zivilen Behörden zu unterstützen.

Vorgehensweise beim Armeeeinsatz

Die Vorgehensweise für einen Armeeeinsatz nach Abb. 9.7 ist standardisiert. In diesem Schema ist auch die bereits angesprochene Verordnung über die militärische Katastrophenhilfe im Inland abgebildet.

Abb. 9.7 > Antragsweg für einen Armeeeinsatz bei aussergewöhnlichen Naturereignissen.

Zusammenarbeit des Führungsstabes der Armee mit den Teilstreitkräften, den Territorialregionen und den Kantonalen Führungsstäben



Antragsweg

Die betroffene *zivile Führung*, sei es Stufe Gemeinde oder Bezirk (je nach Organisation der zivilen Führung), kann, wenn sie personell oder materiell überfordert ist, beim *Kantonalen Führungsstab* Verstärkung beantragen. Der Kantonale Führungsstab kann, falls die eigenen Mittel nicht mehr reichen, die Gesuche an die Kommandanten der *Territorialregionen* 1 bis 4 weiterleiten. Die Territorialregion beurteilt als erstes, ob die beantragte Leistung durch die Armee erbracht werden kann. Falls ja, übermittelt der Kommandant Territorialregion das Gesuch dem *Führungsstab der Armee*. Der Führungsstab der Armee beurteilt die Gesuche zusammen mit den Direktunterstellten des Chefs der Armee und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz, entscheidet über die notwendigen personellen und materiellen Mittel und weist diese der entsprechenden Territorialregion zu.

Einsatzorganisation

Der Kommandant Territorialregion übernimmt als Kommandant militärische Katastrophenhilfe die Führungsverantwortung gegenüber dem eingesetzten militärischen Verband und die zivile Führung ist für die Einsatzverantwortung zuständig. Die zivile Führung legt Art, Ort und Dringlichkeit der militärischen Leistung fest. Dies ist das bewährte Prinzip der Subsidiarität. Ist die militärische Leistung beendet, so gibt der Kommandant Territorialregion die militärischen Verbände wiederum dem Führungsstab der Armee zurück, damit diese allenfalls an weiteren Schadenplätzen eingesetzt werden können.

Regelung Kostenfolge

Eine allfällige Kostenfolge ist ebenfalls in der Verordnung über die militärische Katastrophenhilfe im Inland (VmKI; SR 510.213) geregelt:

> Die Katastrophenhilfe ist in der Regel unentgeltlich.
> Das VBS entscheidet über die Ausnahmen

Das VBS ist im Berechnen von Kosten sehr kulant. Bis heute sind keine Katastrophenbewältigungen bekannt, für die der Bund die Kosten verrechnete.

9.5.2 Führung in «AQUA0805»[2]

Rolle des Führungsstabes der Armee

Das VBS entscheidet über die Hilfebegehren und den Einsatz von Truppen bei Katastrophen, soweit Truppen im Ausbildungs- und Assistenzdienst eingesetzt werden. Aus zeitlichen Gründen kann der Führungsstab der Armee Einsätze für das militärische und zivile Personal der Gruppe Verteidigung, für militärische Verbände und für den Einsatz von Material direkt anordnen.

24 h Operationszentrum

Zu diesem Zweck verfügt der Führungsstab der Armee über ein Operationszentrum, das während 365 Tagen und 24 Stunden erreichbar ist und innert weniger als einer Stunde über notwendige Spezialisten verfügt. Unter der Woche wird an Lagerapporten u. a. auch die Wetterlage beurteilt und je nach Situation die Bereitschaftsgrade für Schlüsselverbände angepasst. Damit der Führungsstab der Armee rasch und zielführend agieren kann, pflegt er einen engen Kontakt zum Chef der Armee und seinen Direktunterstellten sowie auch zu den Territorialregionen und den Bereitschaftsverbänden. Der Führungsstab der Armee führt operativ, d.h. aufgrund der eingegangen Gesuche weist er die militärischen Mittel für eine bestimmte Zeit und einen bestimmten Raum einer Territorialregion zu.

9.5.3 Operative Führung in «AQUA0805»

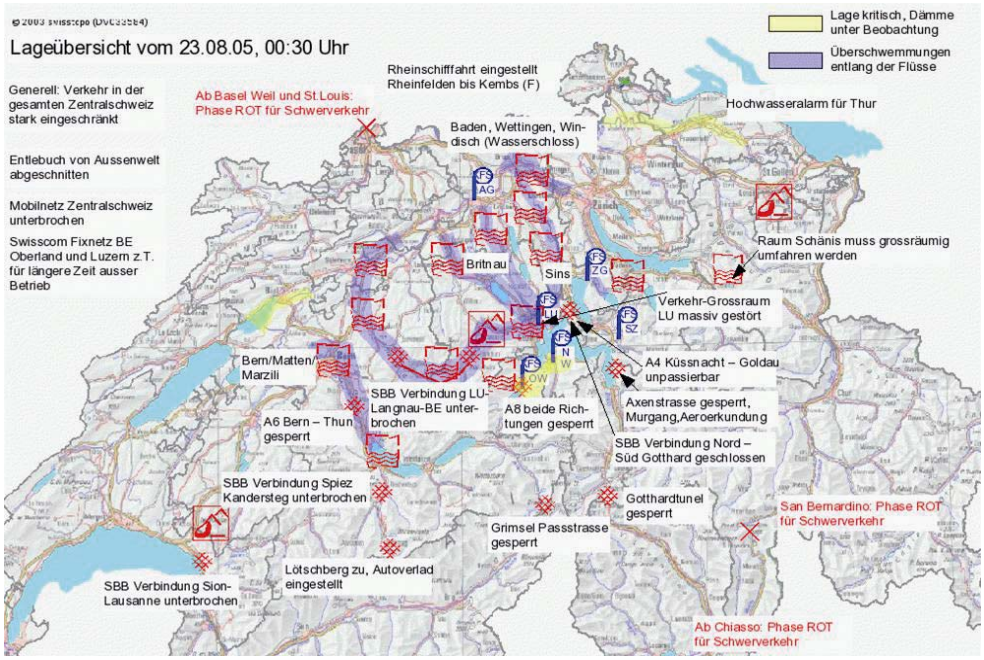
Lagedarstellung und Lageverfolgung

Auch in der ordentlichen Lage beurteilt der Führungsstab der Armee täglich die Geschehnisse in verschiedenen Bereichen. Dazu gehört auch die Wettersituation. Bereits in der Woche vom 15. bis 21.08.2005 erkannte der Führungsstab der Armee das aufkommende Risiko und reagierte vorerst mit dem Überprüfen von Verbindungen zu den Partnern und Bereitschaftstruppen. Nach dem intensiven Regenwochenende vom 20./21.08.2005 bereitete der Führungsstab der Armee die Lage auf und orientierte den Berufsteil des Führungsstabes der Armee ein erstes Mal am 22.08.2005 um 08:00 Uhr (siehe Abb. 9.8).

[2] «AQUA0805» ist der Deckname, unter dem die Armee alle Einsätze im Rahmen des Hochwassers vom August 2005 geleistet hat.

Abb. 9.8 > Allgemeine Lage am 23.08.2005, 0:30 Uhr (Lageübersicht der Nationalen Alarmzentrale NATZ).

Beim Hochwasser vom August 2005 wurde zum ersten Mal durch die Nationale Alarmzentrale NAZ ein Überblick über die bevölkerungsschutzrelevante Lage (BREL) auf Stufe Bund erstellt und über die Elektronische Lagedarstellung (ELD) an die Partner verbreitet. Er beinhaltete Prognosen der Fachstellen, Lageberichte der Kantone und eine Lageübersicht der NAZ und bildete damit ein gute Grundlage für die Lagebeurteilung von Bundesstellen und Netzwerkbetreibern.



Quelle: Nationale Alarmzentrale

Die Lagedarstellung und -verfolgung wurden verdichtet und über mehrere Wochen weitergeführt. Sie waren die Basis, um an den täglichen Lagerapporten die richtigen Entscheide zu fällen. Ein weiteres Element der Lagedarstellung und Lageverfolgung war die hohe Anzahl von Gesuchen der Kantonalen Führungsstäbe. Es ging darum, diese Gesuche zu beurteilen, die richtigen Schlüsse zu ziehen und die adäquaten Mittel zuzuteilen.

Vorbereitung der Bereitschaft

Das Sicherstellen der Bereitschaft ist ein langer und eingespielter Prozess. Truppen, die im August 2005 in den Einsatz kamen, wurden bereits im Jahre 2003 festgelegt. Damit die Schlüsselverbände, die im Übergang von Armee 95 in die Neue Schweizer Armee massiv abnahmen, zweckdienlich im Jahresverlauf platziert werden können, sind Erfahrungswerte zu Rate zu ziehen und auch Annahmen zu treffen. Während des ganzen Jahres hat die Schweizer Armee eine Basis für die Katastrophenhilfebewältigung in Form eines Katastrophenhilfebereitschaftsverbandes in der Grösse von ein bis zwei Katastrophenhilfebereitschaftskompanien. Daneben sind die Rekrutenschulen des Lehrverbandes Genie/Rettung in den letzten ca. fünf Wochen ebenfalls für Katastrophenhilfeeinsätze geeignet. Diese sind auf der Zeitachse gesetzt und nicht verschiebbar. Weiter werden die Katastrophenhilfebataillone, das Pontonierbataillon und das Geniebataillon gelegt und sinnvoll auf die übrigen Zeiten des Jahres verteilt.

Phasen des Unterstützungseinsatzes

Ein Unterstützungseinsatz im Katastrophenfall lässt sich immer in drei Phasen gliedern (Abb. 9.1).

Phase 1: Akutphase/Spontanhilfe

In der Akutphase herrscht Chaos. Helfer fehlen an allen Ecken und Enden. Die VmKI lässt in dieser Phase die Spontanhilfe nach Art 11 zu. Sie ist wie folgt definiert:

1. *Truppen, die sich in der unmittelbaren Nähe eines Schadensereignisses befinden, leisten Spontanhilfe, soweit die Truppenkommandanten dies mit ihrem Auftrag vereinbaren können.*
2. *Die Spontanhilfe ist zeitlich und räumlich begrenzt.*
3. *Die Truppenkommandanten entscheiden selbständig über den Einsatz.*

Bedingt durch diese Handlungsfreiheit der Truppenkommandanten Stufe Einheit, kann rasch, zielgerichtet und effektiv in verschiedenen Räumen geholfen werden. Für die Spontanhilfe steht allerdings «nur» das Material der Einheit oder der zu unterstützenden Gemeinde zur Verfügung. Bei der Spontanhilfe im August 2005 ging es v. a. um die nachstehenden Aufgaben:

- Mithilfe bei der Evakuation der Bevölkerung,
- Schutzmassnahmen wie Abfüllen und Transportieren von Sandsäcken,
- Verkehrsleit- und Verkehrsführungsmassnahmen,
- Abpumpen von Wasser mit Löschwasserpumpen,
- Beratung der zivilen Behörden,
- Überwachung der Entwicklung der Situation.

Somit konnten die Kompaniekommandanten am Montag, 22. August 2005 bereits über 500 Armeeangehörige in den Unterstützungseinsatz bringen. Die Spontanhilfe konzentrierte sich v. a. in den Räumen Ob- und Nidwalden und in Gerlafingen SO. Den Unterstützungseinsatz begrenzte der Führungsstab der Armee je nach Schadenlage auf 48 bis 72 Stunden.

Phase 2: Katastrophenhilfe

Die Akutphase nutzte der Führungsstab der Armee dazu, Absprachen durchzuführen und die Befehlsgebung vorzubereiten, um anschliessend die Katastrophenhilfe geordnet und klar befehlen zu können. Es ging darum, den betroffenen Territorialregionen 1, 2 und 3 rasch Mittel zu unterstellen. Am Montag, 22. August 2005 hatte der Führungsstab der Armee befohlen und am Dienstag, 23. August 2005 standen über 1500 Mann im Einsatz. Eine Woche später waren es das Doppelte. In dieser Phase 2 leistete die Truppe unter den Kommandanten der Territorialregionen verschiedene Aufträge. Bei den Rettungsarbeiten ging es um die Mithilfe bei der Evakuation der Bevölkerung und die Betreuung von Evakuierten. Primär wollte man das öffentliche Leben so rasch als möglich wieder in den Normalzustand überführen und Folgeschäden möglichst verhindern. Die Instandstellung der öffentlichen Infrastrukturen war ein Schwergewicht der zu leistenden Aufgaben. Die Aufgaben können etwa in diese Kategorien gruppiert werden:

- Sicherstellen von Telefon- und Datenversorgungen, nachdem im Berner Oberland die Kommunikationen der SWISSCOM über Wochen nicht mehr funktionierte
- Öffnen von Verkehrsträgern, primär in abgeschnittene Gebiete wie Engelberg und Einbau von Notbrücken an verschiedenen Orten in der Innerschweiz
- Freilegen von Gewässern, indem Gräben von Schwemmholz geräumt und Bachbetten und Kiessammler ausgebaggert wurden
- Beratung ziviler Behörden durch Spezialisten
- Logistische Aufgaben wie Transporte, etc

Die Luftwaffe erstellte und betrieb eine Luftbrücke im Raum Engelberg OW – Buochs NW bis zum Funktionieren der Notstrasse nach Engelberg und führte Rekognoszierungs-, Evakuations- und Versorgungsflüge durch.

Daneben übernahm die Armee zur Entlastung der Polizei auch Aufgaben im Bereich Verkehrsleit- und Verkehrsführungsmassnahmen. Um Plünderern zuvorzukommen, überwachte die Militärpolizei gesperrte Gebiete.

Die Phase Katastrophenhilfe schloss die Armee am 31. August 2005 aufgrund der Lage ab.

Phase 3: Räumphase

In weniger schwerwiegenden Katastrophen kann der Einsatz der Armee zu Beginn der Phase 3 beendet werden. Die VmKI legt in Art 4, Abs. 2 fest: *«Die Truppe darf ausserhalb der oben aufgeführten Einsätze nicht für Aufräumungs- oder Instandstellungsarbeiten eingesetzt werden. Das Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) entscheidet über die Ausnahmen.».* Aufgrund der prekären Lage in einigen Regionen wurden solche Ausnahmen festgelegt. In dieser Räumphase hat der Führungsstab der Armee die legale Basis von «Katastrophenhilfe» zu «VEMZ-Einsätze» (Verordnung für militärische Einsätze zu Gunsten ziviler Organisationen) gewechselt. Damit konnte die Armee auf Gesuch der zivilen Führung die Unterstützung fortsetzen. Allerdings mussten die Kantone den Nachweis erbringen, dass das zivile Gewerbe durch die Armee nicht konkurrenziert wurde.

9.5.4 Taktische Führung in «AQUA0805»

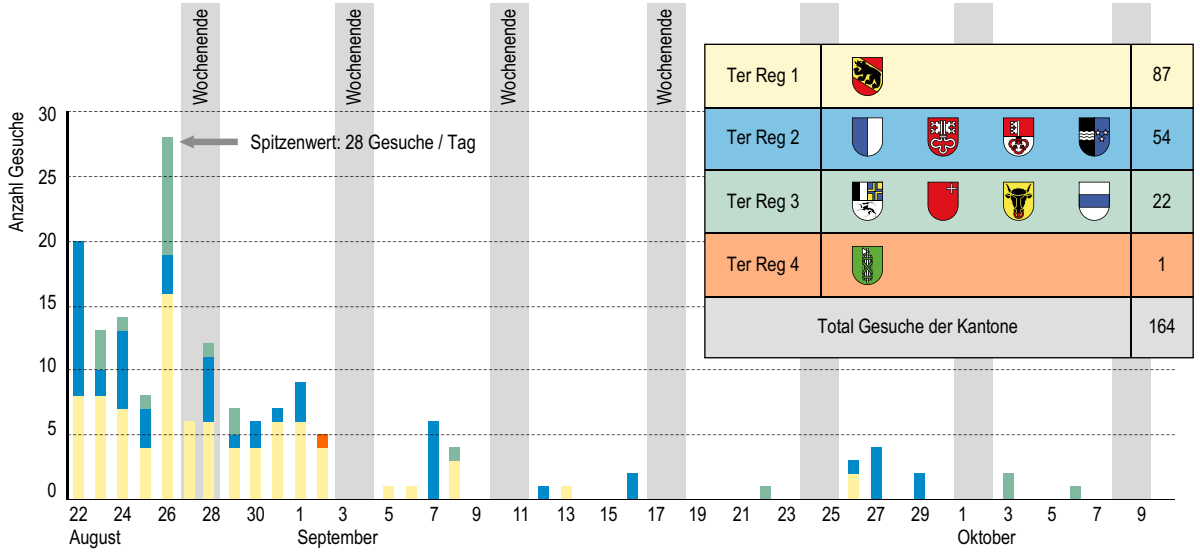
Taktische Führung ist die Umsetzung der Vorgaben, Weisungen und Befehle der operativen Stufe in Pläne und Befehle für das taktische Handeln. Die Taktische Führung in Katastrophenhilfeeinsätzen obliegt den Kommandanten der Territorialregionen 1 bis 4. Diese sind in dieser Phase dem Chef Führungsstab der Armee unterstellt. Die Kommandanten Territorialregion sind in einer solchen Situation enge Partner der kantonalen Führungsstäbe. Sie beraten diese über einen wirkungsvollen Einsatz der militärischen Mittel und führen die Truppe im Einsatz.

9.5.5 Zeitverhältnisse

Da der Führungsstab der Armee während 24 h erreichbar ist und innert 90 Minuten die Arbeit im Operationszentrum aufnehmen kann, wurden erste Gesuche für Luftauf-

klärung am Montag, 22.08.05 noch vor Tagesanbruch bewilligt. Wie im Abschnitt «Phase 1 – Akutphase/Spontanhilfe» dargelegt, konnten erste Leistungen ohne Armeebefehl am ersten Katastrophentag erbracht werden. Diese Zeit nützte der Führungsstab der Armee für die Befehlsgebung am 22.08.05 und brachte maximal bis zu 3000 Mann in den Einsatz. Auf Lageveränderungen und auf neue Gesuche wurde mit entsprechenden Teilbefehlen reagiert. Damit konnte die militärische Hilfe auf die aktuellen Brennpunkte fokussiert werden. Mit insgesamt elf Teilbefehlen wurden die militärischen Einsätze gesteuert. Mit der Abnahme der Gesuche der Kantone (Abb. 9.9) in den Monaten September und Oktober 2005 konnte auch laufend die militärische Hilfe reduziert werden. Der Wintereinbruch verordnete eine Zwangspause bis zur Schneeschmelze. Verschiedene Aufträge wurden erst in den Monaten Mai/Juni 2006 zu Ende geführt. Einzelne Aufträge mussten aufgeschoben werden bis zum Moment, wo wieder geeignete Truppen im Dienst standen.

Abb. 9.9 > Gesuche der Kantone in den Monaten August und September.



9.5.6 Eingesetzte Mittel und Leistungen der Armee

Obwohl die Armee nur subsidiär eingesetzt wurde, waren ihre Leistungen entsprechend dem Ausmass des Ereignisses ausserordentlich (Abb. 9.10). In der Folge werden deshalb nur ausgewählte militärische Leistungen erläutert.

Sicherstellung der Kommunikation (Telefon, Datenverkehr)

Im Diemtigtal BE und im Urner Reusstal wurden die Telefon- und Datenverbindungen zerstört. Die Swisscom war aus Gründen der umfassenden Zerstörung nicht in der Lage, die Kommunikationsträger rasch aufzubauen. Mittels Richtstrahlverbindungen mit Geräten der Armee wurde der Telefon- und Datentransport im Raume Erlenbach–Oey Diemtigen–Horboden und Amsteg–Rinächt–Altdorf sichergestellt. Um den Funkverkehr der Kantonspolizei Bern im Simmental sicherzustellen, richtete die Armee ein Funkrelais ein.

Kennzahlen über wichtigste Armeeleistungen

Die nachstehenden Kennzahlen (Tab. 9.2) beziehen sich nur auf Schwergewichtsleistungen und sind keinesfalls vollständig.

Tab. 9.2 > Einsätze der Armee beim Hochwasser 2005.

Baumaschinen und schwere Transportmittel	
Bagger	970 Baggertage – total ca. 10'000 Maschinenstunden; gleichzeitig maximal 36 Bagger im Einsatz; >3.5 Mio. m³ Schutt umgewälzt
Kipper	1140 Kippertage; gleichzeitig maximal 46 Kipper im Einsatz; 7 bis 8 m³ Schutt pro Kippertransport
Schwere Lastwagen	293 Lastwagentage, Total 76'000 km; gleichzeitig maximal 32 Lastwagen im Einsatz; 1773 t Futtermittel transportiert
Sonstige Leistungen	
Einbau von fünf Notbrücken	(Feste Brücke 69) in Malters (LU), Wolhusen (LU), Engelberg (OW), Alpnach (OW) und Reichenbach im Kandertal (BE); Ende 2007 waren die Notbrücken in Engelberg, Malters, Reichenbach im Kandertal und in Alpnach immer noch in Betrieb
Bergen von Schwemmholz	Volumen: > 3000 m³ Schwemmholz; Teilweise Verarbeitung zu Schnitzel für Heizungen. Zur Hauptsache aber Abtransport in die Kehrichtverbrennungsanlage in Thun
Lufttransporte	Flugstunden: 190 Stunden mit der Alouette 3 und 280 Stunden mit dem Superpuma; Transportvolumen: Bei Evakuationen und mit der Luftbrücke Engelberg wurden ca. 9500 Personen transportiert und ca. 860 t Güter (Versorgung/Entsorgung), Schwemmholz, Tiere, etc verschoben
Wassertransport (Auszug)	Wassertransport (Auszug) 9 km Wassertransportschläuche; 5,2 km Trinkwasserschläuche; 101 Löschwasserpumpen; 27 Boote

Abb. 9.10 > Armee im Einsatz.

9.5.7 Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS)

Institutionalisierung der Zusammenarbeit

Bei der Bewältigung kamen in der überregionalen Hilfe neben der Armee v. a. die Mittel der Kantone (v. a. Zivilschutzes) zum Einsatz. Bei verschiedenen Hilfegesuchen waren nicht unbedingt die schweren Mittel der Armee gefragt oder Schutzdienstleistende waren für die Erfüllung der Aufgabe besser geeignet. Um unter diesen Voraussetzungen den Mitteleinsatz zu optimieren, wurde die Zusammenarbeit zwischen Armee und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz institutionalisiert. In den Lagerapporten der Armee nahm ein Vertreter des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz Einsitz mit dem Zweck, die eingetroffenen Gesuche zu analysieren. Hier wurde entschieden, welche Arbeiten dem Zivilschutz übertragen und welche durch die Armee ausgeführt werden.

9.5.8 Folgerungen

Zusammenfassend lassen sich nachstehende Folgerungen aus dem Armeeeinsatz beim Hochwasser vom August 2005 ziehen:

- Die Armee hat die Herausforderung gemeistert und ihre Handlungsfreiheit war jederzeit sichergestellt. Der Einsatz der Armee in Katastrophen läuft nach klaren Regeln ab und ist immer subsidiär.
- Die Schweiz leistet sich einen Bereitschaftsverband für die Katastrophenhilfe, der während des ganzen Jahres durch die Armee eingesetzt werden kann.
- Durch eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen ziviler Führung und militärischer Führung werden Schlüsselverbände und Schlüsselgüter rasch und zielgerichtet an die Schadenplätze gebracht und die Leistung sichergestellt.
- Die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz wurde ein erstes Mal erfolgreich durchgeführt.

Zusammenarbeit der Partner verbessern

Die wichtigste Lehre aus dem Hochwasser vom August 2005 betrifft die Zusammenarbeit aller Partner. Dabei sind Unterschiede in der Qualität feststellbar. Die Prozesse laufen uneinheitlich ab. Die Zusammenarbeit zwischen den Territorialregionen und den kantonalen Führungsstäben wird unterschiedlich wahrgenommen. Die Zusammenarbeit muss auf den bestehenden Grundlagen verbessert und optimiert werden (Verordnung über die territorialen Aufgaben, zivil-militärische Zusammenarbeit). Die Ausbildung soll vereinheitlicht werden. Die Prozesse im Rahmen der Tätigkeiten Territorialregion – kantonale Führungsstäbe sollen ausgebildet und im Rahmen von kombinierten Stabsübungen verbessert werden.

9.6 Fachdienste Naturgefahren

Christoph Hegg, Gian Reto Bezzola, Anja Koschni

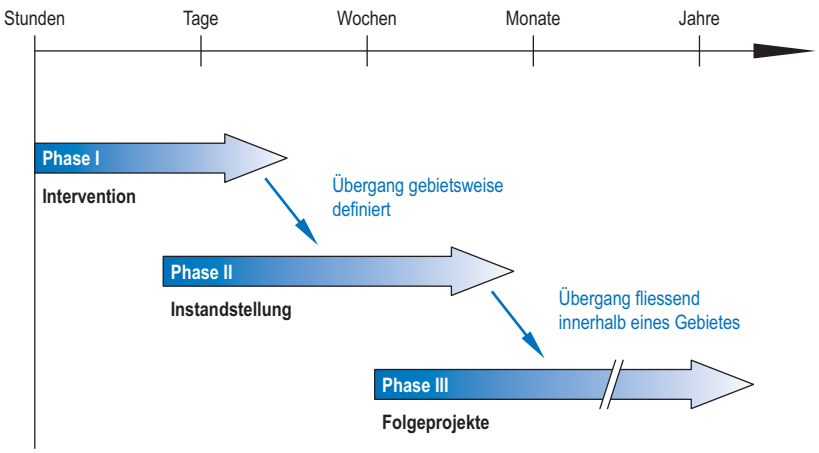
9.6.1 Einführung

Die nachfolgenden Erläuterungen basieren auf Interviews, welche die Autoren mit Vertretern der Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen der Kantone Bern, Luzern, Nidwalden, Obwalden, Uri und Graubünden sowie mit den Wasserbauingenieuren und weiteren Vertretern des Bundesamtes für Umwelt geführt haben. Während dieser Gespräche wurde in einer ersten Phase Rückschau auf das Hochwasser 2005 gehalten, um dann in einer zweiten Phase auf die in Kap. 9.8 skizzierten konzeptionellen Überlegungen und das mögliche Entwicklungspotenzial generell zu kommen.

Gliederung des Kapitels

Das Kapitel ist dabei in zwei Teile gegliedert. In einem ersten Teilkapitel werden die Aktivitäten und Erkenntnisse der kantonalen Fachstellen während der eigentlichen Intervention (Phase I in Abb. 9.11) erläutert. Die Instandstellung in Phase II wird dann in einem zweiten Teilkapitel dargelegt. Die Tätigkeiten der Fachstellen des Bundes werden in einem dritten Teilkapitel aufgezeigt.

Abb. 9.11 > Abfolge der Phasen bei einem aussergewöhnlichen Naturereignis bei den Fachdiensten Naturgefahren.



9.6.2 Die Rolle der kantonalen Fachdienste in der Interventionsphase

Unmittelbare Bewältigung ist Aufgabe der Gemeinden

In allen Kantonen ist die unmittelbare Bewältigung eines aussergewöhnlichen Naturereignisses die Aufgabe der Gemeinden. Alle Befragten sind sich einig, dass dies so grundsätzlich richtig ist. Gerade in einer Akutphase sind die Kommunikationsmöglichkeiten teilweise sehr stark eingeschränkt, weshalb jede Gemeinde, ja teilweise jeder Siedlungsteil, in der Lage sein muss die ersten Stunden oder Tage selbständig zu bewältigen. Der Kanton kann dazu den betroffenen Gemeinden allenfalls Ressourcen zuweisen. Weitgehend in der Verantwortung der Kantone liegt aber oft die Öffnung unterbrochener Kommunikationswege.

Doppelrolle der kantonalen Fachstellen

Alle befragten kantonalen Fachstellen hatten deshalb unmittelbar beim Ereignis vom August 2005 (Phase I gemäss Abb. 9.11) eine Doppelrolle zu bewältigen. Sie waren einerseits, wie dies auch bei kleinen Ereignissen der Fall ist, fachliche Berater der Gemeinden vor Ort. Andererseits unterstützten sie die kantonalen Führungsorganisationen in unterschiedlichen Rollen bei ihrer Entscheidungsfindung. Diese Doppelbelastung führte u. a. zu folgenden Problemen, die nur mit grösstem Einsatz der verantwortlichen Personen kompensiert werden konnten.

Beratertätigkeit für Gemeinden

Die Beratertätigkeit bei den Gemeinden war teilweise nur mit einer erheblichen zeitlichen Verzögerung gegenüber dem Ereignis möglich, da es in einzelnen Fällen mehrere Tage dauerte, bis ein Vertreter des Kantons sich vertieft mit den lokalen Problemen auseinandersetzen konnte. Grösstenteils konnten diese Lücken aber durch rasch aufgebotene private Ingenieure gefüllt werden. Diese Unterstützung durch Private hat sich v. a. dort bewährt, wo auf Personen zurückgegriffen werden konnte, die schon über einschlägige Erfahrungen (z. B. aus Gefahrenbeurteilungen) verfügten. Ohne diese temporäre Verstärkung wären die kantonalen Fachstellen nicht in der Lage gewesen, die Ereignisse angemessen zu bewältigen.

Informationsbeschaffung als Grundlage für Beratung kantonaler Führungsorgane

Während und unmittelbar nach jedem grösseren Ereignis geht es v. a. darum, sich aufgrund von Meldungen vor Ort ein erstes Bild zu verschaffen. Hinsichtlich der gemeldeten Prozesse und dem Wissen um deren Problematik, erfolgt die Beratung der Einsatzkräfte hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen, den besonders schadensträchtigen Versagensmöglichkeiten und damit den prioritären Einsatzorten sowie über speziell zu beachtende Gefahren, welche vor Ort nicht erkennbar, aber aufgrund des Prozesses zu erwarten sind. Die Einsatzkräfte sind im Weiteren bei ihren Massnahmen zu begleiten und zu beraten, insbesondere ob die Massnahmen am richtigen Ort und mit den richtigen Mitteln vorgesehen sind bzw. wo welche Massnahmen ergriffen werden sollten. Weil in den Gemeinden in der Regel Naturgefahrenfachleute fehlten, welche entsprechende Meldungen in einer vorbereiteten und für die Fachstellen nachvollziehbaren Art und Weise erstellt hätten, blieb den kantonalen Behörden dazu oft einzig die zeitaufwendige Besichtigung vor Ort. Alle angesprochenen Fachstellen wünschen sich deshalb in den Gemeinden vor Ort Ansprechpartner mit einem minimalen fachlichen Wissen, die einerseits Informationen für die Fachstellen beschaffen können. Andererseits sollten die gleichen Personen befähigt werden, dieses Fachwissen in die lokalen Führungsorgane einzubringen, damit auch dort der Beratungsaufwand für die kantonalen Stellen reduziert werden kann.

Kleine Ereignisse ohne Beizug der Fachstellen bewältigt

In verschiedenen Kantonen wurden kleinere Ereignisse oft auch ohne Einbezug der kantonalen Fachstellen durch die Gemeinden bewältigt. Ob dabei immer alle heute gültigen fachlichen Grundsätze eingehalten werden konnten, wurde aber nicht überprüft und bleibt offen. Es ist aber möglich, dass dabei teilweise Arbeiten in Phase I umgesetzt wurden, die eigentlich in Phase II oder III anzusiedeln wären. Auch hier könnten evtuell entsprechend informierte Personen vor Ort korrigierend wirken.

Nach Beurteilung der Fachstellen hatten diese Probleme kaum längerfristige Folgen. Nur in wenigen Fällen wurden Massnahmen getroffen, die im Nachhinein aus Sicht der Fachleute Naturgefahren nicht adäquat waren. Nur in Ausnahmefällen mussten deshalb ausgeführte Massnahmen nachträglich wieder rückgängig gemacht werden. Dabei handelte es sich v. a. um rasch nach dem Ereignis instand gestellte Landwirtschaftsflächen, die aus Naturgefahrensicht dem Gewässerraum zugeschlagen wurden.

9.6.3 Die Rolle der kantonalen Fachdienste in der Instandstellungsphase

Eine völlig andere Rolle nehmen die Fachdienste Naturgefahren in der Phase II gemäss Abb. 9.11 ein. Hier haben sie grundsätzlich die Federführung bei der Erstellung einer minimalen Sicherheit. Dabei sind nicht mehr die Führungsorgane des Bevölkerungsschutzes die Partner, sondern v. a. die übrigen Fachstellen der Kantone bzw. des Bundes, die dies auch im «Normalfall» sind. Allerdings herrscht in der Instandstellungsphase ein unvergleichlich viel grösserer Zeitdruck, der nicht im Rahmen der normalen Verfahren abgewickelt werden kann. Um die verschiedenen Interessen trotzdem innerhalb möglichst kurzer Zeit zu koordinieren und entsprechende Massnahmen zu realisieren, wurden je nach Kanton unterschiedliche Vorgehensweisen gewählt:

Unterhaltsanzeigen

Ein vielfach angewendetes Werkzeug sind Unterhaltsanzeigen. Diese ermöglichen es, geplante Massnahmen interessierten Kreisen mit kurzen Fristen zur Stellungsnahme zu unterbreiten. Kombiniert mit gemeinsamen Sitzungen aller Interessierten liessen sich damit oft innerhalb kurzer Fristen breit abgestützte Entscheide fällen und dann auch in Massnahmen umsetzen. Mit diesem Werkzeug können v. a. Fachstellen einbezogen werden, die auch sonst bei Naturgefahrenprojekten mitwirken (z. B. Naturschutzfachstellen) und die deshalb auch in der Anwendung dieses Werkzeuges Übung haben.

Besondere Verwaltungsorganisation

Ein anderer Weg wurde z. B. im Kanton Uri gewählt. Mit Auflösung der kantonalen Führungsorganisation wurde vom Regierungsrat zehn Tage nach dem Ereignis eine spezielle kantonale Verwaltungseinheit für die Koordination der Not- und Sofortmassnahmen und einen guten und möglichst raschen Abschluss unter der Leitung des Amtes für Umweltschutz eingesetzt. In dieser Verwaltungseinheit waren alle Dienststellen vertreten, die etwas zur Lösung der anstehenden Probleme beizutragen hatten. Der Kreis der Beteiligten musste dabei in Uri wegen der Problematik der ausgelaufenen Industriechemikalien im Raum Schattdorf – Altdorf wesentlich weiter gefasst werden als in anderen Fällen. Diese Verwaltungseinheit fällte bei wöchentlichen Sitzungen alle wichtigen Entscheide. Per 19.12.2005 wurde diese Organisation wieder aufgelöst.

Lokale lösungsorientierte Ereignisanalysen

Im Kanton Bern wurden für die sechs am stärksten betroffenen Gebiete lokale lösungsorientierte Ereignisanalysen (LLE) erarbeitet. Der Beschluss dazu wurde kurz nach dem Ereignis gefällt, war aber nicht vorbereitet. Diese LLE's wurden in der Regel durch eine Arbeitsgemeinschaft mehrerer privater Büros bearbeitet und hatten den Auftrag, mögliche Varianten zur Lösung der beim Ereignis vom Hochwasser 2005 sichtbar gewordenen Probleme aufzuzeigen. Dazu gehörte die detaillierte Analyse der aufgetretenen lokalen Prozesse. Mittels beschleunigter Konsultationsverfahren waren grundsätzlich alle zu begrüssenden Amtsstellen in den Prozess der Erarbeitung involviert.

Hauptaufgabe: Koordination

Bei all diesen Arbeiten zeigte sich ein Hauptproblem: Die Koordination zwischen den zahlreichen zu beteiligenden Fachstellen von Bund und Kantonen. Unabhängig vom gewählten Modell waren die meisten involvierten Amtsstellen allein durch die Zahl der zu bearbeitenden Projekte sehr stark gefordert, wobei dies sowohl auf die federführenden Naturgefahren- und Wasserbaufachstellen als auch auf die einzubeziehenden Fachstellen (z. B. für Naturschutz oder Fischerei) zutrifft. Jede dieser Fachstellen war zur Setzung von Prioritäten gezwungen. Aus ihrer Sicht weniger heikle Projekte wurden weniger intensiv betreut.

Informelle Abläufe

Erschwerend kommt hinzu, dass viele der Abläufe, und v. a. die Möglichkeiten diese zu beschleunigen, nicht formell festgelegt sind. Sie funktionieren hauptsächlich deshalb, weil sich die Beteiligten kennen und aus ihrer Erfahrung wissen «Wie man es macht».

Während dieser Phase erfolgt auch die Instandstellung von Flurschäden und einzelnen Objekten durch Private. Dabei ist zumindest teilweise Beratung durch Naturgefahrenfachleute erforderlich, insbesondere wenn auch Objektschutzmassnahmen realisiert oder Flurschäden nachhaltig saniert werden sollen. Hier kommt den kantonalen Fachstellen je nachdem eine vermittelnde (von entsprechend qualifizierten Spezialisten) koordinierende und auch eine generell unterstützende Rolle zu.

9.6.4 Die Rolle der Fachstellen des Bundes

Abgesehen von jenen Fachstellen, die an der Erarbeitung von Prognosen beteiligt waren (MeteoSchweiz und Abteilung Hydrologie des BAFU), spielten die Fachstellen des Bundes in der Phase I für die Kantone keine wesentliche Rolle. Ihre Aufgabe beschränkte sich weitgehend darauf, sich einen Überblick als Grundlage für die eigene Tätigkeit im Anschluss an das Ereignis zu verschaffen, aber auch für die Information von Bundesrat und Öffentlichkeit, was auch sehr viel Aufwand bedeutete. Eine beratende Tätigkeit in Bezug auf die Interventionen, sei es für die Kantone oder für andere Stellen des Bundes, fand kaum statt. Einzige Ausnahme bildeten dabei Entscheide zu Anträgen der Kantone zur Abweichung von den Seereglementen im Ereignisfall und die damit verbundenen Beurteilungen.

Zentrale Rolle in Phase II

Dies änderte sich mit dem Beginn der Phase II, in der v. a. die Naturgefahrenfachstellen, aber auch andere Amtsstellen, zentrale Ansprechpartner für die Kantone waren. Folgende Aspekte wurden dabei parallel behandelt:

- Finanzielle Regelungen
- Beratung
- Bewilligungen, Projektfreigaben, Subventionszusagen

Hoher Koordinationsaufwand

Dabei stellten sich ähnliche Probleme wie bei den Kantonen. Die Vielzahl von Projekten und die hohe terminliche Dringlichkeit aller Anfragen führten zu einer ausserordentlichen Belastung die parallel zum Tagesgeschäft, zu dem u. a. eine Reorganisation der Ämter gehörte, bewältigt werden musste. Dies führte dazu, dass auch von Bundesseite her nicht allen Projekten die gewünschte Aufmerksamkeit entgegengebracht werden konnte und, dass teilweise erst zu einem sehr fortgeschrittenen Projektzeitpunkt wichtige Überlegungen stattfanden. Weitgehend auf das notwendige Minimum wurde die Koordination mit anderen Bundesstellen beschränkt.

9.6.5 Folgerungen

Strukturierte Abläufe für Instandstellung prüfen

Sowohl auf Kantons- wie auf Bundesstufe stellte die aussergewöhnliche Anzahl von Projekten eine grosse Herausforderung dar. Deren Bearbeitung wurde in Phase II dadurch erschwert, dass teilweise nicht auf eingespielte Verwaltungsabläufe zurückgegriffen werden konnte. Eine gewisse vorbereitete Formalisierung für den Fall eines ausserordentlichen Grossereignisses erscheint deshalb durchaus angezeigt. Diese darf aber nicht allzu weit führend sein, da sonst vermutlich die notwendige Flexibilität im Einzelfall fehlen wird. Eine derartige Formalisierung erscheint einerseits sowohl für die Zusammenarbeit innerhalb von Bund und Kantonen bzw. für die Zusammenarbeit Bund – Kantone aber auch Kantone – Gemeinden sinnvoll. Andererseits ist für die Instandstellungsphase nach Grossereignissen eine vorbereitete Strukturierung der internen Abläufe bei Bund, Kantonen und Gemeinden nach dem Vorbild des Kantons Uri zumindest prüfenswert. Dabei können auch Erfahrungen und bewährte Abläufe aus der Interventionsphase zum Vorbild genommen werden.

Fachwissen vor Ort

Sowohl in Phase I als auch in Phase II fehlten den Naturgefahrenfachstellen vieler Kantone in den meisten Gemeinden fachliche Ansprechpartner. Diese könnten einerseits in Phase I fachlich fundierte Informationen über den aktuellen Stand in den Gemeinden an den Kanton weiterleiten und andererseits in Phase II Kenntnisse über die geltenden Abläufe in die Gemeinden tragen. Diese Aufgaben könnten durchaus von jenen Personen wahrgenommen werden, welche die fachliche Beratung der Führungsstäbe im Ereignisfall wahrnehmen.

Ausgebildetes Personal bereithalten

Alle Formalisierungen der Abläufe und Verstärkungen des Fachwissens auf Stufe Gemeinde nützen aber nichts, wenn die personellen Ressourcen und das Know How zur Bewältigung derartig aussergewöhnlicher Situationen auf Stufe Bund und Kanton nicht langfristig und nachhaltig sichergestellt sind. Die Sicherstellung einer entsprechenden Personalausstattung der Naturgefahrenfachstellen und ein genügend grosser Bestand an Fachleuten generell ist deshalb Grundvoraussetzung.

Hohe fachliche und kommunikative Anforderungen

Neben einem ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Grundwissen müssen Personen, die bei grossen Naturereignissen eine massgebliche Rolle spielen, v. a. auch in der

Lage sein, Entscheide zu fällen und bei Betroffenen und Politikern fundiert zu vertreten. Gerade bei Entscheiden, nichts oder noch nichts zu machen, können einfache und pragmatische Risikoüberlegungen hilfreich sein. Entsprechende fachliche Kompetenzen wie auch die kommunikativen Fähigkeiten sind deshalb bei der Auswahl von Personen für entsprechende Funktionen mindestens gleich bedeutend wie die klassischen fachlichen Fähigkeiten.

9.7 Weitere Fachstellen

Christoph Hegg, Gian Reto Bezzola, Anja Koschni

Neben den Naturgefahrenfachstellen waren sowohl in den Kantonen als auch beim Bund weitere Stellen involviert. Einige dieser Stellen machten in ihrem Rückblick auf das Hochwasser 2005 auf verschiedene Probleme aufmerksam, die in der Folge der Massnahmen unmittelbar nach dem Hochwasserereignis aufgetreten sind. Vor allem wurde der mangelnde Einbezug anderer betroffener Fachstellen angesprochen. Es ist im Moment noch nicht klar, wie diese Probleme genau einzuordnen sind und welches die geeigneten Massnahmen zu ihrer Behebung sein könnten. Eine vertiefte Betrachtung in Folgeprojekten erscheint jedoch angezeigt.

9.8 Konzeptionelle Überlegungen zu Rolle und Aufgaben der Fachdienste

Christoph Hegg, Gian Reto Bezzola, Anja Koschni

9.8.1 Einführung

Grosses Entwicklungspotenzial

Im Grossen und Ganzen wurde das Ereignis vom August 2005 gut bewältigt, wenn der Stand des Wissens und die geltenden Organisationsregeln zum Zeitpunkt dieses Hochwassers berücksichtigt werden. Das Ereignis hat aber auch gezeigt, dass noch ein grosses Entwicklungspotenzial vorhanden ist, v. a. wenn die Entwicklung bis heute mit einbezogen wird. Das Ziel des vorliegenden Kapitels ist, mögliche Ansatzpunkte zu einer verbesserten Bewältigung von Naturgefahren aufzuzeigen, ohne dabei schon auf konkrete Lösungen einzugehen. Das Studium von möglichen Lösungen, deren sorgfältige Evaluation und letztlich die Umsetzung der jeweiligen Bestvarianten wird im Rahmen von Folgeprojekten realisiert werden müssen.

Vorhandenes Wissen besser berücksichtigen

Aus vielen der in den Kap. 9.2–9.7 erläuterten Erfahrungsberichten geht hervor, dass nicht immer alles verfügbare Wissen in die Entscheide eingeflossen ist, die nach dem Hochwasser vom August 2005 gefällt wurden. Unmittelbar vor, während und nach einem aussergewöhnlichen Naturereignis sind sehr viele unterschiedliche Stellen in der einen oder anderen Art in den Umgang mit diesem Ereignis und seinen Folgen integriert. Alle erheben den grundsätzlich berechtigten Anspruch, dass ihr spezifisches Wissen dabei mitberücksichtigt wird. Viele wünschen sich, dass andere ihr Wissen besser und rascher einbringen, damit es sinnvoll umgesetzt werden kann.

Unterschiedliche Beteiligte in unterschiedlichen Phasen

Während und nach aussergewöhnlichen Naturereignissen sind zahlreiche Stellen und Institutionen mit ihren Erfahrungsträgern in unterschiedlichster Art und Weise ins Geschehen involviert. Es ist wohl von vornherein ausgeschlossen, dass all diese Leute zu jedem Zeitpunkt vor während und nach einem Ereignis an allen Entscheiden, die v. a. zu Beginn sehr rasch gefällt werden müssen, beteiligt sind. Deshalb wird hier vorgeschlagen, diese Bewältigungsphase in die in Kap. 9.1 kurz erläuterten Phasen zu unterteilen. Für die Phasen Intervention und Instandstellung werden die zu lösenden Aufgaben skizziert und Ansätze für mögliche organisatorische Regelungen erläutert. Dabei wird der Fokus ganz bewusst auf die Aufgaben des Staates gerichtet und die privat zu bewältigenden Aufgaben nur insofern berücksichtigt, als dass sie einen massgeblichen Einfluss auf die Aktivitäten von staatlichen Stellen haben. So wird insbesondere die Rolle der Gebäude- und Privatversicherungen nicht ausgeführt. Die Erläuterungen zur Phase der Folgeprojekte begrenzen sich auf Aspekte mit massgeblichen Auswirkungen auf die übrigen Phasen sowie auf deren Begründung. Zusammenfassend sind alle drei Phasen grafisch in Abb. 9.11 dargestellt und in Tab. 9.3 stichwortartig beschrieben.

Tab. 9.3 > Stichwortartige Beschreibung der drei Phasen im Zusammenhang mit der Bewältigung von aussergewöhnlichen Naturereignissen.

Ziel	Zeitpunkt	Federführung	Weitere zwingend beteiligte Fachstellen	Weitere Fachstellen	Wichtigste (gesetzliche) Grundlagen	Örtliche Abgrenzung
Intervention						
Unmittelbares Weiterleben ermöglichen, Begrenzung des Schadens	Unmittelbar vor, während und nach einem aussergewöhnlichen Naturereignis	Bevölkerungsschutz bzw. kantonale Führungsstäbe	Naturgefahren, Gesundheit, technische Betriebe, Wasserwirtschaft	Strassen, Bahn, Umwelt	Bevölkerungsschutzgesetz	Begrenzt auf das Ereignisgebiet und sein unmittelbares Umland
Instandstellung						
Erstellen einer angemessenen minimalen Sicherheit sowohl vor Naturgefahren als auch beim Betrieb von Infrastrukturen	Nach Abschluss der Intervention	Naturgefahrenfachstelle, Versicherungen	Bahn, Strassen, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Zivilschutz, technische Betriebe	Raumplanung, Umwelt- und Naturschutz, Gesundheit, Finanzverwaltung, Versicherungen	Wasserbaugesetz, Waldgesetz	Begrenzt auf das Ereignisgebiet und sein unmittelbares Umland
Folgeprojekte						
Reduktion des Restrisikos auf ein angemessenes Mass	Immer, ausser während der Intervention und Instandstellung	Naturgefahrenfachstelle	Raumplanung, Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft, Waldwirtschaft	Bahn, Gesundheit, technische Betriebe, Strassen, Bevölkerungsschutz, Denkmalpflege, Finanzverwaltung, Versicherungen	Wasserbaugesetz, Waldgesetz, Raumplanungsgesetz	Kann überall stattfinden, Folgeprojekte verschiedener Ereignisse laufen parallel

9.8.2 Phase I: Intervention

Das Ziel der Intervention ist, aufbauend auf permanenten präventiven Massnahmen, die Begrenzung der Schäden mittels temporären Massnahmen. Aufgrund der begrenzten Mittel ist es wichtig, dass die Noteinsätze auf die effektivsten Massnahmen ausgerichtet sind. Falls sich Schäden nicht vermeiden lassen, soll möglichst rasch die Rückkehr zu einer minimalen Normalität möglich sein.

Rückkehr zu minimaler Normalität

Unter minimaler Normalität wird dabei ein Zustand verstanden, bei dem die wichtigsten Grundbedürfnisse der Bevölkerung abgedeckt werden. Dazu gehört z. B., dass alle ein festes Dach über dem Kopf haben (nicht notwendigerweise das eigene), medizinische Versorgung sichergestellt ist, Siedlungen (provisorisch) wieder über Strassen erschlossen sind, Ver- und Entsorgung organisiert ist, Schulbesuch möglich ist und der öffentliche Verkehr behelfsmässig sichergestellt ist. Die Aktivitäten in dieser Phase konzentrieren sich deshalb auf die eigentlichen Siedlungen und die unmittelbar notwendigen Verbindungen zwischen besiedelten Gebieten. Massnahmen in instabilen Hängen oder in Gerinnen ausserhalb von Siedlungsräumen gehören nur dann in diese Phase, wenn Gebäude unmittelbar bedroht sind.

Schnelligkeit hat Priorität

In dieser Phase wird bewusst in Kauf genommen, dass Verkehrswege oder auch Siedlungen während einer beschränkten Zeit einem grösseren Risiko für neue Schäden ausgesetzt sind, als dies vor dem Ereignis der Fall war. Im Vordergrund steht die Raschheit der Massnahmen. Diese Raschheit bringt es mit sich, dass kaum Überlegungen möglich sind, wie eine längerfristige Lösung optimal aussehen könnte. Deshalb sind in dieser Phase auch provisorische Lösungen zu erstellen, die ohne übermässige Kosten angepasst oder wieder rückgängig gemacht werden können, z. B. wenn eine Strasse sinnvollerweise an einem völlig anderen Ort wieder aufgebaut werden soll als sie vor dem Ereignis war.

Provisorien in Kauf nehmen

Für die Phase der Intervention gibt es deshalb eine wesentliche Auflage: keine Präjudizien schaffen, die nicht oder nicht mit vernünftigem Aufwand rückgängig gemacht werden können, um vertieften Abklärungen unter Einbezug aller interessierten Stellen in den Phasen II und III nicht vorzugreifen.

Grundsätzlich liesse sich die Phase der Intervention weiter unterteilen. Nämlich in einen ersten Schritt mit dem Ziel Schäden zu begrenzen und einen zweiten Schritt mit dem Ziel der Instandstellung einer minimalen Normalität. Beide Schritte werden unter der Federführung des Bevölkerungsschutzes und den dabei geltenden gesetzlichen Grundlagen durchgeführt. Den Naturgefahren kommt im ersten Schritt eine zentrale Rolle in der Beratung der Führungsstäbe zu. So gilt es,

- die zu erwartende weitere *Entwicklung* aufzuzeigen (Auswirkungen der Wetterprognosen und des zuletzt gefallenen Niederschlags auf die Abflussentwicklung, weitere zu erwartende Prozesse wie Rutschungen und Murgänge, zu erwartende neue Überschwemmungen und Übersarungen),
- *Prioritäten* zu setzen bei den *Einsätzen* (v. a. hinsichtlich zu erwartenden Versagen mit grosser Schadenfolge) und

> auf *Gefahren bei den Einsätzen* hinzuweisen (z. B. bei Brücke A ist mit grossen Murschüben zu rechnen, weshalb der Einsatz nur mit einem Überwachungsdispositiv zu verantworten ist).

Aufgrund der knappen Zeit und der nur beschränkten Lageinformationen kommt in diesem Schritt der Notfallplanung eine tragende Rolle zu. Die Notfallplanung ermöglicht es, die Einsatzsatzkräfte im Vorfeld über den Prozessablauf, gefährliche Entwicklungen, den effektivsten Mitteleinsatz sowie die notwendigen Dispositive ins Bild zu setzen bzw. mit hinreichend Zeit zu planen. Der zweite Schritt der Instandstellung beginnt mit dem Rückgang des Ereignisses und ist weniger zeitkritisch als der erste Schritt.

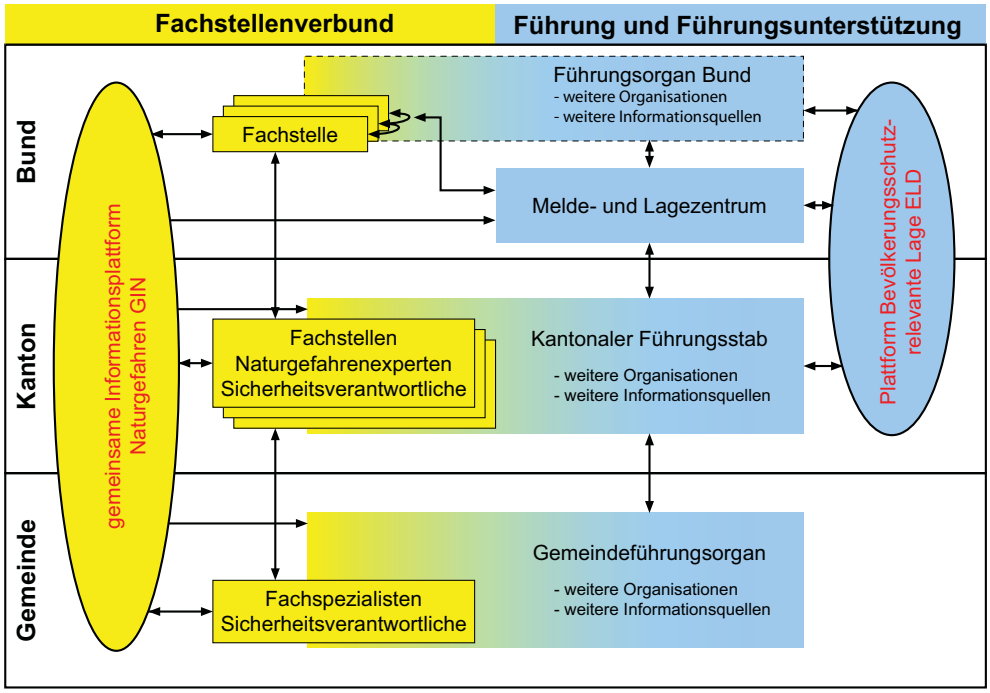
Fachwissen vor Ort

Wie im Schlussbericht OWARNA (BABS, 2007) und im ersten Teil der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 (Bezzola und Hegg, 2007) aufgezeigt, ist eine bessere Vernetzung der Führung durch den Bevölkerungsschutz mit dem vorhandenen Fachwissen zum Thema Naturgefahren in den Fachstellen bzw. der Aufbau dieses Fachwissens auf Stufe Gemeinde notwendig (vgl. Abb. 9.12). Das Ziel bildet letztlich eine vernetzte Organisation von Stäben in Kantonen und Gemeinden mit verschiedenen Fachstellen auf Stufe Bund. Die Stäbe müssen in die Lage versetzt werden, die von nationalen Fachstellen erarbeiteten Grundlagen (Vorhersagen, Warnungen, Messungen, Nowcasting) zusammen mit Beobachtungen vor Ort und weiteren Informationen zu bewerten um daraus die effektivsten Massnahmen zur Schadensbegrenzung zu eruieren und anzuordnen. Grundlage dazu bilden die zu erarbeitenden und auf den Gefahrengrundlagen aufbauenden Notfallplanungen sowie eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten.

Die gleichen Stäbe führen auch die ersten Massnahmen zur Schadensbehebung nach einem Ereignis durch. Dabei ist es auch ihre Verantwortung, sicherzustellen, dass keine Massnahmen angeordnet werden, welche in der Phase II unter Einbezug von anderen Fachstellen (z. B. Naturschutz) diskutiert werden müssen. Die Phase I ist abgeschlossen, wenn der Bevölkerungsschutz von der Führung der Einsätze zurücktritt.

Abb. 9.12 > Vernetzung der Fachstellen (gelb) und Führungsgremien (blau).

GIN und ELD sind Informationsplattformen, die auf die jeweiligen Bedürfnisse der Fachstellen bzw. der Führungsorgane ausgerichtet sind.



Schlussbericht OWARNA (BABS, 2007)

9.8.3 Phase II: Instandstellung

Ziel der Aktivitäten der öffentlichen Hand in der Phase der Instandstellung ist, sowohl eine angemessene Sicherheit vor Naturgefahren als auch eine Betriebssicherheit der Infrastrukturen sicherzustellen, die in etwa dem Stand vor dem Ereignis entspricht. Risiken durch Naturgefahren, welche erst aufgrund des Ereignisses erkannt oder neu geschaffen wurden, werden nur dann in der Instandstellung berücksichtigt, wenn dies keinen wesentlichen Mehraufwand gegenüber der Sicherstellung eines Status Quo Ante in Bezug auf die Gefährdungssituation bedingt. Zu einer angemessenen Betriebssicherheit der Infrastrukturen gehört – falls in Phase I Provisorien erstellt wurden – auch die Erstellung von definitiven Verkehrswegen. Ebenso gehört allenfalls das Zuweisen von Bauland für den Aufbau von Gebäuden, die aufgrund der Gefährdungssituation verlegt werden müssen, in diese Phase.

Interessenabwägungen notwendig

In Phase II werden v. a. Aktivitäten ausserhalb von Siedlungen durchgeführt. Entsprechend ist die Zahl der möglichen Interessenskonflikte mit anderen Fachstellen wesentlich grösser als bei den Aktivitäten in Siedlungen und entlang wichtiger Verkehrswege in Phase I. Die grösste Herausforderung besteht in dieser Phase deshalb in der Koordination unterschiedlichster Interessen und Personen auf ein gemeinsames Ziel unter einem erheblichen Zeitdruck. Aufgrund nicht umgesetzter bzw. teilweise mangelnder

Vorgaben des Bundes organisiert sich hier zurzeit jeder Kanton auf seine Weise. Abläufe zur Bearbeitung von Projekten sind teilweise sehr unterschiedlich und werden oft ad hoc aufgestellt, was wiederum die Arbeit des Bundes erschwert.

Zeitdruck

Gleichzeitig prägt ein beträchtlicher Zeitdruck diese Phase. Betroffene erwarten rasch konsistente Antworten, was wo wie gebaut werden darf und was nicht. Aus nachvollziehbaren Gründen haben sie wenig Verständnis für Verzögerungen wegen mangelnder Abstimmung von Fachstellen und anderer Organisationen. Trotzdem müssen die vom Gesetz vorgesehenen Interessenabwägungen auch für Massnahmen in Phase II durchgeführt werden, weshalb eine minimale Zeitdauer dafür unbedingt notwendig ist.

Beschleunigte Verfahren

Angemessene Interessenabwägungen unter hohem Zeitdruck lassen sich wohl nur dann realisieren, wenn sich alle Beteiligten an gewissen einfachen Regeln und standardisierten Abläufen orientieren. Art und Umfang entsprechender Vorgaben sind in Folgeprojekten zur Ereignisanalyse zu definieren. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass allzu starre Vorgehensweisen oft nicht zielführend sind, da sie kaum jedem Einzelfall gerecht werden und deshalb rasch umgangen werden. Aus heutiger Sicht erscheinen einerseits eine Art Pflichtenhefte erstrebenswert, die definieren, welche Stellen wie mit welchen Zeitverhältnissen einzubeziehen sind. Andererseits braucht es wohl auch eine temporäre Organisation, welche die Umsetzung dieser Pflichtenhefte koordiniert und organisatorisch unterstützt.

Der Übergang von Phase II zu Phase III ist oft fliessend. Meist sind Projekte der Phase II noch in Realisierung, wenn Folgeprojekte der Phase III schon nach den dort geltenden Regeln ohne besondere Beschleunigung behandelt werden.

9.8.4 Phase III: Folgeprojekte

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, soll hier nur ein Aspekt mit Auswirkungen auf Phase II detaillierter erläutert werden. Ursache dafür ist, dass zurzeit aus den nachfolgend erläuterten Gründen aussergewöhnlich viele Hochwasserschutzprojekte hängig sind und deshalb aus finanziellen Gründen ein grosser Projektstau besteht.

- Die grosse Zahl von Ereignissen in den letzten Jahren hat verschiedene bis jetzt nicht erkannte Schwachstellen aufgedeckt, bei denen ergänzende Massnahmen notwendig sind, um die Schutzziele einzuhalten und die Risiken auf ein vertretbares Mass zu reduzieren.
- Mit der Erstellung der Gefahrenkarten wurden und werden bis jetzt nicht erkannte Schwachstellen aufgedeckt, bei denen eine Anpassung der Schutzbauten notwendig ist, um das angestrebte Schutzziel zu erreichen und die Risiken auf ein vertretbares Mass zu reduzieren.
- Viele grosse Hochwasserschutzprojekte v. a. entlang der grossen Flüsse wurden vor 50–150 Jahren realisiert. Bei vielen dieser Bauwerke sind umfangreiche Unterhalts- bzw. v. a. auch Instandstellungsmassnahmen anstehend, was entsprechende Kostenfolgen nach sich zieht. Oft entsprechen diese Bauwerke zudem nicht mehr den heutigen Anforderungen an einen naturnahen Wasserbau und an ein robustes

Verhalten bei einer Überschreitung der Dimensionierungsgrössen. Dadurch werden neben den Unterhaltsmassnahmen im engeren Sinne oft auch umfassende Anpassungen notwendig.

Keine Folgeprojekte in Phase II aufnehmen

In Anbetracht dieser Tatsachen hat der Bundesrat im September 2007 beschlossen, Mittel und Ressourcen für den Hochwasserschutz massgeblich zu erhöhen. Trotzdem werden alle Projekte einer rigorosen Prioritätensetzung unterzogen, damit das Geld am richtigen Ort eingesetzt wird. Dies kann dazu führen, dass auch bei grundsätzlich unbestrittenen Folgeprojekten nach Ereignissen mit langen Zeiträumen bis zu ihrer Realisierung gerechnet werden muss. Dieser Zustand erhöht natürlich die Anreize, möglichst viele Massnahmen in den Phasen I und II zu realisieren. Es ist deshalb nicht auszuschliessen, dass vermehrt Versuche auftreten, Folgeprojekte nach Ereignissen als Teil der Instandstellung zu behandeln. Es sind deshalb griffige Regeln notwendig, welche den Übergang zwischen Phase II und III eindeutig und sinnvoll definieren.

9.9 Erkenntnisse

Grundsätzlich haben sich die Vorkehrungen für die Intervention und die Instandstellung nach aussergewöhnlichen Hochwasserereignissen bei Bund, Kantonen und Gemeinden bewährt. Verschiedene Probleme haben allerdings einige Schwachstellen aufgezeigt, welche behoben werden sollten. Zudem eröffnen neue Methoden der Prognose neue Möglichkeiten in der Intervention.

Bewährte Verfahren stiessen an Grenzen

Verschiedentlich stiessen Verfahren, die sich bei kleineren Ereignissen bewährt hatten, an ihre Grenzen. So waren viele Interventionskräfte vor Ort mit dem Ausmass des Ereignisses überfordert. Gleichzeitig war die grundsätzlich bewährte regionale Hilfe wegen der Grossräumigkeit des Ereignisses nur sehr begrenzt möglich. Deshalb musste überregional Hilfe organisiert werden. Diese erfolgte, mit Ausnahme der Einsätze der Armee, in Ermangelung einer nationalen Koordination weitgehend zufällig und aufgrund persönlicher Beziehungen. Deshalb haben sowohl das Bundesamt für Bevölkerungsschutz wie die Feuerwehrkoordination Schweiz ihre Absicht bekundet, in diesem Bereich aktiv zu werden.

Nationale Koordination des Mitteleinsatzes erstrebenswert

Auch die Fachstellen der Kantone konnten die Beratung der Gemeinden und der kantonalen Führungsorgane nicht im gewünschten Mass wahrnehmen. Sie zogen deshalb verbreitet Private sowie Fachleute aus weniger betroffenen Kantonen bei, wobei auch dieser Beizug sehr individuell und wenig koordiniert ablief. Auch mit bester Koordination kann aber das Problem des mangelnden Fachwissens während einem Ereignis sowie in dessen Vorbereitung gelöst werden. Hier sind Anstrengungen nötig, vermehrt Fachwissen vor Ort zu verankern. Insgesamt erscheint es dringend angezeigt, sich Überlegungen zu machen, wie die Mittel in Zukunft bei derartigen Ereignissen in einer national besser koordinierten Art und Weise in den Einsatz gebracht werden können.

Milizprinzip unabdingbar

Auch wenn ein Überblick fehlt, wie viele Personen bei der Intervention während dem Hochwasser vom August 2005 effektiv im Einsatz standen, ist klar, dass es sich dabei um mehrere 10'000 Personen handelte. So kann davon ausgegangen werden, dass in jeder der betroffenen 900 Gemeinden zwischen 10 und maximal einigen 100 Personen an der unmittelbaren Bewältigung des Ereignisses beteiligt waren. Eine derart grosse Zahl von Interventionskräften und Fachleuten kann unmöglich professionell für seltene Ereignisse bereitgehalten werden, ohne dass völlig unverhältnismässige Kostenfolgen entstehen. Dies lässt sich einzig mit dem bewährten Milizprinzip ökonomisch sinnvoll bewerkstelligen. Dieses Prinzip ist allerdings aufgrund des heutigen Zeitgeistes vermehrt in Frage gestellt, weil nicht planbare Abwesenheiten am Arbeitsplatz oder zu Hause je länger je weniger akzeptiert werden. Hier sind geeignete Massnahmen zu prüfen, damit die Schweiz beim nächsten vergleichbaren Hochwasser nicht wesentlich schlechter da stet, als dies im August 2005 der Fall war.

Standardabläufe notwendig

Alle Beteiligten stehen neben der Intervention v. a. auch bei der Instandstellung in einem Dilemma. Einerseits soll und muss den Betroffenen schnellstmöglich wirksam geholfen werden und andererseits soll und muss man sich die nötige Zeit nehmen, mögliche Varianten einer Aktion zu entwickeln und deren Vor- und Nachteile zu prüfen. Wenn eine grössere Anzahl von Ereignissen gleichzeitig zu bearbeiten ist, kann dies wohl nur dann angemessen geschehen, wenn auf bekannte einfache Standardabläufe zurückgegriffen werden kann und die nötigen Personen mit den notwendigen Fachkenntnissen verfügbar sind. Standardabläufe für die Interventionsphase sind in vielen Fällen vorhanden aber teilweise verbesserungswürdig. Für die Instandstellungsphase fehlen diese dagegen weitgehend. Entsprechende Folgeprojekte sind deshalb zu initiieren.

Fachwissen auf allen Stufen

Die besten Abläufe nützen nichts, wenn das Personal fehlt, sie umzusetzen. Wohl hat der Bund die Anzahl der Stellen in der Gefahrenprävention deutlich erhöht und damit eine Vorlage für Kantone und Gemeinden gegeben. Damit diese Stellen nun aber auch angemessen besetzt werden können und auch Kantone und Gemeinden nachziehen können, braucht es entsprechend qualifiziertes Personal. Wie erwähnt, müssen diese Personen nicht nur über fachliche Kenntnisse verfügen. Viel mehr ist ihre Fähigkeit, unter Zeitdruck Entscheide zu fällen und auch zu kommunizieren und zu vertreten von überragender Bedeutung. Diese Personen stehen nicht in unbegrenzter Anzahl zur Verfügung, weder im Hauptamt, wie auf kantonalen Fachstellen v. a. sinnvoll, noch im Nebenamt, wie dies wohl für die meisten Gemeinden im Vordergrund steht.

Ausbildung und Übungen notwendig

Deshalb sind in jedem Fall entsprechende Ausbildungsanstrengungen notwendig, sei es um vorhandene Funktionsträger weiterzubilden oder neue an ihre Aufgabe heranzuführen. Zur notwendigen Ausbildung gehört in jedem Falle ein vertieftes Studium der möglichen Ereignisse im jeweiligen Verantwortungsbereich. Diese Kenntnis ist einerseits Voraussetzung dafür, sich überhaupt auf ein Ereignis vorzubereiten und unter Zeitdruck zu entscheiden. Andererseits sind diese Kenntnisse auch notwendig, um ein eingetretenes Ereignis gegebenenfalls zu relativieren und einen allfälligen Entscheid gegen Massnahmen begründen zu können. Das Zusammenspiel zwischen verschiedenen Beteiligten (Feuerwehr, Zivilschutz, Führungsorgane, usw.) muss auf den bestehenden konzeptionellen Grundlagen in Übungen gefestigt werden. Voraussetzung für

all diese Aktivitäten ist eine umfassende und auf die Gefahrenbeurteilung aufbauende Notfallplanung.

Damit derartige Bemühungen erfolgreich sein können, ist eine entsprechende Bereitschaft und auch Nüchternheit in der Bevölkerung und v. a. in der Politik notwendig. Entsprechend sind Anstrengungen notwendig, die Bevölkerung über mögliche Ereignisse und den Umgang mit ihnen zu informieren und die Erwartungen mit den Möglichkeiten abzugleichen, welche öffentlichen Stellen nach einem Ereignis zur Verfügung stehen. Auf mögliche Wege, wie diese Aufgabe angegangen werden kann, wird im nachfolgenden Kapitel unter dem Stichwort «Akteursnetzwerke» eingegangen.

Literatur:

Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 215 S.

Bründl M., Etter H.-J., Steiniger M., Klingler C., Rhyner J., Ammann W.J. 2004: IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4: 257–262.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS 2007: Optimierung von Warnung und Alarmierung. Schlussbericht in Erfüllung des VBS-Auftrages 1/53 vom 1. November 2005, Bern.

Leitbild Bevölkerungsschutz 2001: Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung über die Konzeption des Bevölkerungsschutzes. *www.admin.ch/ch/d/ff/2002/1745.pdf*. (5.3.2008)

Rotach M., Albisser P., Duding O., Eckert P., Hächler P., Schubiger F., Walser A., Vogt S., Hegg C. 2007: Niederschlags- und Abflussvorhersage. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 107–126.

Verwendete Unterlagen Bericht Zivilschutz:

Kantonaler Führungsstab Aargau 2005: Schlussbericht zum Hochwassereinsatz August 2005.

Bezirksführungsorgan Amtsbezirk Thun 2005: Schlussbericht Hochwasser im August 2005 im Amt Thun.

Zivilschutz der Stadt Bern 2005: Auswertung Einsatz Hochwasser.

Zivilschutzorganisation Kandertal PLUS 2005: Hochwasser Amt Frutigen; Einsatz ZSO Kandertal PLUS.

Kantonaler Führungsstab Luzern 2006: Kurzbericht Unwetterereignis im Kanton Luzern 21.08. – 02.09.2005.

Regierungsrat Nidwalden 2005: Bericht über das Unwetter vom 22./23. August 2005.

Regierungsrat Obwalden 2005: Bericht über die Bewältigung der Hochwasserkatastrophe 2005.

Kantonaler Führungsstab Schwyz 2005: Bericht an den Regierungsrat, Hochwassereinsatz NORBERT 21. bis 28. August 2005.

Stabsstelle der Notorganisation des Kantons Zug 2006: Schlussbericht über den Unwettereinsatz August 2005 im Kanton Zug.

Verwendete Unterlagen Bericht Feuerwehr:

AG 2005: Schlussbericht zum Hochwassereinsatz August 2005 vom 9.11.05.

Gebäudeversicherung Bern (GVB) 29.12.2005: Bericht Naturereignisse August 2005: 6 p.

LU 2005: Unwetterereignis im Kanton Luzern, Schlussbericht 9.11.05.

LU 2006: Unwetterereignis im Kanton Luzern, Kurzbericht 23.1.2006.

Nidwaldner Sachversicherung 25.11.2005: Analyse Unwetter – Einsätze August 2005: 7 p.

Kantonsrat OW 13.09.2005: Bericht über die Bewältigung der Hochwasserkatastrophe 2005: 43 p.

Gebäudeversicherung Zug 2005: Bericht Unwetter August 2005: 12 p.

ZG 2006: Schlussbericht über Unwettereinsatz August 2005 im Kanton Zug, 5.6.06.

Amt für Militär und Bevölkerungsschutz des Kanton Uri 2006: Hochwasserereignis 22./23. August 2005, Kap. 4.6.2 Feuerwehr: 5 p.V. Kommunikation

10 > Hochwasser im Fokus der Medien und in der Wahrnehmung der Bevölkerung

Das Hochwasser vom August 2005 fand eine ausserordentlich grosse Resonanz in den Medien. Entsprechend gefragt waren als Auskunftspersonen Interventionskräfte und Naturgefahrenfachleute. Medien folgen in ihrer Berichterstattung einer gewissen eigenen Logik. Es ist hilfreich für Auskunftspersonen, wenn sie diese Logik und ihre Entwicklung mit der Zeit kennen. Medienberichterstattung zu Ereignissen wird oft auch als Mittel betrachtet, gewisse Inhalte an grössere Bevölkerungsschichten zu verbreiten. Inwiefern dies erfolgreich sein kann, hängt wesentlich vom Erinnerungswert derartiger Informationen ab.

10.1 Einleitung

Das Hochwasser vom August 2005 war für einige Tage DAS Ereignis – zumindest für die Deutschschweizer Medien, in denen zahlreiche Artikel verfasst wurden. Die hohe Anzahl nahm erst mit dem Hurrikan «Katrina» ab, der etwa 10 Tage später in New Orleans USA und Umgebung Schäden verursachte, welche jene in der Schweiz um ein Vielfaches übertrafen.

Grosses Informationsbedürfnis

Medien brauchen bei ihrer Arbeit Quellen. Entsprechend stark waren viele Personen, die sich bei der Bewältigung des Unwetters beteiligten, mit Medienarbeit konfrontiert, da sie neben Politikern und direkt betroffenen Einzelpersonen, die wichtigsten Quellen für Informationen als Grundlage für eine Berichterstattung waren. Viele Fachleute empfanden dies als zusätzliche Belastung, v. a. dann, wenn keine Strukturen vorhanden waren, diese Anfrageflut zu bewältigen (vgl. auch Kap. 9.3). Gleichzeitig bildet die Aufmerksamkeit, welche Naturgefahren und dem Umgang mit ihnen unmittelbar nach jedem grösseren Ereignis zukommt, eine Chance, Informationen zu diesen Themen zu verbreiten und eine breitere Öffentlichkeit dafür zu sensibilisieren.

Untersuchte Themen

Das vorliegende Kapitel befasst sich mit einigen Aspekten und Fragen, die sich in diesem Umfeld nach dem Ereignis gestellt haben. In Kap. 10.2 wird der Frage nachgegangen, weshalb das Ereignis diese riesige Medienresonanz gefunden hat. Dazu wird die Logik der Medien bei der Berichterstattung über Naturkatastrophen erläutert und in die Entwicklung dieser Logik im 20. Jahrhundert eingeordnet. In Kap. 9.3 wird dargestellt, wie nachhaltig die Informationen waren, welche zum Hochwasser vom August 2005 verbreitet wurden. Grundlage bildet eine repräsentative Umfrage in der ganzen Schweiz mit der durch einige ausgewählte Fragen überprüft wurde, was im Herbst 2007 in der Erinnerung noch vorhanden war und welche Faktoren den Umfang dieser Erinnerung bestimmen.

10.2 Hochwasserereignisse im Spiegel der Presse

Helena Zemp, Heinz Bonfadelli

10.2.1 Einführung

Präsenz der Medien

Auf das Unwetter, das im August 2005 weite Teile der Schweiz unter Wasser setzte, reagierten die Medien sofort. Die Präsenz der Medien vor Ort hat die plötzlich hereingebrochene Not direkt und fast in «Echtzeit» in die schweizerischen Wohnungen getragen. Gerade im Falle von Naturkatastrophen sind Massenmedien ein wichtiger Teil des Katastrophenschutzes und des Managements derselben. Über die Medien lassen sich schnell viele Menschen erreichen. Schon daher kommt dem Mediensystem in einer Katastrophe eine grosse Verantwortung zu. Form und Stil der Medienkommunikation tragen entscheidend zur Wahrnehmung und Einschätzung von Risiken bei.

Kriterien der Nachrichtenauswahl

Umso weniger kann ignoriert werden, dass sich das Mediensystem seit der Auflösung der Parteipresse in den 60er Jahren fundamental verändert hat. Das brachte einen starken Kommerzialisierungsschub der Medien mit sich – insbesondere in den 80er Jahren mit dem Markteintritt von privaten Radio- und Fernsehanstalten. Absatzzahlen und Einschaltquoten bestimmen seither über den Markterfolg. Es entsteht darum ein starker Anreiz publikumskonform zu berichten. Ereignisse und Themen werden eher veröffentlicht, wenn sie wichtige Kriterien der journalistischen Nachrichtenauswahl wie etwa Dramatik, Überraschung, Relevanz, Visualisierbarkeit oder räumliche Nähe erfüllen. Vor diesem Hintergrund sind Katastrophen das Medienereignis schlechthin. Allerdings spielt in einem Medium stets eine Kombination von Einflüssen eine Rolle. Neben redaktionellen Grundsätzen beeinflussen organisatorische Gegebenheiten ebenso wie der Erscheinungszyklus oder die Themenkonkurrenz die Konstitution von Medienrealität (Ruhrmann und Göbbel, 2007).

Zielsetzung der Inhaltsanalyse

Die Zielsetzung der empirischen Inhaltsanalyse besteht darin, die Medienlogik im Prozess der Katastrophenberichterstattung besser zu verstehen. Dazu ist die medienöffentliche Sicht auf das Hochwasser 2005 mit Ereignissen der Vergangenheit zu vergleichen. Unter Einbezug von Daten zu Unwetterkatastrophen im Zeitraum von 1910 bis 2005 lassen sich Wandlungsprozesse der Medien selbst, wie auch die gesellschaftliche Risikowahrnehmung an ausgewählten Beispielen diskutieren. Im Fokus dieser Analyse stehen die Medienresonanz, die aufgegriffenen Themen und die diskutierten Ursachen sowie die Bildberichterstattung und das Hervorrufen von Betroffenheit.

10.2.2 Datengrundlage und Methode

Methodische Voraussetzungen

Die nachfolgend präsentierten Befunde basieren auf einer Langzeitanalyse der Medienkommunikation zu Hochwasserereignissen im Zeitraum von 1910 bis 2005 in Deutschschweizer Tageszeitungen. Die methodischen Voraussetzungen, welche die Beobachtung des Hochwassers 2005 in Bezug mit ähnlichen Katastrophen aus den Jahren 1910, 1927, 1953, 1978, 1987, 1993, 1999 und 2000 möglich machen, sind bereits im

Rahmen der Lizenziatsarbeit von Zemp (2005). Auch sämtliche Daten von früheren Ereignissen bis 1999 sind soweit schon vorhanden. Für die Ziele dieser Studie wurde die Datengrundlage um die Ereignisse 2005 als auch 2000 (Erdrutsch in Gondo) erweitert.

Untersuchungssample

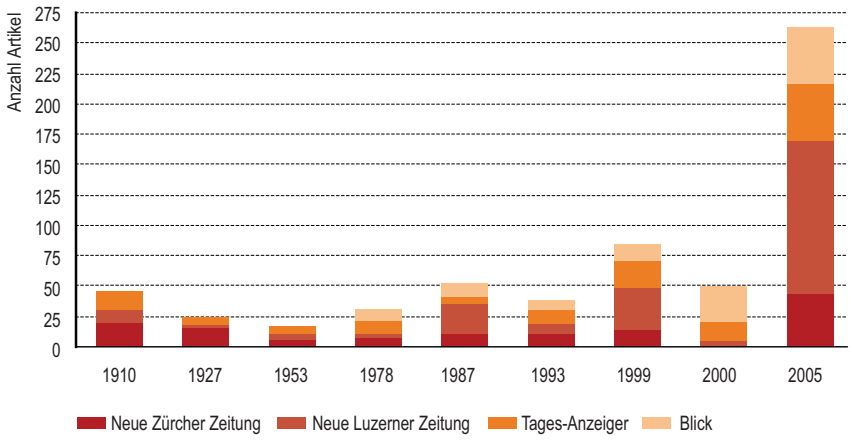
Grundlage des Untersuchungssamples ist die Katastrophenberichterstattung der Neuen Zürcher Zeitung (NZZ), des Tages-Anzeigers (TA), der Neuen Luzerner Zeitung (NLZ) bzw. des Vaterlands mit seinen Nachfolgeblättern[1] und des Blicks (BK). Die ausgewählten Zeitungen des Samples zählen zu den Leitmedien in der Schweiz. Sie charakterisieren sich neben ihrer Auflagestärke durch ihre regionale, nationale und teilweise internationale Ausrichtung. Sie decken unterschiedliche politische Positionen und hinsichtlich der Qualität ein sehr breites Spektrum ab – nämlich von der Elitezeitung NZZ bis zum Boulevardmedium BK. Die Untersuchung beruht auf einem standardisierten Verfahren der inhaltsanalytischen Erfassung von Medientexten. Berücksichtigt ist die Berichterstattung über die Zeit eines Jahres nach dem Ereigniseintritt. Genauere Angaben zur Methodik sowie sämtliche statistische Werte als auch weitere Befunde werden in Zemp (2009, in Vorbereitung) vorzufinden sein.

10.2.3 Medienresonanz des Hochwassers 2005

Medienaufmerksamkeit 2005

Die in Abb. 10.1 vorgelegte Analyse erlaubt es, die Medienaufmerksamkeit der einzelnen Redaktionen für das Hochwasser 2005 im Vergleich mit acht Ereignissen seit 1910 zu betrachten.

Abb. 10.1 > Medienresonanz zum Hochwasser 2005 im Vergleich mit Ereignissen aus der Vergangenheit und innerhalb der Zeitungen NZZ, NLZ, TA und BK, gemessen am Artikelaufkommen.



[1] Von Nachfolgeblättern ist hier die Rede, weil in einem ersten Fusionsschritt aus dem «Vaterland» die Luzerner Zeitung (LZ) entstand und später daraus die Neue Luzerner Zeitung (NLZ) resultierte. Auf diese begriffliche Differenzierung LZ und NLZ wird in der Untersuchung verzichtet und die Abkürzung NLZ verwendet.

Beachtungsgrad im Zeitverlauf

Unübersehbar zeigt sich, dass das Hochwasser vom 21./22. August 2005 ein Höchstmass an Aufmerksamkeit in der Presse generiert hat. Diese «Artikelflut» ist ein Novum und übertrifft den bisherigen Höchstwert an Medienresonanz für das Unwetter 1999 bei Weitem. Der relative Anstieg der Zeitungsmeldungen beträgt 209 Prozentpunkte. Im Vergleich mit ähnlichen Unwettern aus den letzten 30 Jahren erreichte beispielsweise die Katastrophe 1978 mit neun Toten und 500 Mio. CHF Schäden nur rund einen Neuntel (11.4 %) dieser Medienbeachtung. Dem Ereignis vom 23. bis 25. August 1987 mit 8 Toten und 800 Mio. CHF Schadenssumme wurde ein Fünftel (20.4 %) dieser Berichterstattung zuteil. Knapp ein Viertel (23.5 %) erreichte die Katastrophe 2000, welche gemessen an den 16 Toten zu den opferreichsten der jüngsten Zeit zählt. Treten Schadensfälle durch Hochwasser auf, die in der wissenschaftlichen Risikoanalyse als «sehr schwer» gelten, wie das Unwetter 1953, so fällt im Zeitverlauf der Beachtungsgrad in den Medien sehr unterschiedlich aus.

Disproportionalitäten

Im langfristigen Vergleich erreichte das Hochwasser 1910 einen Höhepunkt von intensiver Medienkommunikation. Bis zum Unwetter 1953 sinkt der Umfang der Berichterstattung beträchtlich ab. Der Trend ist klar: Seit den 70er Jahren vermögen Unwetter immer mehr die Aufmerksamkeit der Medien zu wecken, wenn auch mit ereignisbezogenen Schwankungen. Solche Disproportionalitäten im Medienecho plausibilisieren, dass anhand der Aufmerksamkeit und Dramatik, die eine Katastrophe in Medien erregt, das objektive Ausmass von Katastrophen und Schicksalslagen nicht unbedingt abgebildet wird oder einzuschätzen ist.

Verstärkende Faktoren

Die enorme Ausweitung der Medienpräsenz des Unwetters 2005 wird begleitet von einer Zunahme der Berichterstattung in allen vier Zeitungen. Somit stösst das Hochwasser 2005 in allen Zeitungen in den Rang des publizitätsträchtigsten Ereignisses seit 1910 vor, wobei rund 48 % der Artikel auf die NLZ zurückgehen. Indessen reagieren die drei Tageszeitungen NZZ, TA, BK mit einer ähnlichen Anzahl Berichte. Für diesen Anstieg des Medieninteressens am Katastrophenthema spielen verschiedene und sich gegenseitig verstärkende Faktoren eine Rolle. Dazu zählen einerseits Verstärkungsprozesse, die aufgrund kommerzieller Interessen des Medienbetriebes die Verlagerung der Nachrichten hin zu Katastrophen begünstigen. Andererseits ist das, was im Mediensystem als wichtig fokussiert wird, stets an die aktuelle gesellschaftliche Problemlage sowie deren öffentliche Bewertung gekoppelt. Folglich beeinflussen grundsätzliche Veränderungen von Problemsichten im Kontext der Umwelt- und Risikosensibilisierung die Medienresonanz (od. Thematisierungsintensität) jüngster Ereignisse mit

10.2.4 Chronologie der Berichterstattung

Medienaufmerksamkeit im Verlauf eine Jahres

Die folgende Analyse beschäftigt sich mit der Frage nach der Medienaufmerksamkeit für das Hochwasser 2005 im Verlauf eines Jahres. In Abb. 10.2 ist eine typische Berichterstattungskurve für den darauf folgenden Monat erkennbar:

Abb. 10.2 > Chronologie der Medienresonanz für das Hochwasser vom 21./22. August in Deutschweizer Zeitungen im Zeitraum eines Monates.

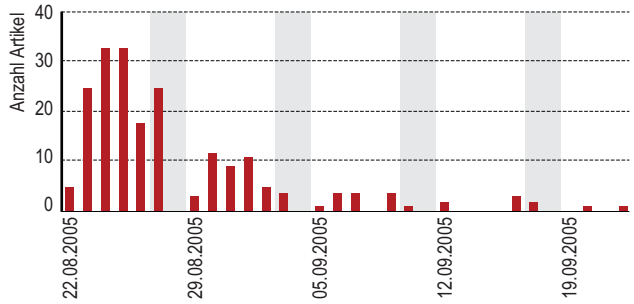
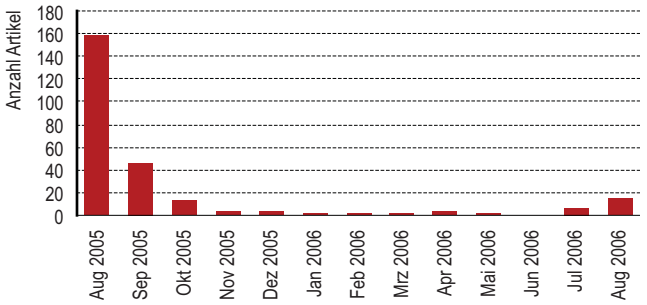


Abb. 10.3 > Chronologie der Medienaufmerksamkeit für das Hochwasser vom 21./22. August in Deutschweizer Zeitungen im Zeitraum eines Jahres.



Hurrikan Katrina als Killer-Issue

Als brandaktuelles Thema wird das Ereignis am Montag, den 22. August zur Schlagzeile. Die Zeitungen reagieren mit einer eigentlichen Artikelflut in den ersten Tagen und mit einer maximalen Thematisierungsintensität am vierten und fünften Tag, dann erlahmt das Medieninteresse schnell. Das hängt nicht zuletzt damit zusammen, dass der Neuigkeitswert von Schadensmeldungen mit jeder Wiederholung sinkt. Vom 22. bis 27. August sind 53 % der insgesamt 263 Katastrophenberichte publiziert worden. Auf die darauf folgende Woche entfallen nur noch 17 %. Vier Wochen nach den ersten Meldungen sind 78 % am Gesamt der Beiträge erschienen. Dabei ist anzunehmen, dass der Hurrikan Katrina[2] mitverantwortlich war, dass nach dem 29. August das Unwetter rapide an Berichterstattungswürdigkeit einbüsste. Das heisst, neue, attraktive Themen – sogenannte Killer-Issues – können eine Katastrophe rasch aus den Schlagzeilen verdrängen und ihren Informationswert relativieren. Mit dem Abfall der Berichterstattungskurve wird das Ereignis 2005 kommunikativ weitgehend abgeschlossen und der Vergangenheit zugewiesen. Und mit schwindendem Kontakt zu Medienbotschaften stellt sich auf Seiten der Bevölkerung der gewohnte Lauf der Dinge wieder ein. Ausserdem plausibilisieren Verlaufskurven zur Katastrophe 1993 wie auch 2000, dass der Zeitpunkt des Schadenseintrittes die Resonanzfähigkeit in der Tagespresse begrenzt hat. Beide Ereignisse fielen auf ein Wochenende. Der Aktualitätsdruck kommerzialisierter Medien ist hoch. In Konkurrenz mit attraktiven Life-Schaltungen des Fernsehens oder mit der Sonntagspresse ist es – unabhängig von der Spektakularität der Ereignisse – wenig attraktiv, erst am Montag auf das Thema aufzusteigen. Anfang des 20. Jahrhunderts konnten durchaus Tage verstreichen, bis Berichte in Zeitungen folgten. Abb. 10.3 dokumentiert den Informationsverlauf über ein Jahr. Die stark ereignisbezogene Behandlung des Katastrophenthemas ist gut erkennbar. Langfristige Prozesse der Ereignisbewältigung oder der Prävention sind folglich nur noch am Rande vom Medieninteresse. Auffällig ist die kurzfristige Kommunikationsverdichtung im Zusammenhang mit der Verjährung. Für die Zeitungen ergeben sich nochmals attraktive Anlässe, an die einstigen Schadensschauplätze zurückzukehren. Für kurze Zeit lebt das Ereingis wieder auf: *«Narben im Dorf sind verheilt»,* lautet die Schlagzeile in der

[2] Am 29. August erreichten Ausläufer des Hurrikans Katrina, der einer der vier schwersten Hurrikane war, die in den USA jemals gemessen wurden, New Orleans. Die Stadt New Orleans wurde von dem Naturereignis schwer getroffen. Der Hurrikan forderte insgesamt 1800 Todesopfer und Sachschäden von etwa 81 Mrd. US-$.

NLZ vom 22.8.06, S. 29. Ähnlich positiv heisst es auch in der NZZ vom 22.8.06, S. 15: *«Was die Zukunft betrifft, bin ich eigentlich recht zuversichtlich»*.

Was aus der Verlaufsdynamik im Mediensystem erkennbar ist: Katastrophen folgen stets den Routinen der Informationsverarbeitung durch die Medien. Der rezipierte Verlauf ist der Periodizität des Mediums ebenso unterworfen, wie den mobilisierbaren redaktionellen Ressourcen, der Erreichbarkeit der Schauplätze oder der Distanz zum Ereignisort bzw. dem Berichterstattungsgebiet.

10.2.5 Schadensschauplätze und ihre Medienresonanz

Schadenskantone in den Zeitungen

Die Katastrophenberichterstattung dient u. a. dazu, der breiten Bevölkerung in sinnvoller Weise Informationen zur Situation und zu Entwicklungen des Geschehens zu liefern (vgl. Peters und Reiff 1998). Das Unwetter 2005 war eine Katastrophe von nationaler Reichweite, wobei die Kantone Bern, Luzern, Uri und Obwalden gemessen am finanziellen Schaden am schwersten betroffen waren (Hilker et al., 2007). Abb. 10.4 zeigt, wie nach Massgabe der Zeitungslinie und im Hinblick auf die jeweilige Leserschaft die Auswahl der Schadenskantone in den Zeitungen ausfällt.

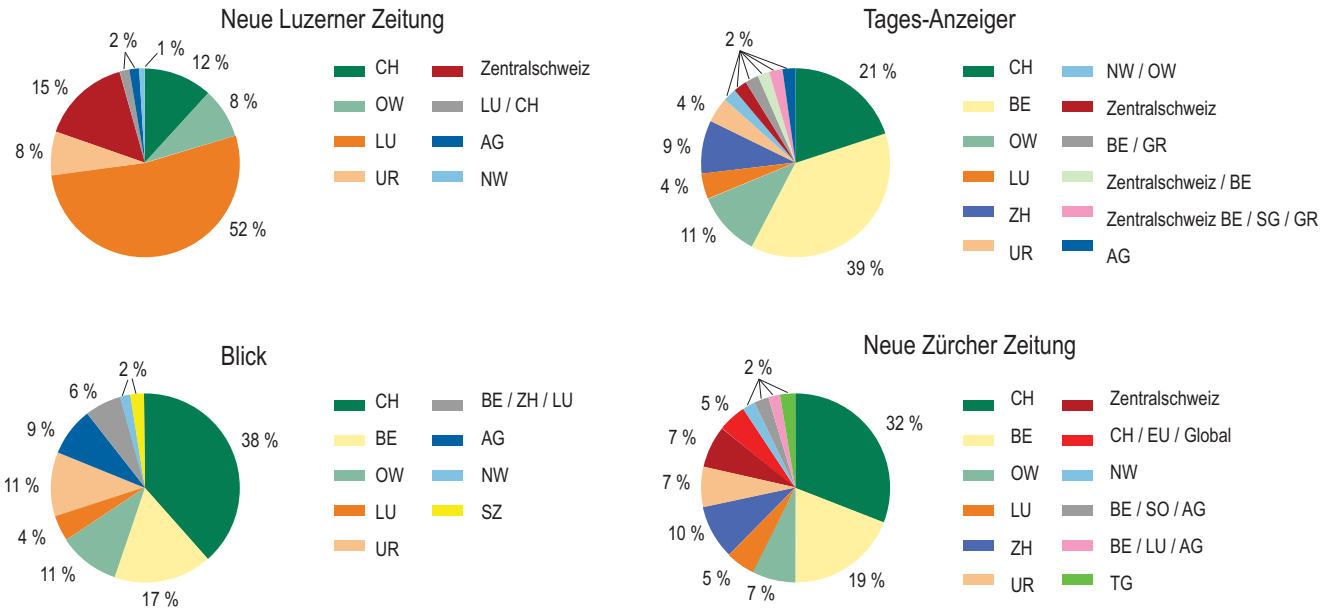
Räumliche Nähe der Leserschaft

Offensichtlich stark durch das Geschehen vor Ort ist die Katastrophenberichterstattung der NLZ geprägt. Über die Hälfte der Artikel nehmen auf Schadensorte im Kanton Luzern (52 %) Bezug. Der schwer betroffene Kanton Bern ist nicht präsent. Die nationale Einbettung des Geschehens fällt im Medienvergleich besonders tief aus. Insgesamt wird deutlich: Was nicht im Verhältnis zur räumlichen Nähe der Leserschaft steht, fällt leicht durch das Selektionsraster. Das Unwetter 2005 wird regionalisiert und zur Katastrophe der Innerschweizerkantone deklariert. Vor diesem Hintergrund ist das gering ausgefallene Echo auf die Katastrophe 1993 und insbesondere 2000 zu sehen (Abb. 10.1). Sie passierten ausserhalb der räumlichen Nähe des Zielpublikums.

Regionalisierungstendenz

Zumindest in überregionalen Zeitungen ist eine geografisch breitere Abdeckung der Schadensschauplätze zu finden. Eine gewisse Regionalisierungstendenz macht sich auch im TA und in der Neuen Zürcher Zeitung bemerkbar. Dem Kanton Zürich, der nicht unter die grossen Schadenschauplätze fällt, wird rund ein Zehntel der Aufmerksamkeit gewährt, dem entfernten Kanton Luzern weniger Gewicht beigemessen. Allerdings rückt der TA die Schadensdimension des Kantons Bern besonders stark in den Vordergrund. Der BK behandelt hingegen das Hochwasser ausgeprägter in seiner gesamtschweizerischen Dimension. Analoges ist bei der Neuen Zürcher Zeitung zu erkennen. Darüber hinaus nimmt die NZZ für die Leserschaft eine übergreifende, europäische bis globale Einordnung vor. Ihre nationale und internationale Ausrichtung kommt so auch in der Katastrophenberichterstattung zum Tragen.

Abb. 10.4 > Medienresonanz zu den einzelnen geographischen Hauptschadensplätzen in den Deutschschweizer Zeitungen NLZ, TA, BK und NZZ.



Wenn tatsächlich massive und offensichtliche Schäden vorliegen, ist das kein hinreichender Grund dafür, dass Medien darüber berichten. Aus den berücksichtigten Schadensgebieten in den Medien kann man nur bedingt auf die Dimension der Schäden und ihre geografische Verteilung schliessen. Die realen Folgen spüren jedoch die ausgeblendeten Orte ebenso wie die medienpräsenten.

10.2.6 Themen der Katastrophenberichterstattung

Themenbereiche 2005

Anhand von Vergleichen lassen sich Veränderungen benennen, denen die Katastrophenwahrnehmung über die Zeit unterworfen ist. Tab. 10.1 zeigt den hohen Stellenwert von apolitischen Human-Interest-Berichten (15 %) in der Hierarchie berichterstattungswürdiger Inhalte 2005. Viele sensationelle und kuriose Geschichten, in denen emotionale Aspekte der Ereignisse sowie Spannung und Unterhaltsamkeit im Mittelpunkt stehen, tragen zur Spektakularität wie hohen Medienpräsenz des Hochwassers 2005 bei. Insofern reflektiert die neue Themenperspektive «Medien/Medienkooperation/Entwicklung» das aufflackernde Bewusstsein um Problemaspekte des Mediensystems.

Tab. 10.1 > Themenstruktur in der Katastrophenberichterstattung 2005 im Vergleich mit Ereignissen von 1910 bis 2000 in Deutschschweizer Zeitungen (NZZ, TA, NLZ, BK ab 1978). Alle Angaben in Prozent.

	1910 n = 88	1927 n = 47	1953 n = 32	1978 n = 58	1987 n = 102	1993 n = 77	1999 n = 164	2000 n = 121	2005 n = 508
Human Interest	9.0	4.2	3.1	15.5	4.9	13.0	15.2	19.0	15.2
Schadensausmass/Folgen	2.3	0.0	6.3	15.5	5.9	7.8	4.9	5.0	13.2
Allg. Katastrophenverlauf	19.3	17.0	21.9	17.2	16.7	10.4	17.7	11.6	12.8
Politische Reaktionen/Folgerungen/Gesetze	13.6	14.9	6.3	15.5	17.6	11.7	6.7	2.5	10.0
Zukunftserwartungen	0.0	4.2	0.0	1.7	4.9	5.2	4.9	12.4	7.9
Wirtschaft/Arbeit	6.8	8.5	3.1	6.9	6.9	9.1	9.8	8.3	7.5
Sicherheit/Rettungsarbeiten/Folgebewältigung	13.6	10.6	18.8	6.9	6.9	11.7	9.4	10.7	6.3
Wissenschaft/Technik	4.5	4.3	6.3	1.7	7.8	6.5	15.2	6.6	5.3
Natur/Umweltprobleme	2.3	2.1	6.3	5.2	5.9	3.9	3.7	6.6	5.3
Private Hilfe/organisierte Solidarität	8.0	6.4	9.4	1.7	11.8	3.9	1.2	5.9	3.8
Offizielle Situation Direktbetroffener	10.2	17.0	15.6	5.1	4.9	6.5	1.8	6.6	3.1
Rückblick/Geschichte	1.1	2.1	3.1	0.0	0.0	3.9	1.8	1.7	3.1
Versicherung/Entschädigung	1.1	6.4	0.0	3.5	0.0	1.3	2.4	0.8	3.0
Unterhaltung/Prominenz/Kultur	3.4	0.0	0.0	0.0	2.9	0.8	3.0	2.5	2.0
Medien/Medienkooperationen/Entwicklung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.8
Religion/Kirche	4.5	0.0	0.0	1.7	0.0	1.3	0.0	2.5	0.0
Anderes Thema	0.0	2.1	0.0	1.7	2.9	2.6	3.0	0.0	0.0
Total N (1196)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

n = Total der erhobenen Bezugsrahmen je Ereignis mit maximal 2 Vergaben pro Zeitungsartikel.

Präferenzordnung beim Publikum

Neben der Beschreibung des allgemeinen Katastrophenverlaufes wird der Ausleuchtung der Schadens- und Folgeproblematik 2005 grosses Gewicht beigemessen. Letztere ist in Bezug auf das Ausmass der Zerstörung 2005 nicht überraschend. Hingegen ist der allgemeine Aufschwung des Schadensthemas bemerkenswert von der Marginalität bis in die 50er Jahre zu einem bedeutenden Diskussionsgegenstand seit den 80er Jahren. Einen ähnlichen Relevanzgewinn ist beim Thema «Zukunftserwartungen» zu beobachten. Insbesondere im 21. Jahrhundert gewinnt die Vorwegnahme von Gefährdungslagen erhöhte Beachtung – wenn auch 2005 abgeschwächter als dies 2000 der Fall war. Eine rückläufige Medienaufmerksamkeit verzeichnen 2005 wissenschaftlich-technische Themenzugänge seit dem Spitzenplatz 1999, wie auch politische Belange – insbesondere seit den 90er Jahren. Da beide Themen i. d. R. erhebliche journalistische Sachkenntnisse, eine intensivere Einarbeitung sowie Vermittlungskompetenzen erfordern, führen vermutlich Sachzwänge einer kommerziell ausgerichteten Medienlandschaft und das Aktualitätspostulat zu diesem Relevanzverlust. Diesbezüglich interessant ist ein Vergleich mit der thematischen Präferenzordnung beim Publikum. Das Interesse an Expertenmeinungen bzw. an wissenschaftlich-technischen Themenzugänge ist bei Hochwasser besonders ausgeprägt. Gemäss den Resultaten aus der Bevölkerungsumfrage in Kap. 10.3 interessieren sich knapp die Hälfte der Befragten (49 %, N=1269) dafür.

Zudem zeigt sich, dass Berichte über politische Aspekte zumindest tendenziell als wichtiger erachtet werden als die von Medien favorisierte Human-Interest-Berichterstattung bzw. Darstellung von Schicksalen Betroffener.

Neue Themen- und Problemfelder

Im Weiteren sind im Fokus der Medien Aspekte der «Sicherheit/Rettungsarbeit/Folgebewältigung» und sozial geprägte Belange wie «Private Hilfe/Organisierte Solidarität» sowie die «offizielle Situation Direktbetroffener» unter den weniger gewichtigen Inhalten zu finden. Bis zum Ereignis 1953 haben diese Aspekte die thematische Perspektive in der parteinahen Presse geprägt. Im Kontext der Umwelt- und Risikoproblematik seit den 70er und folgenreich im Verlauf der 80er und 90er Jahre sind sie von neuen Themen- und Problemfeldern verdrängt worden. Diese thematische Verlagerung hat eine neuartige und differenziertere Sicht auf Naturereignisse erst möglich gemacht. Solche Effekte schlagen sich auch im Bewusstsein und in der Beurteilung der Menschen nieder, die ihre Informationen primär aus den Massenmedien ziehen.

10.2.7 Deutungsmuster zu den Ursachen

Bedrohungswahrnehmung 2005

Nach dem Schock über die Zerstörung kommen die Fragen nach den Ursachen. Die vorliegende Zeitreihe in Tab. 10.2 zeigt jene Deutungsmuster, mit denen das Hochwasser 2005 in Zusammenhang gebracht wurde. In der zeitlichen Dimension kann kaum in Frage gestellt werden, dass für die Katastrophe 2005 weder Verweise auf Schicksal (3.2 %) noch Gottes höhere Gewalt (0.4 %) viel Erklärungskraft haben. Allerdings treten diese Argumente in den Reaktionen auf das Ereignis 2000 gehäuft in Erscheinung. Charakteristisch für die Bedrohungswahrnehmung 2005 ist, dass der Mensch als Risikofaktor wieder weniger betont wird, als dies für die Unwetter 1978 oder 1987 der Fall war. Beide Hochwasser fallen in die Hochblüte des Umweltdiskurses. In dieser konfliktreichen Zeitphase standen Aspekte menschlichen Fehlverhaltens anteilsmässig stärker zur Debatte als in der Berichterstattung der 90er Jahre und danach.

Mensch nicht verantwortlich

In den Schuldzuweisungen 2005 werden relativ ausgewogen die menschlichen Eingriffe in die Natur (8 %) – insbesondere das Siedlungsverhalten (1.9 %) – sowie Fehlleistungen des politischen Systems (5.2 %) genannt. Beachtenswert ist die Erweiterung um Menschen gemachte Faktoren. Schuldzuweisungen betreffen die Medien bzw. deren Effekte als auch das fehlende Gefahrenbewusstsein und die mangelnde Naturgefahrensensibilisierung. Allerdings tragen über 75 % der Stellungnahmen die Vorstellung mit, der Mensch sei für die Hochwasser in der Schweiz nicht verantwortlich. Überdurchschnittlich stark erfolgt die klassische Berufung auf die «Laune der Natur» (47.5 %). Letzteres trifft für das Unwetter 2000 ebenso zu. Innerhalb des weiteren Spektrums von Ansichten, die menschlich Aktivitäten ausgrenzen, zeichnen sich weitere bemerkenswerte Veränderungen ab. Die Erklärungslinie «mangelndes Wissen/ Unkalkulierbarkeit» verliert im 21. Jahrhundert massgeblich an Bedeutung. Im Gegenzug werden die Schäden zunehmend im Kontext der «Grenzen der Risikovorsorge» erklärt – rund 10 % beträgt der Anteil 2005.

Tab. 10.2 > Deutungsmuster zu den Schadensursachen 2005 im Vergleich mit Ereignissen von 1910 bis 2000 in Deutschschweizer Zeitungen (NZZ, TA, NLZ, BK ab 1978)

Gefährdungs-konzept	Deutungsmuster: Schadensursache	1910	1927	1953	1978	1987	1993	1999	2000	2005
Tabu	Naturgeister	0 %	4.5 %	3.8 %	2.4 %	1 %	0 %	0.5 %	0 %	0 %
		0	3	2	2	1	0	1	0	0
	Schicksal/Unglück	10.9 %	21.2 %	3.8 %	4.8 %	2.9 %	2.7 %	0.5 %	16.2 %	3.2 %
		15	14	2	4	3	2	1	31	27
Sünde	Gottes höhere Gewalt	2.2 %	3 %	3.8 %	1.2 %	1 %	4.1 %	1.6 %	3.7 %	0.4 %
		3	2	2	1	1	3	3	7	3
	Total	13.1 %	28.7 %	11.4 %	8.4 %	4.9 %	6.8 %	2.6 %	19.9 %	3.6 %
Risiko (Quelle)	Laune der Natur	37.2 %	34.8 %	32.7 %	34.9 %	39.8 %	45.2 %	41.3 %	51.3 %	47.5 %
		51	23	17	29	41	33	76	98	395
	Einzelereignis/ historisch-kulturelle Kontinuität	9.5 %	6.1 %	15.4 %	13.3 %	12.6 %	6.8 %	15.2 %	8.9 %	13.4 %
		13	4	8	11	13	5	28	17	111
	Mangelndes Wissen/ Unvorhersehbarkeit	11.7 %	16.7 %	25 %	13.3 %	14.6 %	20.5 %	16.8 %	7.3 %	5.2 %
		16	11	13	11	15	15	31	14	43
	Grenzen/Mangel effektiver Risikovorsorge	0.7 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1.1 %	5.8 %	9.9 %
		1	0	0	0	1	0	2	11	82
	Ökologische Faktoren (Waldsterben/Klimaerwärmung)	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0.5 %	0 %	0.6 %
		0	0	0	0	1	0	1	0	5
	Total	59.1 %	57.6 %	73.1 %	61.4 %	69 %	72.5 %	75.4 %	73.3 %	76.6 %
Risikoverursacher	Menschliches Versagen Einzelperson	4.4 %	3 %	7.7 %	3.6 %	2.9 %	5.5 %	2.2 %	0.5 %	1 %
		6	2	4	3	3	4	4	1	8
	Menschliche Eingriffe in die Natur/ Siedlungsverhalten (2005)	8 %	9.1 %	5.8 %	12 %	15.5 %	8.2 %	8.7 %	3.1 %	8 %
		11	6	3	10	16	6	16	6	67
	Menschlicher Lebensstil / Wohlstand	0 %	1.5 %	0 %	0 %	0 %	2.7 %	0.5 %	1 %	0.5 %
		0	1	0	0	0	2	1	2	4
	Menschlich verursachter Klimawandel	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0.7 %
		0	0	0	0	0	0	0	0	6
	Menschlicher Mangel an Gefahren-Bewusstsein/Sensibilisierung	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1.4 %	0 %	0 %	1.4 %
		0	0	0	0	0	1	0	0	12
	Naturkonzepte von Umweltaktivisten	0 %	0 %	0 %	3.6 %	1 %	0 %	0.5 %	0 %	0.5 %
		0	0	0	3	1	0	1	0	4
	Umweltverhalten Betroffener	5.7 %	0 %	0 %	1.3 %	2.9 %	1.4 %	4.3 %	1 %	1.4 %
		8	0	0	1	3	1	8	2	12
	Politisches Handeln/Institutionen/ Akteure	9.5 %	0 %	1.9 %	9.6 %	3.9 %	1.4 %	5.4 %	1 %	5.2 %
		13	0	1	8	4	1	10	2	43
	Mediales Handeln/ Effekte von Medienbotschaften	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1.1 %
		0 %	0 %	0 %	0 %	0	0	0	0	9
	Total	27.6 %	13.6 %	15.4 %	30.2 %	25.1 %	20.6 %	21.6.%	6.7 %	19.8 %
	Total (N = 1720)	137	66	52	83	103	73	184	191	831

Globale Erwärmung

Insofern Beschuldigungen für die Schäden geäussert werden, werden sie im Mediendiskurs aber nur am Rand mit der globalen Erwärmung in Zusammenhang gebracht. Demgegenüber ist in hier nicht weiter aufgeführten Befunden zu den Argumentationen, die auf die Wetterkonstellation Bezug nehmen, die Klimathematik seit dem Hochwasser 1987 stets präsent – damals eine noch schlagzeilenkräftige Hiobsbotschaft. Äusserungen dazu, insbesondere was menschliche Beschuldigungen betrifft, bleiben auch zum Hochwasser 2005 anteilmässig zurückhaltend. Neben dem naturhaften Charakter des Wetters (61 %) bringen nur 7.5 % der Statements den Klimawandel und 3.8 % explizit den Mensch als Risikofaktor ins Spiel. Gemessen am quantitativen Vorkommen werden klimatische Ursachen 2005 allerdings sehr umfangreich aktualisiert.

Unter den Schadens- und Ereignisursachen steht über Zeiträume hinweg das singuläre, naturhafte Einzelereignis im Vordergrund der Medienkommunikation.

10.2.8 Katastrophen im Strukturwandel der Medien

Einflüsse des Mediensystems

Ein relevanter Hintergrund der vorliegenden Untersuchung ist der Strukturwandel der Medien. Hier geht es darum, die in den Zeitungen vermittelte Katastrophenrealität im Zusammenhang mit dem Medienwandel anhand ausgewählter Gesichtspunkte zu interpretieren. Einflüsse des Mediensystems bzw. Veränderungen medialer Selektions- und Darstellungslogik erschliessen sich durch den Vergleich der Katastrophenberichterstattung in der Parteipresse mit derjenigen im kommerzialisierten Mediensystem.

10.2.8.1 Bildberichterstattung 2005 und Visualisierungseffekte

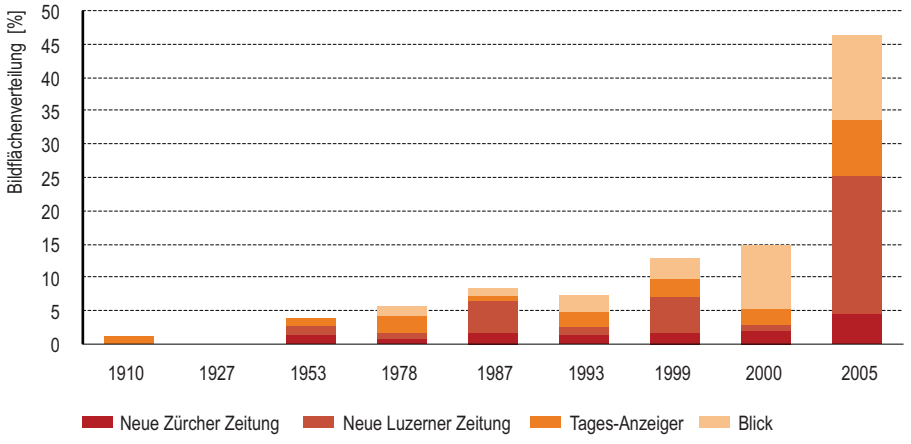
Visualisierungseffekte

Die Unwetterbilder von 2005 gingen um die Welt. Bilder machen weder an der Grenze (Landes-, Sprach- oder Kulturgrenze) noch vor dem Handeln und den Emotionen des Menschen Halt. Sie wirken sehr direkt. Optische Attraktivität spielt für die Aufmerksamkeitsbindung eine grosse Rolle. Vor dem Hintergrund des Animationsnutzens ist eine Bildanalyse ergiebig, um die Omnipräsenz des Unwetters 2005 entlang von Visualisierungseffekten der Zeitungsentwicklung zu reflektieren.

Steigerung um das 46-fache

Die Hauptbefunde aus der Bildanalyse in Abb. 10.5 demonstrieren die massive Expansion der visuellen Katastrophenkommunikation von 1910 bis zum Unwetter 2005. Jedoch übertreffen die aus der Katastrophe 2005 gewonnenen 432 Bilder selbst die hohe Bildpräsenz der Ereignisse 1999 (119) wie 2000 (138) einmalig hoch. Über 46 % der gesamten Bildfläche aller untersuchten Hochwasser wurde 2005 abgedruckt. Im Vergleich mit knapp 15 % im Jahr 2000 bedeutet dies eine Verdreifachung der visuellen Kommunikation, im Kontrast zum Hochwasser 1910 eine Steigerung um das 46fache. Damals vermittelten wenige Strichzeichnungen bloss eine distanzierte Sicht auf das Geschehen (Abb. 10.6). Kleinformatige Schwarzweiss-Fotografien sind es 1953. Im Vergleich zu 1953 platzieren Zeitungen 2005 im Mittel jede Bildnachricht um 67 % grösser. Umgekehrt dezimiert sich bis 2005 die durchschnittliche Beitragslänge um 20 %.

Abb. 10.5 > Verteilung der Bildflächen[1] bei den Berichterstattungen über die Ereignisse von 1910 bis 2005 in den Deutschschweizer Leitmedien.



[1] Die Summe aller Bildflächen entspricht 100 %

Emotionalisierungskraft des Bildes

Die offensive, weil publikumskonforme Visualisierungsstrategie in der Presse sowie eine stetig umfassendere Aufmerksamkeit für Hochwasser bis 2005 hat zur Folge, dass Katastrophen als reich bestückte, gross aufgezogenen Bildeindrücke durch den Blätterwald rauschen. Dabei ist die viel stärkere Emotionalisierungskraft des Bildes im Vergleich zum Wort hervorzuheben.

10.2.8.2 Visualisierungsmuster und Personalisierung

Qualitativer Wandel der Katastrophenbebilderung

Neben der quantitativen Zunahme der Visualisierung ist auch ein qualitativer Wandel der Katastrophenbebilderung festzustellen. Inhaltlich zeigt sich das einerseits in der zunehmenden Ausklammerung von sachbezogenen Fotografien und einem gegenläufigen Trend, Hochwasser mit Ausblick auf Personen ins Bild zu setzen. Überdurchschnittlich stark verbildlichen menschliche Motive die Bildwelt zum Hochwasser 2005: Rund 64 % des Bilderflusses machen Personenfotografien aus, 32 % sind objektbezogene Fotografien und 4.2 % grafische Elemente. Andererseits zeigen sich massgebliche Unterschiede in der Art und Weise der Darstellung von Personen. Zur Zeit der Parteipresse halten die Redaktionen bezeichnenderweise die im Bild festgehaltenen Personen vor den Blicken der Öffentlichkeit auf Distanz. Anonyme Menschen dominieren die Katastrophenbilder 1953 mit einem Höchstwert von 96 %. Diese Zurückhaltung wird deutlich in den 80er und 90er Jahren zugunsten namhafter Akteure reduziert. In der Berichterstattung 2005 beträgt ihr Anteil 55 %. Mit einem Anteil von 68 % ist das Ereignis 2000 am stärksten personalisiert.

Abb. 10.6 > Die Bildpräsenz von Hochwasser im Wandel der Zeit

Die Bilder sind entsprechend ihrer originalen Grösse massstäblich wiedergegeben.

Hochwasser 2005
Quelle: Blick vom 23.08.2005, S. 14 und 15

Hochwasser 1910
Quelle: Tages-Anzeiger vom 24.06.1910, S. 13

Hochwasser 1953
Quelle: Tages-Anzeiger vom 27.06.1953, 2. Blatt

Trostloses Bild von der unter Wasser stehenden Hauptstrasse zwischen Kamptal und Illnau

Allerdings ist diese Entwicklung in den Zeitungen nicht homogen. Nicht überraschend ist es die Berichterstattung der Neuen Luzerner Zeitung, die diesen Visualisierungsschub 2005 massgeblich ausmacht (Abb. 10.5) und in Adaption an Boulevardstrategien mit einem Anteil von 81 % Personenfotografien favorisiert – gut zur Hälfte im personalisierten Repräsentationsstil. Hervorzuheben ist die wenig bildlastige NZZ, welche den Fokus 2005 zu 64 % auf Objektfotografien legt und eine distanzierte und anonyme Veröffentlichungspraxis bei Personendarstellungen weitgehend beibehält. Wenn sich der TA im Kontext von wettbewerbsbedingten Notwendigkeiten umfangreicher Bildmitteln bedient, sind Objekt- und Personenfotografien 2005 gleichwertig präsent und nur zu einem Drittel personalisiert.

Adaption an Boulevardstrategien

10.2.8.3 Betroffenheitskommunikation

Die Ergebnisse zur Betroffenheitskommunikation illustrieren, wie veränderte inhaltliche und formale Darstellungsprinzipien in Medien dazu beitragen, dass jüngste Katastrophen hohe Solidarität, Spendenrekorde sowie rekordverdächtige Einschaltquoten erzeugen. Dazu zählt «Gondo», wo die Tagesschau SF1 vom 15. Oktober 2000 1.7 Mio. Zuschauende vor den Bildschirm brachte.

Betroffenheitskommunikation und Einschaltquoten

Das August-Hochwasser 2005 mit sechs Toten hat Betroffene sowohl in Wort und Bild zu einem Höchstmass an Medienpräsenz verholfen (Abb. 10.7 und Abb. 10.8). Mit 123 Fotografien sind 60 % aller Betroffenenbilder und über ein Drittel ihrer verbali-

Favorisierung Betroffener 2005

sierten Präsenz im Ereignis 2005 angefallen. Ein weiterer Ausdruck einer besonders hohen journalistischen Zuwendung ist die Favorisierung Betroffener innerhalb der Personenbilder, wo ihr Anteil 2005 45 % beträgt – demgegenüber erreichten Rettungskräfte (12.5 %), Wirtschaftsakteure (9.5 %), normale Bürger (7.7 %) bis zur Bundesregierung (5.5 %) deutlich weniger Visualisierungschancen.

Dass Betroffene für schweizerische Zeitungen nicht immer genug Anlass gaben, worüber so ausführlich zu berichten wäre wie 2005, zeigt sich entlang der Medienresonanz von 1910 bis 2005. Die Medienaufmerksamkeit seit dem opferreichsten Ereignis 1910 mit 27 Toten verringerte sich bis zum Ereignis 1953 deutlich (Abb. 10.7).

Abb. 10.7 > Publizität Betroffener in der Katastrophenberichterstattung von 1910 bis 2005.

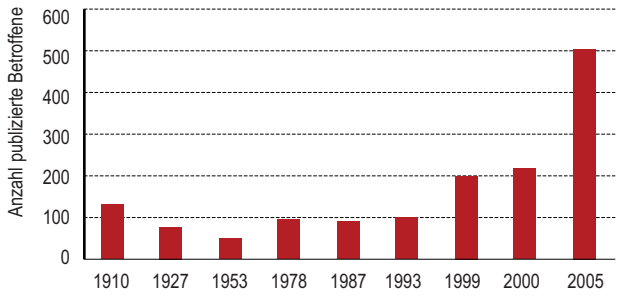
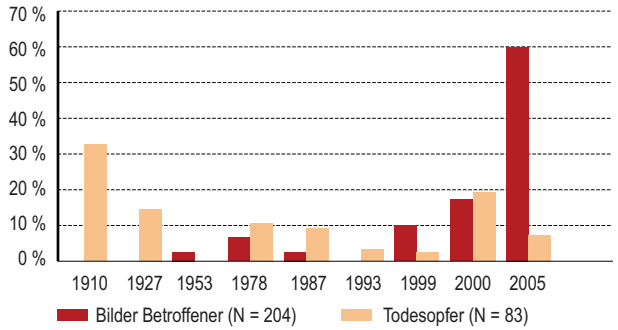


Abb. 10.8 > Aufteilung der Bildpräsenz Betroffener in der Katastrophenberichterstattung von 1910 bis 2005 kontrastiert mit dem Gewicht der Todesopfer.



Dieser Bedeutungsverlust in der Medienthematisierung zeichnet in jedem Fall auch die sich mildernden Umstände solcher Schicksalslagen nach. Dank Schutz und Präventionsmassnahmen sanken die Opferzahlen. Eine tendenziell erhöhte, als auch vergleichbare Publizität Betroffener prägt die Unwetterberichterstattung 1978 und 1987 bis 1993. Schien die Verdoppelung der Publizität mit 200 Belegstellen für 1999 zunächst bemerkenswert, relativiert spätestens das Hochwasser 2005 mit einem erneuten Anstieg um das 2.5fache jegliche früheren Resultate.

Andere Darstellungslogiken

Die Betroffenheitskommunikation in den Medien wird zudem durch andere Darstellungslogiken beeinflusst. Im Rahmen der Hochwasserereignisse 1978 bis 2005 gelangten Risikoexponierte in stetig höherem Masse im Originalton in die Medienöffentlichkeit. Rund ein Drittel wurde 2005 zitiert – der Höchstwert 1999 mit rund 40 % somit nicht mehr erreicht. Betroffene blieben in der Parteipresse in einer faktisch neutralisierenden Sprache beschrieben und im Lichte der Berichterstattung nur diffus erkannt. Hinzu kommt, dass Bilder Betroffener kaum medienöffentlich zugänglich waren (Abb. 10.8). Der publizistische Zugriff auf die Privatsphäre rechtfertigte nicht zuletzt das politische Aufklärungsinteresse über die soziale Not der Geschädigten. Diese Haltung hat sich gewandelt. Mit einem Anteil von rund 40 % sowohl 2005 und 2000 erfährt die Aufmerksamkeit für die Privatsphäre Betroffner eine erneute Steigerung um 5 %. Auf ähnlich hohem Niveau, zu rund 40 % 2005 wie bereits 1999, prägen neu personalisierte Betroffene die mediale Aufbereitung. Eine solche Darstellung hat

gegenüber dem Bezug auf abstrakte Betroffene bekanntlich mehr Aufmerksamkeitswert. Von Interessen, Schock und Ängsten gekennzeichnete Gefühlslagen dringen bis 2005 sehr direkt in die Medienkommunikation vor: *«Das schlimmste ist: Du kannst nichts machen, musst das Ganze über dich ergehen lassen, sagt Heidi Obermatt, die vor vier Wochen das dritte Kind zur Welt brachte»* (NLZ, 29. 8. 05, S. 31) steht exemplarisch für diesen Wandel. Die beschriebene Entwicklung ist letztlich mit der Human-Interest-Berichterstattung gekoppelt – ein klarer Indikator für Boulevardisierungs-Tendenzen. Eine bislang vorhandene Schwelle in der Qualitätspresse für Sensationen und kuriose Geschichten wird im Verlauf der späten 90er Jahre abgebaut und prägt 2005 – wie schon gezeigt – die Katastrophenberichterstattung massgeblich mit. Die Elitezeitung NZZ ist von diesem Trend bislang nicht erfasst worden.

10.2.9 Folgerungen

Einflüsse des Medienwandels

Das Hochwasser vom August 2005 übertrifft bezüglich Medienaufmerksamkeit wohl alle bisherigen Unwetterereignisse in der Schweiz. Was in den Massenmedien zu sehen ist, ist ein Medienabbild des Geschehens und folglich ein Konstrukt in einzelnen Medien. Im Licht dieser Daten sind die starken Einflüsse des Medienwandels auf die Erscheinungsform des Unwetters 2005 offensichtlich geworden. Das, was von kommerzialisierten Medien bedient werden muss, ist das Publikum. Es erstaunt deshalb nicht, dass bei der medialen Aufbereitung all das, was Aufmerksamkeit erzeugt, optimiert wird. Das führt dazu, dass unverhältnismässig hohe Aufmerksamkeit für einzelne Ereignisse wahrscheinlicher wird, weil über die Pflichtberichterstattung hinaus das Geschehen bewirtschaftet wird. Damit verbunden ist die Boulevardisierung und Entertainisierung der Katastrophenberichterstattung. Über die Ausweitung der Human-Interest-Berichte, über verstärkte Visualisierung, über Personalisierung und Privatisierung der Medienkommunikation ebenso bis zur starken Sichtbarkeit der Situation Betroffener vollziehen sich massgebliche Veränderungen im Bild des Hochwassers 2005.

Risikopotenzial aus den Medien

Die Ergebnisse erlauben es, sich darauf einzustellen, dass in Zukunft mit erhöhtem Risikopotenzial aus den Medien selbst zu rechnen ist. Neue Schadenbilder, welche z. B. in Beziehung mit Reaktionen auf eine dramatische Tonlage in der Berichterstattung oder auf spektakuläre Unwetterbilder zu Tage treten, geben zumindest einen Vorgeschmack auf neue Schadensszenarien. Weil Medienbotschaften eine vielseitige Kombination von Reaktionen mit sich bringen, stellt das Potenzial solcher Schadenslasten eine besondere Herausforderung dar. Umso mehr sind aktuelle Entwicklungen im Mediensystem zu beobachten und ernst zu nehmen. Dazu gehört auch, den Wandel der Medien zu akzeptieren und sich gleichzeitig auf ihre Funktionslogik einzustellen. Mit ihr sind in einer Katastrophenlage Krisenstäbe, Fachleute oder Behörden von Beginn an konfrontiert (Peters, 2007). Das eröffnet Möglichkeiten für neue Interventionen, schafft aber auch Probleme. Bedürfnisse und Erwartungen, die an die Medien herangetragen werden, werden weniger enttäuscht, wenn involvierte Akteure über die Systemlogik der Medien Bescheid wissen und auf mögliche Zwischenfälle vorbereitet sind. Sicher hilft es mit, Medienschaffende nicht nur als Störfaktor vor Ort zu sehen, wenn sie bereits in die Katastrophenvorbereitung involviert sind. Auf diesem Weg lässt sich ein gegenseitiges Problemverständnis gewinnen.

Kritik von JournalistInnen

Aber auch JournalistInnen bemängeln einiges. Kritisiert werden etwa klar geregelte Zuständigkeiten, überforderte Behörden und uninformierte Mediensprecher wie auch deren harsches Auftreten bis zum Ausbleiben von Antworten, wenn ihre Fragen unangenehm kritisch werden. Schon aufgrund des Aktualitätsdruckes ist auf Seiten der Medien das Interesse gross, mit Medien-Profis zusammenzuarbeiten, die ihnen Rede und Antwort stehen, Transparenz schaffen oder Geschichten erzählen. Weil Medien stets auf Quellen angewiesen sind, kann bereits die Qualität des Inputs Einfluss auf die Qualität der Berichterstattung nehmen.

Eine Definition von «goldenen» Verhaltensregeln, welche für die Berichterstattung während einer Katastrophe gelten sollen, darf dabei nicht ausbleiben. Ein vertieftes Nachdenken lohnt sich gewiss auch in Bezug auf die Möglichkeiten von neuen Medien wie Internet, Mobiltelefonie oder alternative Kommunikations-Settings. Letztere könnten in einer Katastrophe der erhöhten Informationssuche in vertrauenswürdigen Medien der Bevölkerung gezielt entgegenkommen.

10.3 Erinnerungswert von Hochwasserereignissen

Nathalie Stampfli, Michael Siegrist

10.3.1 Einführung

Ziel

Ende August bis Mitte September 2007 wurde in der Schweiz eine repräsentative Bevölkerungsumfrage zum Thema Hochwasser durchgeführt. Ziel dieser Umfrage war es, den Erinnerungswert von Hochwasserereignissen, im Speziellen des Hochwassers 2005, in der Schweizer Bevölkerung zu untersuchen. Des Weiteren interessierte, wie die Schweizer Bevölkerung auf Hochwasserereignisse reagiert hat, welche Emotionen damit verbunden waren und ob Schutzmassnahmen getroffen wurden. Diese Informationen sollten helfen, abzuschätzen, wie gut die Schweizer Bevölkerung auf zukünftige Hochwasserereignisse vorbereitet ist und welche weiteren Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung notwendig sind.

10.3.2 Methode

Telefonbefragung und Stichprobe

Die Befragung wurde mittels Telefon-Interviews durchgeführt. Insgesamt wurden 7234 Personen aus der gesamten Schweiz kontaktiert. Die Kontaktadressen wurden in einem Zufallsverfahren dem aktuellsten elektronischen Telefonbuch entnommen. Von den 7234 kontaktierten Personen wurden schliesslich 2603 befragt. Dies entspricht einer Antwortquote von 36 %. Aus jedem Kanton wurden mindestens 100 Personen befragt, wobei die Teilnehmer der Geschlechts- und Altersverteilung des jeweiligen Kantons entsprechend ausgewählt wurden (Quotenstichprobe).

Die Teilnehmer waren zwischen 15 und 95 Jahre alt. Das durchschnittliche Alter betrug 45.8 Jahre (Standardabweichung=18.22). Von den 2603 Befragten waren 47.5 % Männer und 52.5 % Frauen.

Gewichtung der Daten

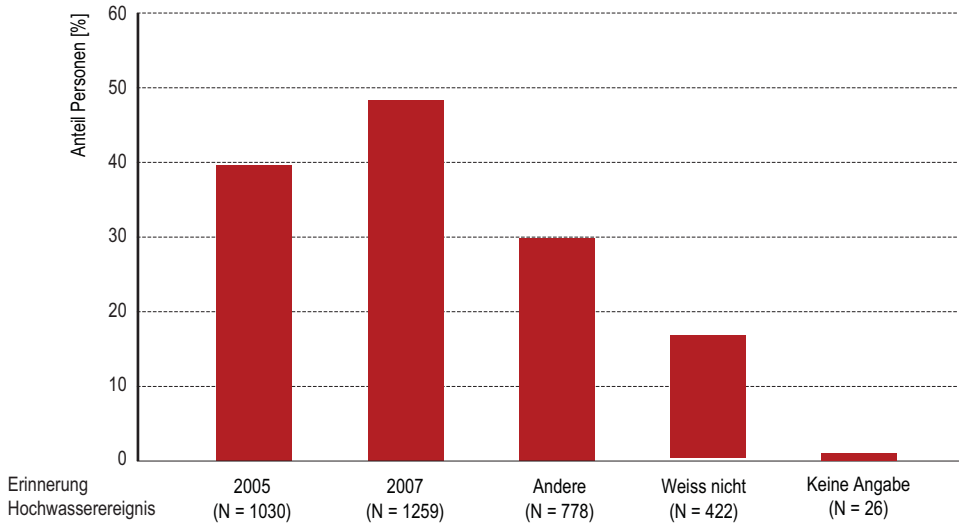
Da in allen Kantonen gleich viele Personen befragt wurden, die Kantone aber unterschiedlich viele Einwohner haben, wurden für die Auswertungen die Fälle bezüglich der Einwohnerzahl des jeweiligen Kantons gewichtet. Dadurch erhalten die Antworten von Befragten aus größeren Kantonen mehr Gewicht und die Antworten von Personen aus kleineren Kantonen weniger Gewicht. Durch diese Gewichtung können Abweichungen in der Grösse der Gesamtstichprobe von ± zwei Personen auftreten. Die Abweichungen entstehen durch das Runden von Werten und sind deshalb vernachlässigbar.

10.3.3 Resultate

Erinnerungen an Hochwasserereignisse

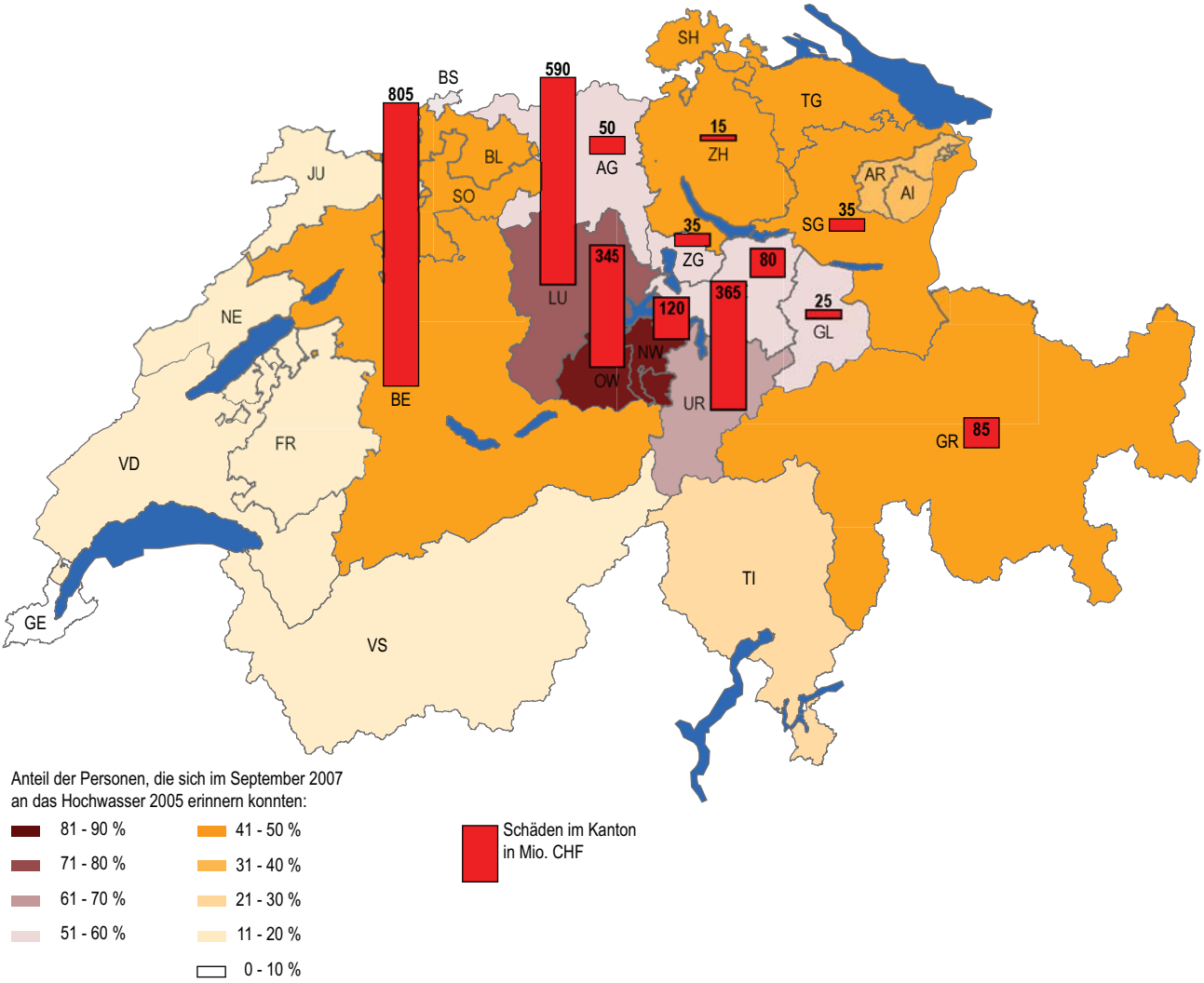
Zu Beginn wurden die Teilnehmer gefragt, an welche schweren Hochwasser in der Schweiz sie sich erinnern können. Bei dieser offenen Frage waren Mehrfachnennungen möglich. Die Antworten sind in Abb. 10.9 dargestellt. Von den 2603 Befragten konnten sich 40 % spontan an das Hochwasser in 2005 erinnern. Beinahe gleich viele Personen, das heisst 48 % der Befragten erinnerten sich an das Hochwasser, das anfangs August 2007, also unmittelbar vor der Befragung, aufgetreten war. Weitere 30 % nannten andere Hochwasser. Von den 2603 Teilnehmern konnten sich trotz aktuellen Hochwasservorkommnissen zur Zeit der Befragung 16 % spontan an kein Hochwasser erinnern.

Abb. 10.9 > Erinnerung an Hochwasserereignisse (Mehrfachantworten)



Gemäss Hilker (2007) erlitten die fünf Kantone Bern, Luzern, Uri, Obwalden und Nidwalden die grössten Gesamtschäden. Von den Befragten, welche in einem dieser fünf Kantone wohnen, konnten sich 59 % an das Hochwasser 2005 erinnern, von den 2111 Befragten aus nicht oder weniger schwer betroffenen Kantonen hingegen nur 35 %.

Abb. 10.10 > Zusammenhang zwischen Erinnerung an das Hochwasser 2005 und Schadensausmass.



BFS GEOSTAT / Bundesamt für Landestopographie

Erinnerungen und Schadensausmass

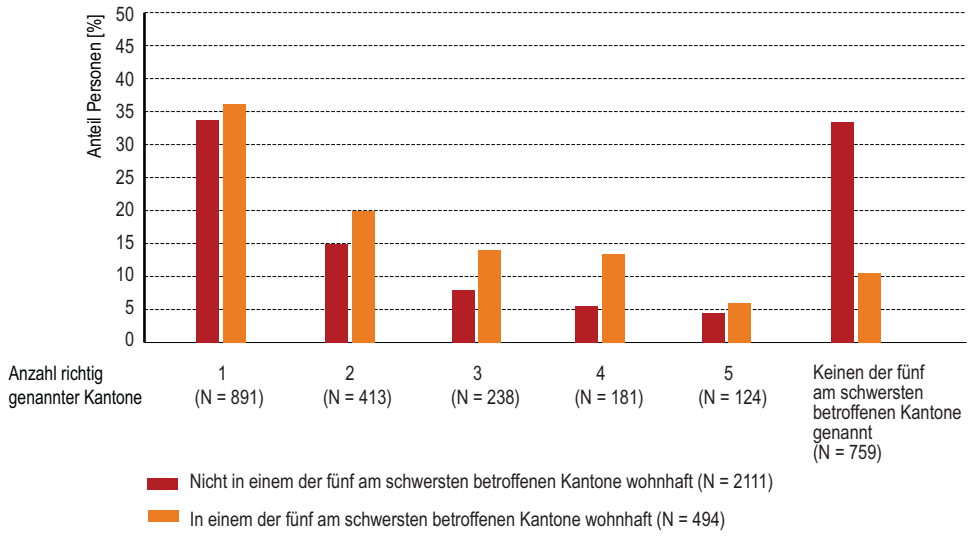
In Abb. 10.10 sind das Schadensausmass und der Anteil der Personen dargestellt, die sich an das Hochwasserereignis 2005 erinnern. Die Säulen stellen die jeweilige Schadenssumme in Mio. CHF und die unterschiedlichen Farben der Kantone den Anteil der Personen mit Erinnerungen an das Hochwasser 2005 dar. Es ist ersichtlich, dass die Erinnerungen an das schwere Hochwasser mit abnehmender Betroffenheit und zunehmender Distanz zum Ort des Geschehens abschwächen. In den Kantonen Obwalden, Nidwalden und Luzern, welche zu den am schwersten betroffenen Kantonen zählen, waren die Erinnerungen am stärksten. Obwohl Bern der Kanton mit dem grössten Schadensausmass ist, erinnerten sich nur 50 % der Befragten in diesem Kanton an das Hochwasser 2005. Dies liegt vermutlich daran, dass der Kanton Bern ein flächenmässig grosser Kanton ist und nur bestimmte Teile des Kantons vom Hochwasser betroffen waren. Am schwächsten waren die Erinnerungen an das Hochwasser 2005 im Kanton

Tessin und den Westschweizer Kantonen. Diese Kantone hatten vergleichsweise geringe Schäden zu verzeichnen und befinden sich in grösserer Entfernung zu den vom Hochwasser am stärksten betroffenen Gebieten.

Erinnerungen an die am stärksten betroffenen Kantone

Zusätzlich wurden die Teilnehmer gebeten, die vom Hochwasser 2005 am stärksten betroffenen Kantone aufzuzählen. Wie bereits erwähnt wurde, sind dies die fünf Kantone Bern, Luzern, Uri, Obwalden und Nidwalden. Sie weisen zusammen rund 75 % des Gesamtschadens auf. Die Ergebnisse zu dieser Frage sind in Abb. 10.11 dargestellt.

Abb. 10.11 > Aufzählung der am schwersten betroffenen Kantone.

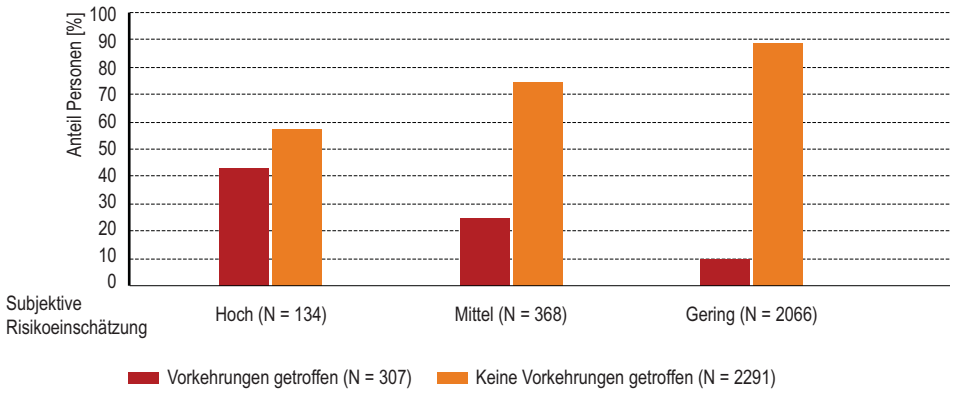


Personen, welche selber in einem der fünf stark betroffenen Kantone wohnen, konnten mehr betroffene Kantone nennen als Personen, die nicht in einem dieser Kantone wohnhaft sind. Von den 494 Personen, welche in einem der fünf Kantone wohnen, waren nur 11 % nicht in der Lage einen richtigen Kanton aufzuzählen. Im Gegensatz dazu konnten 33 % von den 2111 Befragten, welche nicht aus einem dieser fünf Kantone stammen, keinen richtigen Kanton nennen.

Einschätzung des Hochwasserrisikos

Die Teilnehmer wurden weiter gebeten, die Wahrscheinlichkeit, dass in ihrer Wohnlage beträchtliche Schäden durch Hochwasser entstehen könnten, einzuschätzen. Den Befragten standen zur Einschätzung die drei Kategorien «hoch», «mittel» und «gering» zur Verfügung. Ausserdem wurden sie gefragt, ob sie persönliche Vorkehrungen zum Schutz vor Hochwasserschäden getroffen haben. Abb. 10.12 stellt die getroffenen Sicherheitsvorkehrungen in Abhängigkeit des eingeschätzten Risikos dar.

Abb. 10.12 > Getroffene Sicherheitsvorkehrungen in Abhängigkeit der subjektiven Risikoeinschätzung.



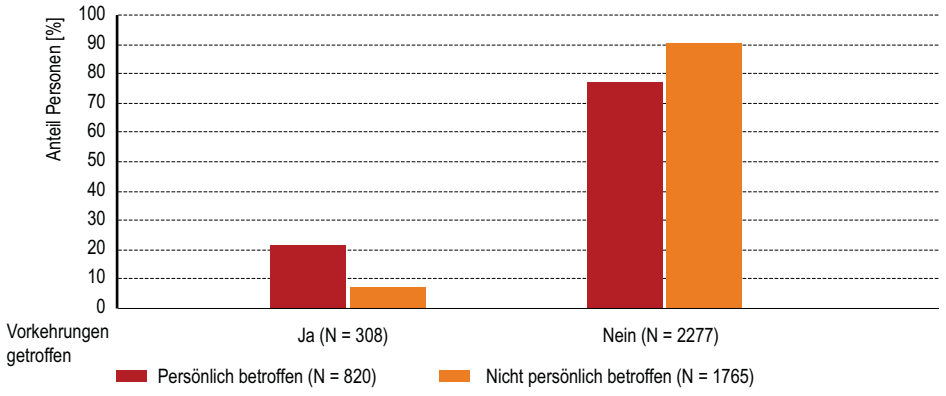
Risikoeinschätzung und Präventionsverhalten

Von den 134 Personen, welche ein hohes Risiko wahrnahmen, gaben 57 % an, keine persönlichen Vorkehrungen zum Schutz vor Hochwasser getroffen zu haben. Je geringer die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Schäden eingestuft wurde, umso weniger wurden Vorkehrungen zum persönlichen Schutz getroffen. Um das Schadensausmass der kommenden Hochwasser einzudämmen, ist es wichtig zu verstehen, wieso die Befragten, obwohl sie das Risiko als hoch einschätzen, keine Massnahmen getroffen haben.

Präventionsverhalten

Ein Vergleich des Präventionsverhaltens von Personen, welche angaben, von Hochwasser bereits persönlich betroffen gewesen zu sein bzw. jemanden zu kennen, der bereits betroffenen war, und Personen, die nach eigenen Angaben von Hochwasser bisher nicht betroffen waren bzw. niemanden kennen, der von Hochwasser betroffen war, ist in Abb. 10.13 dargestellt. Sie zeigt, dass Personen, welche angaben von Hochwasser bereits betroffen gewesen zu sein bzw. jemanden zu kennen, der von Hochwasser bereits betroffen war, eher Vorkehrungen zum Schutz vor Hochwasser getroffen haben.

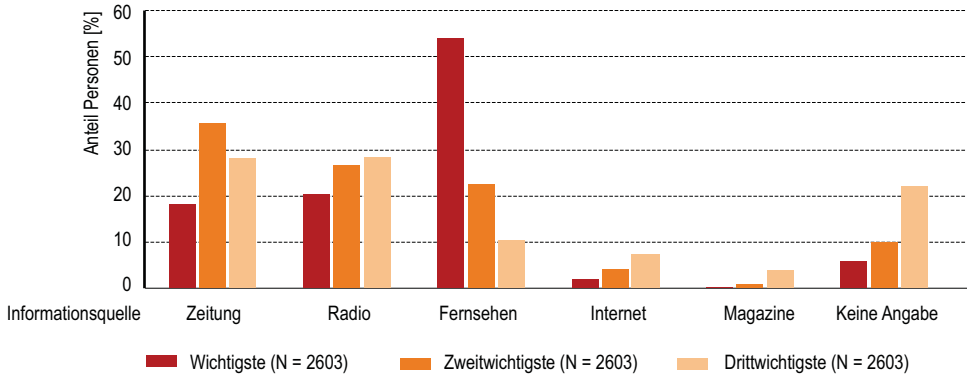
Abb. 10.13 > Getroffene Sicherheitsvorkehrungen in Abhängigkeit der Betroffenheit.



Informationsquelle während des Hochwassers

Schliesslich wurden die Teilnehmer zu den Medien als Informationsquelle während des Hochwasserereignisses im Sommer 2005 befragt. An dieser Stelle wurden sie gefragt, welche Medien damals ihre wichtigste Informationsquelle darstellten. Folgende Medien standen den Teilnehmern bei der Bewertung zur Verfügung: Zeitungen, Radio, Fernseher, Internet und Magazine. Die Teilnehmer mussten aus dieser Auswahl das wichtigste, zweitwichtigste und drittwichtigste Medium bestimmen. In Abb. 10.14 sind die Ergebnisse dieser Analyse dargestellt. Für 53 % der 2603 befragten Personen war während des Hochwassers der Fernseher die wichtigste Informationsquelle. Radio und Zeitungen wurden von 20 % respektive 18 % aller Befragten als wichtigste Informationsquelle angesehen. Auf die Frage, ob sie während des Hochwassers die Medien vermehrt konsultiert hatten, antworteten von den 2603 befragten Personen 36 % mit «Ja» und 61 % mit «Nein». Ein Grund dafür, dass mehr als die Hälfte der Befragten angaben, trotz des Hochwassers die Medien nicht vermehrt konsultiert zu haben, könnte die ohnehin schon regelmässige Konsultation von Informationen und Nachrichten sein.

Abb. 10.14 > Wichtigkeit der unterschiedlichen Medien als Informationsquelle.



Wahrnehmung der Berichterstattung

Des Weiteren mussten die Teilnehmer die Berichterstattung über das Hochwasser 2005 in den Medien beurteilen. Zur Beurteilung standen folgende drei Kategorien zur Verfügung: «angemessen», «verzerrt» und «weiss nicht mehr». Von den 2603 Befragten empfanden 73 % die Berichterstattung als angemessen, 13 % als verzerrt und 14 % konnten sich nicht mehr an die Berichterstattung über das Hochwasser erinnern.

Inhalt der Berichterstattung

Zum Schluss wurden die Teilnehmer gefragt, was ihnen bei der Berichterstattung über Hochwasser im Inland besonders wichtig sei. Die Befragten erhielten sechs Antwortmöglichkeiten, von denen nicht mehr als drei ausgewählt werden durften. Folgende Antwortkategorien standen den Teilnehmern zur Auswahl: «Meinung von Experten zum Ereignis, seinen Ursachen und Folgen», «Beschreibungen von Schicksalen Betroffener», «Berichte über Rettungseinsätze und Katastrophenhelfer», «gesellschaftliche Bewältigung und politische Massnahmen», «Verhaltensanweisungen» und «Darstellung von Spenden- und Hilfsaktionen». Die Antworten zu dieser Frage sind in Abb. 10.15 dargestellt.

Abb. 10.15 > Inhalt der Berichterstattung (Mehrfachantworten).

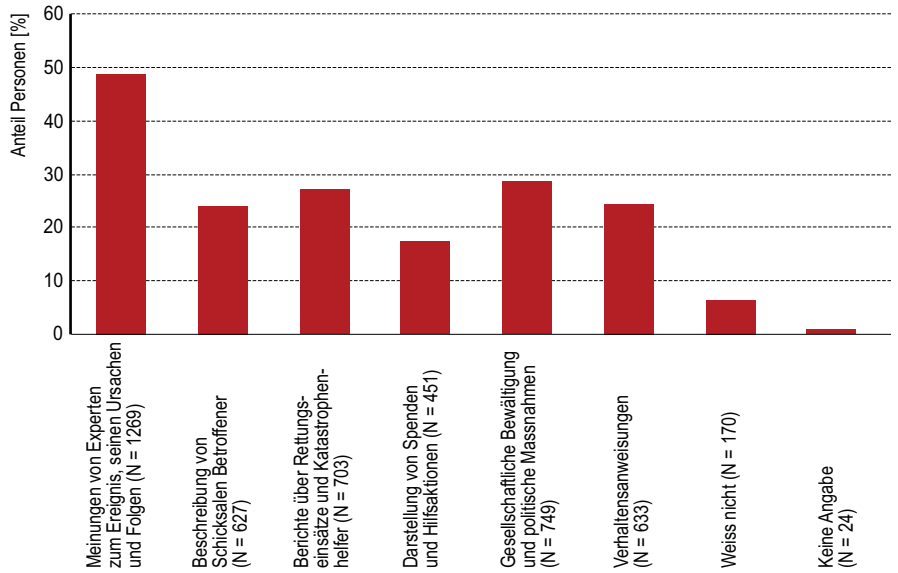
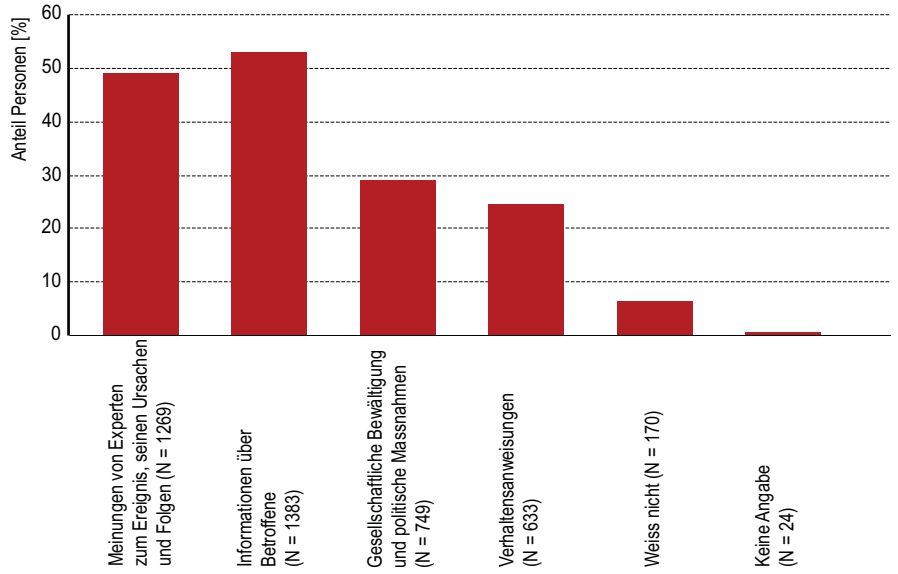


Abb. 10.16 > Inhalt der Berichterstattung (Mehrfachantworten). Informationen über Betroffene werden zusammengefasst.



Expertenmeinungen und Berichte über Betroffene

Von den 2603 Befragten gaben 49 % an, bei Hochwasserereignissen besonders an Expertenmeinungen interessiert zu sein. Beschreibungen von Schicksalen Betroffener, Berichte über Rettungseinsätze und Katastrophenhelfer, gesellschaftliche Bewältigung und politische Massnahmen sowie Verhaltensanweisungen, wurden als gleich wichtig empfunden. Am wenigsten wichtig war ihnen die Darstellung von Spenden- und Hilfsaktionen. Die Zusammenfassung der Items «Beschreibungen von Schicksalen Betrof-

fener», «Berichte über Rettungseinsätze und Katastrophenhelfer» und «Darstellung von Spenden- und Hilfsaktionen» zu «Informationen über Betroffene» zeigt, dass die Mehrheit der Befragten an Berichten über Betroffene interessiert ist (Abb. 10.16).

10.3.4 Folgerungen

Betroffenheit und Distanz

Die Resultate zeigen, dass die Erinnerungen an das Hochwasser 2005 bei Personen, die vom Hochwasser verschont blieben, schneller verblassen. Ein weiterer Faktor, welcher das Erinnerungsvermögen beeinflusst, ist die Distanz zum Ort des Geschehens. Die Resultate weisen darauf hin, dass das Erinnerungsvermögen mit zunehmender räumlicher Distanz stark abnimmt. So nahm der Anteil der Personen, welche sich spontan an das Hochwasser 2005 erinnern konnten, in Kantonen mit zunehmender Distanz zu den fünf am schwersten betroffenen Kantonen rasch ab. Der grösste Unterschied zeigte sich jedoch zwischen der deutschen und der französischen und italienischen Schweiz. Ein Grund dafür ist vermutlich die unterschiedliche Berichterstattung in den Medien. Die unterschiedlichen Sprachen und die damit verbundenen kulturellen Unterschiede könnten dazu geführt haben, dass dem Hochwasser im Kanton Tessin und der Westschweiz weniger Bedeutung beigemessen wurde.

Präventionsverhalten

Die Resultate zeigen auch, dass Personen, die von Hochwasser betroffen waren, im Vergleich zu Personen, welche von Hochwasser verschont blieben, eher Schutzvorkehrungen treffen. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien (Siegrist und Gutscher, 2006; Siegrist und Gutscher, 2008) zu Naturgefahren, welche darauf hindeuten, dass Erfahrungen mit Hochwasser das wahrgenommene Risiko erhöhen und damit auch das Präventionsverhalten fördern. Trotz der negativen Erfahrungen mit Hochwasser verzichtete ein Teil der Betroffenen auf Schutzmassnahmen. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Personen die Massnahmen, die von ihnen persönlich getroffen werden können, als nicht wirkungsvoll einstufen. Ein anderer Grund könnten die möglicherweise hohen Kosten für wirkungsvolle Massnahmen sein. Siegrist und Gutscher (2008) weisen darauf hin, dass sich Personen den möglichen Schäden am Haus, nicht aber den negativen Affekten, welche mit einem Hochwasserereignis einhergehen, bewusst sind. Sie schlagen deshalb vor, die Bevölkerung über das Risiko von Hochwasser und die damit verbundenen negativen Emotionen zu informieren und technische Informationen zu möglichen Präventionsmethoden zur Verfügung zu stellen.

10.4 Erkenntnisse

Vermehrt spektakuläre Einzelereignisse im Zentrum

Die Resonanz in den Medien auf das Hochwasser vom August 2005 ist, sowohl was den Umfang als auch die Art und Weise der Berichterstattung betrifft, seit 1900 einzigartig. Gründe sind neben der Grösse und Ausdehnung des Hochwassers v. a. auch die Boulevardisierung der Medien. Diese führt dazu, dass die umfassende Beschreibung des Geschehens mehr und mehr durch die Fokussierung auf wenige spektakulär visualisierbare Einzelereignisse verdrängt wird. Dabei gelangen auch direkt Betroffene immer mehr ins Zentrum des Interesses.

Medienbetreuung braucht Personal und Infrastruktur

Trotzdem brauchen Medien weiterhin auch Informationen aus Fachkreisen und von Interventionskräften. Dabei sind sie auf Quellen angewiesen, die ihnen professionell geeignete Informationen bereitstellen. Durch entsprechende Angebote kann die Berichterstattung bis zu einem gewissen Umfang beeinflusst oder kanalisiert werden und, wenn nicht versucht wird gewisse Dinge zu verdecken oder zu unterschlagen, ein Vertrauensverhältnis aufgebaut werden, das Grundlage für eine längerfristige Zusammenarbeit sein kann. Deshalb scheint es angezeigt, auf allen Stufen entsprechend ausgebildetes Personal und vorbereitete Infrastruktur bereitzuhalten, damit die Medien im Falle eines Falles angemessen bedient werden können.

Erinnerung hängt stark mit Nähe zum Geschehen zusammen

Gleichzeitig dürfen von einer Zusammenarbeit mit den Medien keine Wunder in Bezug auf Bewusstseinsbildung und Sensibilisierung erwartet werden. Wie die Ergebnisse der Umfrage vom Herbst 2007 zeigen, ist der Erinnerungswert an die Hochwasser vom August 2005 stark mit der persönlichen Betroffenheit bzw. mit der Nähe zum Geschehen korreliert. So konnte sich nur ein Drittel der befragten Personen, welche nicht in einem der fünf am stärksten betroffenen Kantone wohnte, zwei Jahre nach dem Ereignis noch an dieses Hochwasser erinnern.

Wissen alleine führt nicht unbedingt zu Handlung

Erinnerung reicht aber nicht aus, um konkrete Handlungen auszulösen. Die Bereitschaft, sich selbst vor Hochwasser zu schützen, hängt eng mit der Nähe zum Geschehen zusammen. Die überwiegende Mehrheit der Personen, welche direkt von einem Hochwasser betroffen waren oder Betroffene persönlich kennen, hat trotzdem bis jetzt keine Vorkehrungen zum Schutz vor Hochwasser ausgeführt. Ebenso hat die Mehrheit jener Personen, die ihr persönliches Hochwasserrisiko als hoch einstufen, noch keine Vorkehrungen getroffen. Hier besteht sicher noch erheblicher Handlungsbedarf, dem Einzelnen seine Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen und deren Umsetzung mit geeigneten Anreizen zu unterstützen.

Literatur:

Hilker N., Aller D., Hegg C. 2007: Schäden. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 127–148.

Peters H.P. 2007: Natural Disasters and the Media. In: *http://www.chmi.cz/katastrofy/peters.htm/* (März 2007)

Peters H.P., Reiff S 1998: Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV). Naturkatastrophen und die Medien. Herausforderungen an die öffentliche Risiko- und Krisenkommunikation. Dokumentation des IDNDR-Expertenworkshops vom 3.–4. Dezember 1998 in Königswinter. Schriftenreihe des DKKV 21

Ruhrmann G., Göbbel R. 2007: Veränderung der Nachrichtenfaktoren und Auswirkungen auf die journalistische Praxis in Deutschland. Abschlussbericht für netzwerk recherche e.V.

Siegrist M., Gutscher H. 2006: Flooding Risks: A Comparison of Lay People's Perception and Expert's Assessments in Switzerland. Risk Analysis, 26 (4): 971–979.

Siegrist M., Gutscher H. 2008: Natural hazards and motivation for mitigation behavior: People cannot predict the affect evoked by a severe flood. Risk Analysis. (in press).

Zemp H. 2005: Von der gezähmten Gefahr zum unzähmbaren Risiko? Naturkatastrophen und ihre Wahrnehmung im Kontext der medienöffentlichen Kommunikation in Schweizer Leitmedien 1910–1999. Hochschulschrift, Universität Zürich.

Zemp H. 2009: Hochwasserereignisse in den Medien. Dissertation Universität Zürich (in Vorbereitung).

11 > Umsetzung der Gefahrenkarte aus der Sicht verschiedener Akteursgruppen

Franziska Schmid, Patricia Fry

Gefahrenkarten bilden eine wichtige Grundlage für den Umgang mit Naturgefahren. Es zeigt sich jedoch, dass sowohl der Begriff Naturgefahren als auch das Instrument Gefahrenkarte unterschiedlich verstanden und interpretiert werden. Für eine wirkungsvolle Umsetzung ist ein vertiefter Wissens- und Erfahrungsaustausch der verschiedenen Akteure erforderlich.

11.1 Einleitung und Fragestellungen

Die Gefahrenkarten[1] sind primär als Planungsinstrument konzipiert. Die ihnen zugrunde liegenden Gefahrenbeurteilungen werden auch für die Dimensionierung von Schutzmassnahmen oder Notfallkonzepten genutzt. Zudem sollen sie als Sensibilisierungshilfe dienen, um die Bevölkerung auf potenzielle Naturgefahren aufmerksam zu machen (BAFU, 2007).

Fokus auf Akteure

In diesem Kapitel wird die Umsetzung der Gefahrenkarten untersucht. In der Fachwelt wird darunter primär die Berücksichtigung der Gefahrenkarten in der kommunalen Nutzungsplanung und im Baubewilligungsverfahren verstanden. An dieser Stelle wird Umsetzung als Prozess der «Übersetzung eines politischen Programms in konkretes Handeln und materielle Problemlösungen» gesehen (Sauer, 2006). Deshalb werden Handlungen wie Planung und Realisierung von Massnahmen, die auf der Gefahrenkarte basieren, als Umsetzung bezeichnet. Die Gefahrenkarten sind dazu da, Handlungen auszulösen, wie beispielsweise das Ausscheiden von Gefahrenzonen oder das Ergreifen von Massnahmen zur Eigenvorsorge. Der Fokus wird auf die Akteure auf lokaler Ebene gelegt, da diese direkt von den Naturgefahren betroffen sind und die neuen Instrumente in Handlungen umsetzen müssen.

Fragestellungen

Im Zentrum dieser Untersuchung steht nun die Frage, wie die Rolle der Gefahrenkarte im Umsetzungsprozess von verschiedenen Akteuren wahrgenommen und beurteilt wird, und welche Verbesserungen allenfalls notwendig sind. Die spezifischen Fragen lauten also:

[1] Unter Gefahrenkarten werden im Folgenden sowohl die verschiedenen digital und/oder in Papierform vorliegenden Kartenblätter wie auch der dazugehörige technische Bericht verstanden. Dabei wird der Status Quo untersucht, bei dem noch keine explizite Unterscheidung zwischen Gefahrenbeurteilung und Gefahrenkartierung gemacht wird.

- Welche Akteure sind auf lokaler Ebene im Umsetzungsprozess zu identifizieren?
- Über welche Sichtweisen verfügen die verschiedenen Akteure bezüglich der Gefahrenkarte und bezüglich Naturgefahren?
- Wie können allfällige Schwierigkeiten bei der Umsetzung erklärt werden?

Unterschiedliche Sichtweisen

Auch in den nächsten Jahren wird der Bund innerhalb der Prävention ein Schwerpunkt auf die Ausarbeitung der Gefahrenkarten legen (BAFU, 2007). Das heisst, dass auch zukünftig die Behörden bei der Umsetzung der Gefahrenkarten wie auch bei der Planung und Durchführung von Schutzmassnahmen mit verschiedenen Sichtweisen konfrontiert sein werden. Die Kenntnis und Berücksichtigung dieser Sichtweisen ist eine wichtige Basis für einen Risikodialog, der nicht als einseitige Information gestaltet ist. Ziel der Untersuchungen ist es, Empfehlungen für die Umsetzung zu formulieren.

11.2 Forschungsansatz, Methodik und Daten

Qualitative Sozialforschung

Um die Umsetzung der Gefahrenkarten zu untersuchen, wurde ein qualitativer Forschungsansatz gewählt. So können die realen Lebenswelten und der Kontext, der für die Umsetzungsprozesse relevant ist, quasi «von innen heraus», aus der Sicht der handelnden Menschen, beschrieben werden (Flick et al., 2003). Mit Hilfe eines explorativen Verfahrens werden Thesen generiert, die im Laufe des Forschungsprozesses ergänzt werden. Mit wenigen sich kontrastierenden Fällen können so systematische Muster erkannt und generalisierbare Theorien entwickelt werden.

Fokus Kanton Bern

Es wurden zwei sich bezüglich der Umsetzung unterscheidende Gemeinden im Kanton Bern als Fallbeispiele ausgewählt und untersucht. Beide Gemeinden sind durch Naturgefahren bedroht und verfügen über eine Gefahrenkarte. In der Gemeinde A liegt die Gefahrenkarte erst seit wenigen Jahren vor. In der Gemeinde B wird sie bereits in der Raumplanung berücksichtigt und im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens genutzt. Beide waren vom Unwetterereignis 2005 betroffen, jedoch unterschiedlich stark.

Methoden und Datenmaterial

Mit verschiedenen Akteuren (Vertretern der Gemeindebehörden, Personen, die beruflich mit Naturgefahren konfrontiert sind, Grundeigentümern) wurden vierzehn Leitfadeninterviews geführt und anschliessend transkribiert (Flick et al. 2003). Teilnehmende Beobachtung und Interviews mit Vertretern von Bund, Kantonen und privaten Ingenieurbüros ergänzen das Material. Neben den Interviews wurden auch verschiedene Dokumente (Gesetzestexte, Richtlinien, Empfehlungen, lokale Zeitungen) und wissenschaftliche Artikel genutzt, ausgewertet und analysiert. Diese Methodenvielfalt erlaubte es, die Thesen breit abzustützen.

11.3 Normen und Zuständigkeiten

11.3.1 Gesetzliche Grundlagen

Der Schutz vor Naturgefahren sowie die Erarbeitung und der Einsatz der Gefahrenkarten sind sowohl auf Bundes- wie auch auf Kantonsebene in verschiedenen gesetzlichen Grundlagen geregelt. Im Beispiel des Kantons Bern sind entsprechende Bestimmungen sowohl im Wasser- und Waldgesetz als auch im Baugesetz enthalten. Die Zuständigkeitsbereiche grenzen sich aufgrund der Art der Naturgefahr voneinander ab. So beschäftigt sich das Wasserbaugesetz mit Wassergefahren; der Schutz vor Lawinen, Rutschungen, Erosion, Eis- und Steinschlag ist im Waldgesetz geregelt. Die gesetzlichen Grundlagen umreissen also einerseits die Fachbereiche und Aufgaben, und nennen andererseits die dafür zuständigen Akteure.

Hochwasserschutz im Kanton Bern

Das Berner Wasserbaugesetz (KWBG, 1989) enthält die Zielsetzung, den Hochwasserschutz so weit möglich mit Gewässerunterhalt und passiven Massnahmen (Ausscheidung von Gefahren- und Schutzgebieten in der Nutzungsplanung, Bauverbote) zu gewährleisten. Während der Kanton eine Aufsichts- und Genehmigungsfunktion wahrnimmt, trägt die Gemeinde neu die Wasserbaupflicht[2]. In vielen Gemeinden, v. a. des Berner Oberlandes, delegieren die Gemeindebehörden diese Wasserbaupflicht an so genannte Schwellenkorporationen. Das Instrument Gefahrenkarte hat keinen Eingang in die kantonale Gesetzgebung bezüglich Wassergefahren gefunden[3].

Gefahrenkarte im Berner Waldgesetz

Laut dem Berner Waldgesetz (KWaG, 1997) sind die Gemeinden verantwortlich für den Schutz der Bevölkerung auf dem Siedlungsgebiet. Es bestimmt, dass von den Gemeinden Gefahrenkarten zu erstellen und diese Grundlagen bei der Nutzungsplanung zu berücksichtigen sind. Zudem sollen, wenn nötig, Massnahmen zur Gefahrenabwehr angeordnet werden. Die kantonale Fachstelle nimmt neben Vollzugs- und Aufsichtsaufgaben auch eine Beratungsfunktion wahr (Kälin et al., 2006).

Tab. 11.1 > Verschiedene Akteure und ihre Zuständigkeiten im Rahmen der Naturgefahrenprävention auf lokaler Ebene im Kanton Bern.

Themen	Akteure
Erarbeitung Gefahrenkarte	Gemeindebehörde
Baubewilligungsverfahren	Gemeindebehörde → Regierungsstatthalter (Kanton)
Berücksichtigung in Ortsplanung	Gemeindebehörde
Massnahmen Wassergefahren	Schwellenkorporation
Massnahmen Lawinen, Steinschlag, Rutschungen	Gemeindebehörde, Waldeigentümer, Revierförster
Ereignisfall	Gemeindeführungsorgan, Feuerwehr, Rettungsdienste, Zivilschutz

[2] Die Privateigentümer wurden mit dem neuen Gesetz aus der Wasserbaupflicht entlassen (Zaugg Stern, 2006).
[3] Es ist in der Praxis allerdings möglich, sich direkt auf die Normen der eidgenössischen Gesetzgebung oder auf Richtlinien anderer Politikbereiche abzustützen (ebd.).

Zuständigkeiten lokaler Akteure

Im Zusammenhang mit der Gefahrenkarte werden keine weiteren Akteure auf der lokalen Ebene genannt. Ebenso werden auf der Gefahrenkarte basierende Umsetzungsmassnahmen und die ausführenden Akteure in den rechtlichen Grundlagen nicht explizit ausgeführt. Auf lokaler Ebene sind an der Prävention vor Naturgefahren unterschiedliche Akteure beteiligt, teilweise mit gesetzlichem Auftrag (Tab. 11.1). Während bei der Erarbeitung nur die Gemeindebehörde als zuständige Stelle fungiert, kann nun bei den Umsetzungsmassnahmen eine Vielzahl von lokalen Akteuren identifiziert werden.

11.3.2 Formaler Ablauf der Erarbeitung einer Gefahrenkarte

Im nächsten Abschnitt wird der formale Ablauf der Entstehung einer Gefahrenkarte bis zur Umsetzung dargestellt, um die einzelnen Arbeitsschritte zu skizzieren und die dazugehörigen Akteure zu benennen. Den Gemeinden wird empfohlen in einer Vorphase mit den kantonalen Fachstellen zu prüfen, ob und für welchen Perimeter eine Gefahrenkarte erarbeitet werden muss und welche Anforderungen an die Auftragnehmer gestellt werden sollen (AGR, 2006). Während die konkrete Auftragsvergabe und die «Bauherrschaft» bei der Gemeinde liegen, beteiligen sich die kantonalen Fachstellen bei der Erstellung des Pflichtenheftes und übernehmen die fachliche Beratung während des gesamten Prozesses.

Projektleitung Gefahrenkarte

Gemäss Herzog et al. (2000) wird die Projektleitung meist einer federführenden kantonalen Fachstelle übertragen, sie kann aber auch an Dritte delegiert werden. Im Kanton Bern übernimmt vielfach ein privates Büro, das den Auftrag ausführt, die Projektleitung, das heisst es lädt u. a. zu Sitzungen ein und sorgt für den Informationsfluss zwischen den Beteiligten. Die Auftraggeberin – die Gemeindebehörde – ist meist nicht in der Projektleitung vertreten.

Beizug lokaler Akteure

Welche lokalen Personen am Projekt «Gefahrenkarte» beteiligt sind, liegt im Entscheidungsbereich der Gemeindebehörde und variiert deshalb von Gemeinde zu Gemeinde. Vielerorts ist der Gemeindeschreiber oder der Bauverwalter beteiligt, manchmal sind auch Personen in politischen Funktionen (Gemeinderat, -präsident) vertreten. Erfahrungsträger, wie z. B. Revierförster oder Vertreter der Schwellenkorporationen, werden von der Gemeindebehörde von Fall zu Fall beigezogen, damit sie Informationen zu abgelaufenen Ereignissen einbringen können.

Den privaten Büros kommt eine relativ bedeutende Rolle zu; sie tragen die fachliche Verantwortung für den Ablauf und für das erarbeitete Produkt und übernehmen oft, wie oben erwähnt, die Projektleitung. Lokale Akteure werden entweder zu Beginn als Informanten beigezogen oder dann in der Schlusssitzung bzw. in einer öffentlichen Veranstaltung über den Inhalt der Gefahrenkarten orientiert.

Akteurwechsel

Die Umsetzung der Gefahrenkarte umfasst verschiedene Aufgabenfelder und eine Vielzahl von Akteuren, die unterschiedlichen politischen Stufen oder Institutionen angehören (Tab. 11.2). Einige dieser Akteure werden erst in der Umsetzung mit der Gefahrenkarte konfrontiert oder übernehmen erst dann eine aktive Rolle.

Tab. 11.2 > Persönliche Begegnungen spielen eine wichtige Rolle für den gelungenen Wissensaustausch.

		Bund	Kantonale Fachstelle			Regierungsstatthalter	Spezialisierte Ingenieurbüros	Gemeinde	Erfahrungsträger		Grundeigentümer	Landwirte	Ortsplaner	Wehrdienste
			Tiefbauamt	Amt für Wald des Kantons Bern KAWA	Amt für Gemeinden und Raumordnung AGR				Schwellen-korporation	Waldeigentümer				
Erarbeitung Gefahrenkarte	Subventionen	■	■	■										
	Perimeterwahl, Ausschreibung		■	■				■						
	Projektleitung, Konzept und Vorgehen							■						
	Beurteilung der Gefahren						■		■	■				
	Diskussion der Szenarien		■	■			■	▨	▨	▨				
	Präsentation bzw. öffentliche Veranstaltung						■	■	■	■	■			
Umsetzung Gefahrenkarte	Zonenplanung				■			■					■	
	Baubewilligung		■	■		■		■			■			
	Planung und Realisierungs-phase der Massnahme		■	■			■	■	■	■		■		
	Eigenvorsorge										■	■		
	Intervention													■

Legende:
■ Aktiv ■ Passiv

Zwischenbilanz

Die gesetzlichen Grundlagen bezeichnen die Aufgaben und die dafür zuständigen Akteure. Der Übergang von der Erarbeitung zur Umsetzung der Gefahrenkarte ist durch einen Akteurwechsel gekennzeichnet. Auf lokaler Ebene, wo konkrete Handlungen zum Tragen kommen, bestehen verschiedene Verantwortlichkeiten. Für die Erarbeitung einer Gefahrenkarte ist nur die Gemeindebehörde zuständig. Es liegt in ihrem Entscheidungsbereich, weitere Personen in die Erarbeitung mit einzubeziehen sowie die Form der Beteiligung festzulegen. Obwohl sie Auftraggeberin ist, wird sie oft nicht in die Projektleitung eingebunden. Für die Umsetzung sind Personen zuständig, die bei der Erarbeitung der Gefahrenkarte nicht oder wenig aktiv waren. Teilweise werden die Gefahrenkarten diesen Akteuren als abgeschlossenes Produkt übergeben, ohne einen Umsetzungsprozess zu gestalten.

11.4 Akteure und ihr Wissen bezüglich Naturgefahren

11.4.1 Bedeutungen der Gefahrenkarte

Im Folgenden werden Aussagen von Personen analysiert, die aufgrund ihres Berufes oder ihrer Funktion mit Naturgefahren konfrontiert sind. Die Interviews mit weiteren Akteurgruppen (z. B. Grundeigentümern) wurden hier noch nicht berücksichtigt[4].

Vielfältige Bedeutungen

Die Interviewauswertungen zeigen, dass den Gefahrenkarten vielfältige Bedeutungen zugeschrieben werden. Die Erstellung dieses Gutachtens wird häufig als Verpflichtung der Gemeinde gegenüber dem Kanton empfunden:

> *«Man musste auf Annordnung des Kantons eine Gefahrenkarte erstellen.» (Gemeinderat in A.)*

Diese eher ablehnende Haltung kann damit erklärt werden, dass einige Personen ihr Wissen über Naturgefahren als ausreichend betrachten oder dass sie mit den Abläufen nicht einverstanden sind. Sie äussern auch Bedenken im Hinblick auf eine eingeschränkte Baumöglichkeit:

> *«Es ist eine Einschränkung, da ist vielleicht Bauland, wo man überhaupt nichts machen darf, das muss man wieder auszonen. Und vielleicht ist in hundert Jahren immer noch nichts passiert!» (Gemeinderat in A.)*

Obwohl in den untersuchten Gemeinden wenige Nutzungskonflikte bestehen, ist es ein Anliegen, möglichst wenig rote Flächen in der Karte zu haben, da diese Bezeichnung Bauverbote zur Folge haben können. Daraus kann geschlossen werden, dass weniger der Inhalt der Gefahrenkarte (unterschiedliche Gefährdungen) als deren raumplanerische Konsequenzen das Diskussionsthema ist.

Die Gefahrenkarte wird im Weiteren auch als unumgängliche Grundlage betrachtet, um Projekte für erforderliche Schutzmassnahmen voranzutreiben:

> *«Für mich hat [die Gefahrenkarte] eine Bedeutung, wir hatten ja keine. Mit dieser Gefahrenkarte konnte man das [Projekt] eingeben. Das ist schon vorwärts gegangen.» (Vorsteher einer Korporation, die für Alpnutzung, Schutzwald und entsprechende Schutzmassnahmen zuständig ist, Gemeinde A.)*

Die Gefahrenkarte wird als Grundlage für das Baubewilligungsverfahren anerkannt und genutzt:

> *«Diese Karte gibt der Behörde eine gewisse Sicherheit: Die Situation wurde überprüft, hier darf man bauen, hier nicht. Sonst kommt die Behörde unter Druck – warum darf dieser bauen und der andere nicht?» (Schwellenmeister in B.)*

[4] Weitere Akteurgruppen werden von Franziska Schmid im Rahmen ihrer Dissertation «Unterschiedliche Sichtweisen beim Entscheidungsprozess im Umgang mit Naturgefahren» (Abschluss voraussichtlich 2009) untersucht.

Aus den Interviews mit lokalen Akteuren wird aber nicht ersichtlich, dass weitere Handlungen, wie z. B. die Planung von Schutzmassnahmen oder Eigenvorsorge, aus der Gefahrenkarte abgeleitetet werden.

Erarbeitungsprozess

Wird der Erarbeitungsprozess betrachtet, können in den zwei untersuchten Gemeinden verschiedene Strategien erkannt werden: Während in A. eher ein top-down Prozess durchgeführt wurde, kann in der Gemeinde B. eine stärkere Beteiligung von lokalen Erfahrungsträgern beobachtet werden. So fühlten sich lokale Erfahrungsträger der Gemeinde A. zu wenig einbezogen, wie die folgende Aussage zeigt:

> *«Die Gemeinde hat die Gefahrenkarte aufgenommen. Wir wurden eigentlich nicht gross gefragt. Sie haben sie dann gezeichnet. Ich habe eben keine Gefahrenkarte. Sie liegt bei der Bauverwaltung auf.»*
> *(Vorsteher einer Korporation, die für Alpnutzung, Schutzwald und entsprechende Schutzmassnahmen zuständig ist, Gemeinde A.)*

Er meint damit nicht nur, dass ihm der direkte physische Zugang zum erarbeiteten Produkt fehlt, sondern dass für ihn auch inhaltlich wenige Anknüpfungspunkte vorhanden sind. Auch Anderen ist die Karte fremd, sie wird als der «Gemeinde zugehörig» und nicht als «Eigenes» betrachtet:

> *«Über die Gefahrenkarte weiss ich nicht viel Bescheid, die Gemeinde hat sie ja machen müssen. Ich weiss nur, dass es nicht gut angekommen ist. Da hatten natürlich alle das Gefühl, es würde einem beim Bauen die Hände gebunden.»*
> *(Schwellenmeister in A.)*

Zusammenarbeit ist gefragt

Einen vertieften Austausch zwischen den Erfahrungsträgern, welche teilweise auch für die Umsetzung zuständig sind, und den verantwortlichen Personen in der Gemeindeverwaltung gab es gemäss den Interviewaussagen nicht. Die für die Umsetzung zuständigen Akteure waren zwar über das Vorhandensein der Gefahrenkarte informiert. Allerdings ist diese nicht Bestandteil ihrer Arbeit. Die Schwellenkorporation wünscht sich z. B. eine engere Zusammenarbeit mit den Gefahrenkartenautoren:

> *«Die Gefahrenkarte liegt seit letztem Jahr auf. Die Gemeinde hat gesagt, sie ist unabhängig von uns, total unabhängig. Da wurde einfach jemand von einem Ingenieurbüro beauftragt, weil das ja der Bund und der Kanton bezahlen. Ich habe mich dann ein wenig daran gestossen, dass diese Leute, die hergekommen sind, gar nichts nachgefragt haben. Das haben sie einfach selbst gemacht.»*
> *(ehem. Schwellenpräsident in A.)*

Einbezug lokaler Erfahrungsträger

In der Gemeinde B. wurden lokale Erfahrungsträger bei der Beurteilung einbezogen. Der Schwellenpräsident wurde vom Gemeinderat beauftragt, zusammen mit dem Experten die Beurteilungen durchzuführen:

> *«Der Gemeinderat hat mir dann den Auftrag gegeben, das mit dem Büro zu machen, als Vertreter der Gemeinde. (…) Da ich auch beruflich in diesen Bächen gearbeitet habe, war es natürlich nahe liegend. (…) Mein Vater hat früher noch gejagt und wir sind immer in diesem Gebiet gewesen. Ich kenne das [Gebiet] seit ich Schulbub war in- und auswendig.» (Schwellenpräsident in B.)*

Die Ortskenntnis und die persönlichen Erfahrungen konnten in diesem Fall eingebracht werden. Der Einbezug dieses Erfahrungsträgers basierte auf einem klaren Auftrag, zudem wurde viel Zeit für gemeinsame Feldbegehungen und Diskussionen benötigt.

Verschiedene Wissensformen

Die lokalen Akteure konstatieren, dass die Inhalte der Gefahrenkarte für sie schwer verständlich seien:

> *«Die Wahrscheinlichkeitsrechnungen – klar, da hat man schon Modelle, aber die sind manchmal für uns etwas zu wenig gut nachvollziehbar. Das ist vielleicht – eben, das ist Wissenschaft. Das ist uns einfach zu wenig nah. Aber wir können es nicht widerlegen, wir haben keine Gegenargumente ausser der Erfahrung und der Wahrnehmung, weil wir hier mit der Natur sicher stärker verbunden sind.» (Gemeinderat in A.)*

Sie können ihre persönliche Erfahrung, ihr Erleben zu wenig mit dem Wissen, das in der Gefahrenkarte steckt, verknüpfen. Die spezifischen Annahmen und Vorgehensweisen sind für sie schwierig nachzuvollziehen. Mit obigem Zitat wird deutlich, dass verschiedene Wissensformen aufeinander treffen.

11.4.2 Sichtweisen von lokalen Erfahrungsträgern

Wahrnehmung als aktiver Konstruktionsprozess

Im Folgenden werden die Sichtweisen von lokalen Erfahrungsträgern und naturwissenschaftlich ausgebildeten Fachleuten, die die Gefahrenkarten erarbeiten, einander gegenübergestellt, um zu eruieren, wie Naturgefahren von unterschiedlichen Akteuren wahrgenommen werden. Dabei werden der Arbeitskontext, die Ziele und Methoden der Beobachtung berücksichtigt (Fry, 2001). Wahrnehmung wird dabei nicht als Abbildungsprozess verstanden, sondern als aktiver Konstruktionsprozess. Dabei werden der Umgebung und speziell den Naturgefahren Bedeutungen verliehen (Flick et al., 2003).

Persönliche Erfahrung

Lokale Erfahrungsträger sind Personen, die räumlich begrenzt tätig sind; sie sind beispielsweise zuständig für die Bäche oder für bestimmte Waldgebiete[5]. Ihre Wahrnehmung zeichnet sich durch direkte Beobachtungen von Prozessen in der Natur aus. Sie findet mit allen Sinnen statt, wird also nicht primär über Instrumente oder Geräte vermittelt:

> *«Wenn es nach Erde riecht, dann wissen wir, dass irgendwo ein Erdrutsch in den Bach hinein ist» (Anwohner in A.)*

Ereignisse werden direkt miterlebt:

> *«Die Schuttmasse kam von oben hinunter. In den Kurven hat sie sich gelegt, wie in einer Bobbahn. Das ging nicht einfach gerade, das hat sich gedreht, wie eine Schlange. Die Schuttmasse holte dann wie mit einem Hobel grosse Blöcke aus dem Grund herauf.» (ehem. Schwellenmeister in B.)*

[5] Die Personen leben vor Ort, deshalb sind Naturgefahren sowohl Teil ihres Arbeits- als auch ihres Lebenskontextes. Die überschneidenden Aspekte der verschiedenen Kontexte werden hier nicht näher beleuchtet.

Die Beobachtungen über längere Zeitspannen – z. B. in einem Bach – erlauben das Erkennen auch von kleinen Veränderungen:

> *«Das Material ist ständig in Bewegung, dann lagert es an dieser Stelle ab, dann wird es wieder weiter getragen. Wenn man sich häufig im Bach aufhält, sieht man diese Veränderungen. Man sieht, wie die Natur arbeitet.*
> *(ehem. Schwellenmeister in A.)*

Bekannte Prozesse, kaum Voraussagen

Sie deuten und interpretieren die Vorgänge aufgrund ihrer persönlichen Erfahrungen und im ihnen vertrauten Kontext. Der räumliche Fokus ist eng begrenzt, d. h. sie stellen kaum Vergleiche mit anderen Situationen oder Orten an, wohl aber mit früheren Zuständen. Für sie gehören Ereignisse, die auch zu Schäden führen können, zum Prozessablauf. Eingetretene Ereignisse werden deshalb nicht als etwas speziell Überraschendes wahrgenommen. In Bezug auf den Eintritt möglicher zukünftiger Ereignisse kann festgestellt werden, dass die lokalen Erfahrungsträger kaum Voraussagen machen, sondern sich auf bekannte Prozesse stützen:

> *«Die [Experten] reden nun von einem Jahrhundertwetter, aber es kann sein, dass in zwei Jahren vielleicht das Jahrtausendwetter kommt. Das ist in der Natur so, man weiss nie, was kommt und wie stark. Ich würde sagen, verbauen kann man für die Normalität.» (Schwellenmeister in B.)*

Das schliesst auch mit ein, dass sie sich kaum konkrete Vorstellungen zu möglichen Schäden oder deren Eintretenswahrscheinlichkeiten machen. Ihr Blick beschränkt sich eher auf das Bekannte und das bereits Abgelaufene.

11.4.3 Sichtweisen von Fachleuten[6]

Potenzielle Schadensereignisse

Naturwissenschaftlich ausgebildete Fachleute privater Büros werden beauftragt, die Gefahren in einem spezifischen Gebiet zu untersuchen und Gefahrenkarten zu erstellen. Die Arbeit kann sie an Orte führen, die ihnen vorher unbekannt waren. Die Fachleute stellen sich für ein bestimmtes Gebiet die Frage «Was kann passieren?». Dabei untersuchen sie die gefährlichen Prozessabläufe und deren Wirkungsmöglichkeiten. Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmass möglicher Ereignisse – z. B. Überflutungshöhen oder Ablagerungsmächtigkeiten einer Lawine – werden bestimmt und in der Gefahrenkarte dargestellt. Der Schwerpunkt liegt auf Aussagen zu möglichen, zukünftigen, für Mensch und Sachwerte schädliche Ereignisse. Die Fachleute definieren dafür Gefährdungsbilder:

> *Für die Bestimmung der Austrittswassermengen bei den verschiedenen Ereignissen HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300} und EHQ sind verschiedene Szenarien (Gefährdungsbilder) zu definieren. Diese Szenarien beinhalten Annahmen zu Verklausungen von Brücken, Freibordhöhen, Auflandungen im Gerinne, Ufererosionen und Dammbrüchen.*
> *(Musterpflichtenheft Kanton Solothurn)*

[6] Darunter werden Fachleute verstanden, die sowohl die Gefahren beurteilen, wie auch die Gefahrenkarten erstellen.

Die Gefahrenbeurteilung beruht auf naturwissenschaftlichen Methoden. Dazu gehören im Feld Messungen und Sondierungen sowie die Dokumentation von Hinweisen, die auf gefährliche Prozesse deuten. Die Feldarbeiten sind zeitlich beschränkt und punktuell, d. h. es findet keine kontinuierliche Beobachtung der Prozesse statt. Die Untersuchungen sind indirekt, weil Instrumente und Messvorrichtungen genutzt werden. Die Daten werden verarbeitet, berechnet und modelliert. Die Ergebnisse liegen v. a. in quantitativer Form vor und lassen Vergleiche zu.

Analogieschlüsse

Bei der Einschätzung der gefährlichen Prozesse arbeiten die Fachleute mit so genannten Analogieschlüssen, d. h. sie vergleichen beispielsweise die vorgefundene Situation eines Baches mit Wildbächen anderer Regionen:

> *«Es geht darum, die grosse Varietät, die die Natur zeigt, durch möglichst viele Besuche von Ereignissen aber auch von speziellen Konstellationen in der Natur zu erfassen und das auf einen konkreten Fall umzusetzen. Ich kann dann sagen, das sieht genauso aus wie dort, also kann der Prozess hier genauso ablaufen.» (Fachexperte)*

Erfahrung

Im direkten Gespräch mit Fachexperten wird deutlich, dass für eine Einschätzung der Gefahren auch viel «Gspüri» notwendig ist:

> *«Ich komme hin und sage, dieser Prozess kann etwa so ablaufen. Wenn ich gefragt werde, warum, dann muss ich zugeben, dass ich das nicht so genau erklären kann. Ich kann zwar sagen, was ich beobachte, in der Gesamtheit ist es aber ein Gefühl, eine Wahrnehmung, die letztlich auf Erfahrung basiert.» (Fachexperte)*

Zwischenbilanz

Die Gefahrenkarte wird auf der Gemeindeebene zwar genutzt, aber nicht in umfassendem Mass. Sie wird als eher fremdes Instrument wahrgenommen.

Im «Konzept Gefahrenkarte» wird davon ausgegangen, dass erst wenn die Gefahren bekannt sind, auch Massnahmen ergriffen werden können. Das «Kennen der Gefahren» beinhaltet je nach Akteurgruppe etwas Unterschiedliches. Ihre Wahrnehmungen und Beobachtungen unterscheiden sich im räumlichen und zeitlichen Fokus der Beobachtungen sowie in den verwendeten Methoden. Für die Fachleute sind Aussagen zu zukünftigen Schadensereignissen zentral, lokale Akteure dagegen stellen kaum konkrete Überlegungen dazu an, sondern beziehen sich auf vergangene Prozesse. Die akteurspezifischen Sichtweisen äussern sich auch deutlich in der jeweils verwendeten Sprache.

Es zeigt sich, dass das dicht gefasste, naturwissenschaftliche Wissen, das in der Gefahrenkarte enthalten ist, schwierig zu interpretieren und nicht ohne weiteres anschlussfähig ist an das lokale Wissen. Es fragt sich deshalb, wie eine Verbindung zwischen diesen verschiedenen Sichtweisen gefördert werden kann, damit vermehrt Handlungen zur Schadensminimierung, die auf der Gefahrenbeurteilung basieren, ausgelöst werden können.

11.5 Situationen für den Austausch von Wissen

Im Folgenden werden Situationen, in denen Akteure mit unterschiedlichem Hintergrund aufeinander treffen, näher beleuchtet und Möglichkeiten für einen Wissensaustausch aufgezeigt.

Informeller Austausch im Projektteam

Für die Erarbeitung einer Gefahrenkarte werden oft mehrere spezialisierte Büros beauftragt. Sie bilden ein Projektteam, in dem vertiefte fachliche Diskussionen stattfinden. Diese Besprechungen, zu denen teilweise auch die Vertreter der kantonalen Fachstellen beigezogen werden, haben eher informellen Charakter. Es geht darum, gemeinsame Lösungen für ein Problem zu suchen und zu diskutieren sowie Erfahrungen miteinander zu teilen. Auch wenn Meinungsverschiedenheiten oder Differenzen auftreten können, beziehen sich die Beteiligten auf denselben Hintergrund einer wissenschaftlichen Ausbildung und damit auch auf ähnliche Methoden und eine ähnliche Sprache.

Bei der Umsetzung der Gefahrenkarte geht es darum, dass Akteure mit *unterschiedlichen* Sichtweisen, Kontexten, Zielen, Methoden und Sprachen sich verständigen, voneinander lernen und zusammenarbeiten können. Anknüpfungspunkte liegen auf der Ebene der persönlichen Erfahrung.

Direkte Kontakte statt Dokumente

Wie in den untersuchten Gemeinden beobachtet werden konnte, gibt es bei der Planung und Realisierung von Schutzmassnahmen einen – teilweise gesetzlich vorgesehenen – Zusammenschluss von Akteuren verschiedener politischen Ebenen und Institutionen. Ein Zitat eines Vertreters der Schwellenkorporation zeigt auf, dass der persönliche Kontakt und Austausch im Netzwerk zentral ist:

> *«Ich hatte ein sehr gutes Verhältnis mit der Oberbehörde, das sind der Amtsschwellenmeister und der Wasserbauingenieur vom Kanton sowie der Bundesvertreter. Bei der Planung von Projekten hat man sich die Stellen vor Ort angeschaut und die Anliegen besprochen.» (ehem. Schwellenpräsident in A.)*

Die lokalen Akteure erachten gemeinsame Begehungen als sehr wichtig: Probleme und kritische Stellen werden direkt vor Ort angeschaut und diskutiert. Ein kantonaler Vertreter betont ebenfalls die Wichtigkeit des persönlichen Austausches. Es sei wirkungsvoller sich gemeinsam mit Vertretern einer Gemeinde an den Tisch zu setzen und sich zu besprechen als Dokumente zu verschicken.

Aktiver Einbezug

Im «Projektablauf Gefahrenkarte» gibt es verschiedene Gelegenheiten, solche direkten Kontakte zu fördern. Die im formalen Ablauf vorgesehenen Start-, Szenarien- und Schlusssitzungen bieten sich dafür an, wobei zu unterscheiden ist zwischen passiver Teilnahme und aktivem Einbringen von persönlichen Anliegen und Erfahrungen. Der Teilnehmerkreis soll auch für diejenigen Personen geöffnet werden, die in der Umsetzung eine wichtige Rolle spielen. Dabei kann auf die bereits in anderen Aufgabenfeldern bestehenden Netzwerke zurückgegriffen werden.

Gemeinsame Besprechungen zwischen den Fachleuten und lokalen Erfahrungsträgern unterstützen den Austausch von Kenntnissen über Naturgefahren und ermöglichen das Teilen von Erfahrungen:

> *«[Der Experte] hat das aus den Berechnungen einbringen können. Ich habe es mehr aus dem Praktischen einbringen können. Ich habe sehr viele Unterlagen, die ich mir teilweise erarbeitet habe und die ich teilweise auch aus den Leuten herausgeholt habe.» (Schwellenpräsident in B.)*

Feldbegehungen

Gemeinsame Feldbegehungen eignen sich für einen direkten Austausch besonders gut:

> *«Wir haben das [die Bäche] x-mal zusammen angeschaut … Das hat mir eigentlich gut gefallen. Da habe ich ihn [den Experten] sehr schätzen gelernt. Wir sind näher zueinander gekommen und ich habe ein gewisses Vertrauen gehabt zu ihm und er zu mir auch. Und das muss eigentlich so sein!» (Schwellenpräsident in B.)*

Der Interviewausschnitt zeigt, dass für den Erfahrungsaustausch viel Zeit aufgewendet werden muss, damit auch gegenseitiges Vertrauen und Glaubwürdigkeit entstehen kann.

Raumplanung, Wehrdienste

Akteure, welche für die raumplanerische Umsetzung und die Intervention zuständig sind, werden oft erst nach Vorliegen der Gefahrenkarte aktiv. Auch hier wäre denkbar, dass ihnen die Karte nicht einfach übergeben wird, sondern dass sie am Prozess teilnehmen. So könnten in separaten Workshops die zuständigen kantonalen Stellen, die Ortsplaner, Wehrdienste und die Fachleute die raumplanerischen Auswirkungen bzw. die Voraussetzungen für Interventionen diskutieren.

Zwischenbilanz

Akteure, die in der Umsetzung aktiv sind – das kann von Schwellenmeistern über Förstern bis zu betroffenen Grundeigentümern reichen – sind bereits früh in den Prozess der Gefahrenkartenerarbeitung zu integrieren. Die Gefahrenkarte behält dabei ihren Wert als wissenschaftliches Gutachten. In diesem Prozess geht es darum, dass sich die Akteure schon früh miteinander über das Thema Naturgefahren und Schadensverminderung austauschen und auseinandersetzen. Dem persönlichen Erfahrungsaustausch zwischen den unterschiedlichen Akteuren kommt dabei eine wichtige Rolle zu. Auf diese Weise lassen sich Erfahrungen über Fachgrenzen hinweg austauschen.

Beim Aufeinandertreffen verschiedener Akteure werden Differenzen oder Interessenskonflikte sichtbar. Gerade deshalb ist es wichtig, diesen Schnittstellen besondere Beachtung zu schenken und Austauschmöglichkeiten zu fördern. So können möglichst früh Lösungen für potenzielle Konflikte gefunden werden.

11.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die bisherigen Zwischenbilanzen über den Umsetzungsprozess werden im Folgenden als Fragen umformuliert und mit aus der Literatur abgeleiteten Empfehlungen ergänzt. Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen werden durch relevante wissenschaftliche Studien zur Analyse des Verhältnisses zwischen Wissenschaft und Praxis bestätigt (z. B. Ravn, 2004; Roux et al., 2006; Leeuwis, 2004) und durch Erfahrungen sowohl aus dem Wissensmanagement in der Privatwirtschaft als auch aus der Entwicklungszusammenarbeit gestützt.

1. Werden Zuständigkeiten und die Rollen aller Akteure berücksichtigt?

Ein Blick auf die in der Gesetzgebung festgehaltenen Zuständigkeiten zeigt, dass je nach Thema unterschiedliche lokale Akteure genannt werden. Zudem findet zwischen der Erarbeitung der Gefahrenkarte und der Umsetzung ein Akteurwechsel statt. Herzog et al. (2000) empfehlen, dass bereits in der Vorbereitungsphase zu klären sei, wessen Interessen und Aufgaben ein Gefahrenkartenprojekt berühre. Durch frühzeitigen Einbezug aller Betroffenen könne der Weg für eine fundierte und effiziente Umsetzung geebnet, Missverständnisse vermieden und Differenzen geklärt werden.

- *Welche Akteure sind für die Umsetzung relevant?*
  Es wird den zuständigen Stellen empfohlen, schon vor Beginn der Erstellung einer Gefahrenkarte eine sorgfältige Akteuranalyse durchzuführen, und zwar im Hinblick auf den gesamten Ablauf von der Erarbeitung bis zur Umsetzung. Dabei soll das ganze Netzwerk von Akteuren mit Fokus auf wichtige Austauschbeziehungen berücksichtigt werden. Wichtige Schlüsselakteure – v. a. auf lokaler Ebene – können so identifiziert und je nach Aufgabe einbezogen werden. So genannte intermediäre Personen – das sind Mitglieder verschiedener Netzwerke – die z. B. Forschung und Verwaltung oder Verwaltung und Schwellenkorporation durch ihre Arbeit verbinden, spielen dabei eine wichtige Rolle.
- *Wie können verschiedene Akteure für die Umsetzung der Gefahrenkarte gewonnen werden?*
  Es wird empfohlen, dass die Behörden ihre Rolle reflektieren und den formalen Vollzug mit Prozessbegleitung und Moderation von Netzwerken ergänzen (Leeuwis, 2004; Davidson-Hunt et al., 2007). Es gibt bereits Beispiele und Handbücher für erfolgreiche Prozessbegleitungen aus anderen Fachbereichen, z. B. dem Wasserbau (Hostmann et al., 2005). Durch die Beteiligung der verschiedenen Akteure kann erreicht werden, dass sie von Anfang an die Gefahrenkarte oder weitere Massnahmen zu ihrer eigenen Sache machen, sich aktiv und eigenverantwortlich beteiligen und sich mit dem Projekt identifizieren können, was als «ownership» bezeichnet wird (DEZA, 2007).

2. Werden die Sichtweisen der Akteure berücksichtigt?

Die Gefahrenkarte ist ein naturwissenschaftliches Instrument, das auf wissenschaftlichen Theorien, Konzepten und Erfahrungen beruht. Um sie interpretieren zu können, ist entsprechendes Fachwissen und Know-how notwendig. Lokale Akteure verfügen über praktisches Wissen bezüglich Naturgefahren, das aus direkten,

zeitlich kontinuierlichen Beobachtungen generiert wird. Dieses Wissen kann nur schwer direkt mit dem naturwissenschaftlichen Wissen verbunden werden.

- *Wie sollen verschiedene Sichtweisen für eine gelungene Naturgefahrenprävention integriert werden?*
  Damit der Umsetzungsprozess möglichst optimal verläuft, ist es wichtig, verschiedene Sichtweisen zu erkennen und anzuerkennen sowie die eigene Sichtweise zu reflektieren (Fry, 2001; Nonaka, 2001). Indem verschiedene Vokabulare und Begrifflichkeiten zugelassen werden, können Vertrauen und Glaubwürdigkeit geschaffen werden. Letztere sind für eine gelungene Umsetzung wichtige Voraussetzungen.

3. Wird im Zuge der Umsetzung von Gefahrenkarten ein gegenseitiger Wissensaustausch gefördert?

Die Auswertungen aus den Fallbeispielen zeigen, dass es lokalen Akteuren schwer fällt, die Karte in ihrer ganzen Bedeutung zu erfassen und Handlungen daraus abzuleiten. Wissen ist personengebunden, so ist auch das Fachwissen, das in den Gefahrenkarten steckt, an die Fachleute gebunden. Vieles davon lässt sich nicht in Worte fassen – dieser Teil wird «implizites Wissen» genannt – und kann deshalb nicht wie in einem Paket mit der Post transferiert werden (Polanyi, 1985). Daten und Informationen hingegen – explizites Wissen – lassen sich zwar einfacher weitergeben. Sie sind, je nachdem wer sie liest, voller Bedeutung oder einfach nur Zahlen. Um sie interpretieren zu können, ist allerdings ein entsprechender Erfahrungshintergrund notwendig. Wenn die Gefahrenkarte als abgeschlossenes Produkt an die Gemeinden abgegeben wird, reduziert sich das darin enthaltene (naturwissenschaftliche) Wissen auf Daten und Informationen. Die damit verbundenen Bedeutungen und Interpretationen können so nicht mitgeliefert werden.

- *Wird der Unterschied zwischen Informationstransfer und Wissensaustausch berücksichtigt?*
  Um die Umsetzung der Gefahrenkarten weiter zu bringen, wird empfohlen, sich vom Modell des Informationstransfers zu lösen und das Konzept des Wissensaustausches anzuwenden (Roux et al., 2006; Lee et al., 2003). Umsetzung ist dabei nicht als reiner Vollzugsakt zu sehen. Vielmehr ist er als Aushandlungsprozess zwischen verschiedenen Akteursgruppen zu organisieren und zu begleiten. Es steht also die gelungene Zusammenarbeit von verschiedenen Akteuren im Vordergrund. Es reicht nicht, Informationen weiterzugeben, vielmehr muss Wissen, das in der Gefahrenkarte zusammengefasst ist, im neuen Kontext zur Anwendung gebracht werden können. Dazu können Methoden genutzt werden, die den persönlichen Austausch und das gegenseitige Lernen zwischen verschiedenen Akteuren fördern (Davenport et al., 1998).
- *Werden in der Umsetzung Räume für den Austausch von Wissen geschaffen?*
  Es bietet sich an, Raum für den Austausch zwischen Akteuren mit unterschiedlichen Sichtweisen zu schaffen. So können beispielsweise gemeinsame Feldbegehungen oder Workshops in kleinen Gruppen den persönlichen Kontakt und die Weitergabe von Erfahrungen und implizitem Wissen fördern (Abb. 11.1).

Abb. 11.1 > Akteure bei der Erarbeitung und Umsetzung von Gefahrenkarten.

Die Herausforderungen der Umsetzung lassen sich folgendermassen zusammenfassen: Einerseits sind verschiedene Akteure mit unterschiedlichen Sichtweisen an der Umsetzung beteiligt. Andererseits lassen sich akteurspezifisches Wissen und Know-how nicht einfach transferieren, sondern benötigen Formen des gegenseitigen Wissensaustausches.

Die Gefahrenbeurteilung und die daraus abgeleitete Gefahrenkarte sind und bleiben zentrale Grundlagen für den Umgang mit Naturgefahren. Dabei ist der Fokus während der Umsetzung vermehrt auf die Interaktionen verschiedener Akteure zu legen. Somit sind Zusammenarbeitsformen, die gemeinsames Lernen und den Austausch von Erfahrungen verschiedener Akteursgruppen fördern, nötig. Mögliche Konflikte können so frühzeitig erkannt und angegangen werden. Erfolgsversprechende Ansätze konnten aufgezeigt werden und sollen weiter vertieft werden.

Literatur:
AGR 2006: Berücksichtigung von Naturgefahren in der Ortsplanung. Arbeitshilfe für die Ortsplanung.

Davenport T.H., Prusak L. 1998: Working Knowledge: How Organizations Manage what they Know. Boston MA, Harvard Business School Press.

Davidson-Hunt I.J., O'Flaherty R.M. 2007: Researchers, indigenous peoples, and place-based learning communities. Society & Natural Resources 20(4): 291–305.

Flick U., van Kardoff E., Steinke I. 2003: Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.

Fry P. 2001: Bodenfruchtbarkeit – Bauernsicht und Forscherblick. Weikersheim, Margraf Verlag.

Herzog B., Keusen H., Rageth T., Lateltin O., Zobrist R. 2000: Empfehlungen zur Qualitätssicherung bei der Beurteilung von Naturgefahren im Sinne der Wald- und Wasserbaugesetzgebung. PLANAT Reihe 1/2000. PLANAT. Biel, PLANAT.

Hostmann M., Buchecke M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B., Zaugg Stern M. 2005: Wasserbauprojekte gemeinsam planen: Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten, Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

Kälin B., Perren P. 2006: Naturgefahren: Praxis bei der Beurteilung der Naturgefahren im Baubewilligungsverfahren. Untersuchung mit Empfehlungen für das Baubewilligungsverfahren., AG Nagef, Kanton Bern.

Lee R.G., Garvin T. 2003: Moving from information transfer to information exchange in health and health care. Social Science & Medicine 56(3): 449–464.

Leeuwis C. 2004: Communication for Rural Innovation: Rethinking Agricultural Extension. Oxford, Iowa, Victoria, Blackwell Publishing.

Nonaka I. (Ed.) 2001: Knowledge Emergence: Social, Technical, and Evolutionary Dimensions of Knowledge Creation. New York, Oxford University Press.

Polanyi M. 1985: Implizites Wissen. Frankfurt am Main, Suhrkamp.

Ravn J.E. 2004: Cross-System Knowledge Chains: The Team Dynamics of Knowledge Development. Systemic Practice and Action Research 17(3): 161–175.

Roux D.J., Rogers K.H., Biggs H.C., Ashton P.J., Sergeant A. 2006: Bridging the Science-Management Divide: Moving from Unidirectional Knowledge Transfer to Knowledge Interfacing and Sharing. Ecology and Society 11(1): 4.

Sauer A. 2006: Europäische Naturschutzpolitik: Die Rolle der lokalen und regionalen Akteure bei der Umsetzung der FFH-Richtline in Deutschland. München, Oekom.

Zaugg Stern M. 2006: Philosophiewandel im schweizerischen Wasserbau. Zur Vollzugspraxis des nachhaltigen Hochwasserschutzes. Zürich, Geographisches Institut der Universität Zürich.

Gesetzliche Grundlagen:
Bundesgesetz über den Wald, 4.Oktober 1991 (WaG).

Bundesgesetz über den Wasserbau, 21.06.1991 (WBG).

Kantonale Waldverordnung, 29.10.1997 (KWaV).

Kantonales Baugesetz, 9.06.1985 (BauG)

Kantonales Gesetz über Gewässerunterhalt und Wasserbau, 4.02.1989 (KWBG).

Kantonales Waldgesetz, 5.05.1997 (KWaG).

Internetseiten:
Bundesamt für Umwelt (BAFU): *www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01922/index.html?lang=de* (abgefragt am 17.12.2007).

Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA): *www.deza.admin.ch/de/Home/Glossar* (abgefragt am 17.12.2007).

12 > Fazit

Gian Reto Bezzola, Christoph Hegg

Grosse Hochwasser treten in unregelmässigen Zeitabständen auf. Sie kamen in der Vergangenheit vor und werden auch in Zukunft auftreten. Deshalb gilt es, aus Ereignissen wie dem Hochwasser 2005 die Lehren zu ziehen, um künftig besser gerüstet zu sein. Alle Chancen zur Minimierung der Risiken durch Naturgefahren sind zu nutzen. Dies bedingt eine konsequente Umsetzung des integralen Risikomanagements. Alle Beteiligten und Betroffenen müssen dazu ihre Verantwortung wahrnehmen und die Naturgefahren in ihrem Handeln berücksichtigen. Basis für alle gefahrenrelevanten Tätigkeiten bilden dabei umfassende Gefahrengrundlagen.

12.1 Einleitung

Im August 2005 lagen die Niederschläge, Abflüsse, Abflussvolumina, die Mengen der umgelagerten Feststoffe, der Schwemmholzanfall und die Veränderungen durch Erosion und Akkumulation teilweise weit über den lokalen Erfahrungswerten. In seinen Auswirkungen und über einen längeren Zeitraum betrachtet ist das Hochwasser insgesamt jedoch nicht ausserordentlich, sondern höchstens selten. Mit vergleichbaren Ereignissen ist auch künftig zu rechnen.

Bereits vor 2005 hatte sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Umgang mit Naturgefahren umfassend mittels eines *integralen Risikomanagements* erfolgen muss. Dabei sind alle Chancen zur Minimierung der Risiken zu nutzen und alle Handlungsoptionen vor, während und nach einem Ereignis zu berücksichtigen. Entsprechend fordert beispielsweise die im Jahre 2001 veröffentlichte Wegleitung «Hochwasserschutz an Fliessgewässern» des Bundes (BWG, 2001) einen integralen Ansatz im Schweizerischen Hochwasserschutz. Die auf einer umfassenden Gefahrenbeurteilung basierende Massnahmenplanung beinhaltet demnach:

- vorbeugende Massnahmen mit langfristiger Perspektive, wie den Gewässerunterhalt und die Schutzwaldpflege, raumplanerische Massnahmen zur gefahrengerechten Nutzung des Raumes und bauliche Massnahmen zum Schutz vor Hochwasser,
- organisatorische Massnahmen (Notfallplanung), die zusätzlich vor und während eines Ereignisses zu dessen Bewältigung ergriffen werden und
- Massnahmen zur Regeneration nach einem Ereignis wie die Schaffung einer minimalen Sicherheit (Instandstellung) oder die Deckung von Schäden durch Versicherungen.

Im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 wurden alle Aspekte und Phasen des integralen Risikomanagements betrachtet. Aus der Analyse ausgeschlossen bleiben jedoch die finanziellen Aspekte, welche mit der Umsetzung der durch das Hochwasser ausgelösten Folgeprojekte und der aus der Analyse vorgeschlagenen Massnahmen verbunden sind.

12.2 Konsequenzen aus den aufgetretenen Prozessen

Lokaler Erfahrungsschatz beschränkt

Die im August 2005 abgelaufenen Prozesse stellten an sich keine grundlegenden Überraschungen dar und liegen im Rahmen des bisher Bekannten. Die lokal erreichten Intensitäten (Abflussspitzen und -volumen, Seestände, Einwirkungsdauern und umgelagerte Feststoffvolumina) waren jedoch ausserordentlich. Sie lagen vielerorts ausserhalb des *lokal vorhandenen Erfahrungsbereichs* und erklären sich unter anderem durch:

- das Auftreten von *Schwellenprozessen*
  wie beispielsweise die überproportionale Zunahme des Abflusses als Folge zunehmender Wassersättigung des Untergrunds bei hohen Niederschlagsmengen oder das Überlaufen eines Karstspeichers,
- durch *Prozesswechsel*
  wie beispielsweise den Übergang von Rutschungen zu Murgängen,
- durch *Verkettungen von Prozessen*
  wie beispielsweise die Ablagerung von Material aus Rutschungen im Gerinne und seine anschliessende Mobilisierung durch hohe Abflüsse während des gleichen Ereignisses.

Prozess- und Ereignisvielfalt durch Szenarien abbilden

Eine vollständige Abbildung der Vielfalt möglicher Ereignisabläufe bei der Gefahrenbeurteilung, der Massnahmen- oder Notfallplanung ist weiterhin nicht möglich. In allen Bereichen des integralen Risikomanagements wird es somit auch künftig notwendig sein, mit *Szenarien* zu arbeiten.

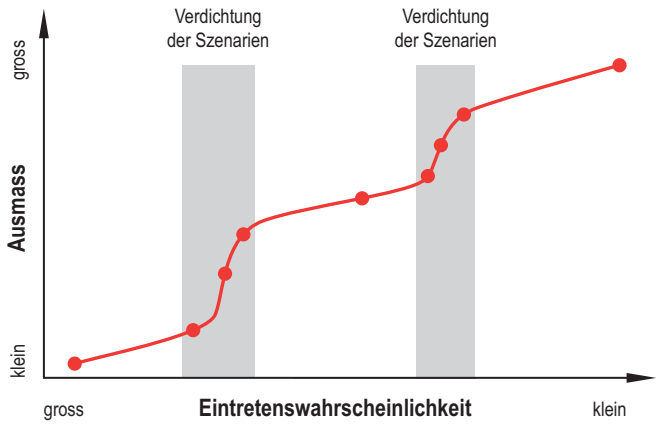
Konsequenz bezüglich Szenarienbildung

Bei den Überlegungen, welche diesen Szenarien zu Grunde gelegt werden, muss auch «das Undenkbare» gedacht werden. In die Überlegungen sind auch Ereignisabläufe, Verkettungen von Prozessen, Prozessdauer oder Vorgeschichten mit einzubeziehen, die zwar als wenig wahrscheinlich beurteilt werden, aber dennoch möglich sind.

Von all den möglichen Szenarien wird in der weiteren Bearbeitung nur eine Auswahl vertieft berücksichtigt. Die ausgewählten Szenarien müssen hinsichtlich der Auswirkungen im *Wirkungsgebiet* repräsentativ sein und die gesamte Bandbreite des möglichen Ausmasses abdecken. Führen geringfügige Variationen in den Annahmen bezüglich der Prozessabläufe im Entstehungs- und Transitgebiet zu markanten Änderungen des Ausmasses im Wirkungsgebiet, ist die Szenarienpalette zu erweitern, um Schwellen und Sprünge in der Beziehung zwischen Eintretenswahrscheinlichkeit und Ausmass abzubilden (Abb. 12.1).

Zur Nachvollziehbarkeit müssen nebst den Szenarien auch die Überlegungen, die zur Wahl oder Verwerfung einzelner Szenarien geführt haben, umfassend dokumentiert und für Dritte nachvollziehbar erläutert werden.

Abb. 12.1 > Erweiterung der Szenarienpalette zur Erkennung von Schwellen und Sprüngen in der Beziehung zwischen Eintretenswahrscheinlichkeit und Ausmass.



12.3 Umgang mit Unsicherheiten und Unschärfen

Unsicherheiten bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität

Die Ermittlung von Intensitäten und Eintretenswahrscheinlichkeiten von Naturprozessen ist grundsätzlich mit *Unsicherheiten* verbunden. Diese nehmen deutlich zu, wenn Ereignisse ausserhalb des bisherigen Erfahrungsbereichs liegen. Oft ist es einfacher, das Ausmass eines Prozesses einzuschätzen, aber bedeutend schwieriger, diesem Ausmass eine Wahrscheinlichkeit zuzuordnen.

Quantifizierung der Unsicherheiten

Liegen für einen Prozess umfangreiche und lückenlose Beobachtungen vor, lassen sich die vorhandenen Unsicherheiten mit statistischen Mitteln, beispielsweise durch *Konfidenzintervalle* quantifizieren. Diese Situation ist für vergleichsweise häufig auftretende Prozesse wie Hochwasser – zumindest in grösseren Einzugsgebieten – am ehesten gegeben. In diesem Fall lässt sich zu einer Eintretenswahrscheinlichkeit mittels statistischer Analysen eine Intensität mit entsprechender Unsicherheit (Abb. 12.2) bestimmen. Vorsicht ist bei der Extrapolation auf ganz seltene Ereignisse angebracht, bei welchen Schwellenprozesse, Prozesswechsel und Prozessverkettungen auftreten können, die im vorhandenen Datensatz nicht abgebildet sind.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit von Prozessen wie Murgängen, Hangmuren oder Rutschungen, für die oft nur wenige oder unvollständige Beobachtungen vorliegen, lässt sich statistisch kaum erfassen. Entsprechend müssen die vorhandenen Unsicherheiten in Form von groben *empirischen Bandbreiten* abgeschätzt werden. Dies bedingt, dass für solche Prozesse eher vom Ausmass, bzw. der damit verbundenen lokalen Intensitäten, auf die Bandbreite der Eintretenswahrscheinlichkeit geschlossen werden muss als umgekehrt (Abb. 12.3).

Bei der Gefahrenbeurteilung und der Massnahmenplanung haben die vorhandenen *Unsicherheiten* entsprechende *Unschärfen in der Beurteilung* zur Folge. Sie führen zu Ermessensspielräumen, die für alle beteiligten Akteure eine grosse Herausforderung darstellen und die Planung erschweren.

Unsicherheiten haben Unschärfen bei der Beurteilung zur Folge

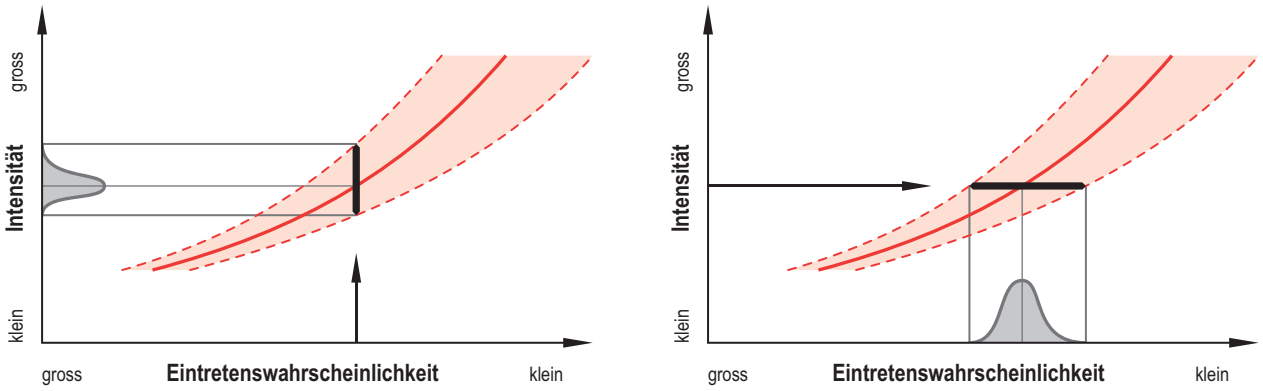
Die mit den Prozessen verbundenen *Unsicherheiten* sind – wo immer möglich – zu *quantifizieren* und die in der Beurteilung daraus resultierenden *Unschärfen* sind klar zu *deklarieren* und bei allen gefahrenrelevanten Tätigkeiten zu *berücksichtigen*. *Unschärfen bedingen Entscheidungen*. Diese müssen auf der Basis der vorhandenen Grundlagen *gefällt*, *begründet* und in einer für alle Beteiligten verständlichen Form *kommuniziert* werden.

Unsicherheiten und Unschärfen klar deklarieren

Abb. 12.2 > Bandbreite der Intensität bei vorgegebener Eintretenswahrscheinlichkeit.

Abb. 12.3 > Bandbreite der Wahrscheinlichkeit bei vorgegebener Intensität.

Beziehung zwischen der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Intensität eines Prozesses mit bester Schätzung (ausgezogene Linie) und zugehörigen Konfidenzintervallen, bzw. empirisch geschätzten Bandbreiten (gestrichelte Linien).



12.4 Neupositionierung der Gefahrenbeurteilung

Bisher erfolgte die Gefahrenbeurteilung mit den Zielen, im Bereich der Vorbeugung *Dimensionierungsgrundlagen* (z. B. Bemessungsabflüsse) für die Planung von Schutzbauten zu liefern und *Gefahrenkarten als Instrumente für die Raumplanung* bereitzustellen (Abb. 12.4).

Gefahrenbeurteilung bis 2005

Seit Beginn der Erstellung der Gefahrenkarten sind die Ansprüche an diese laufend gestiegen. Gefahrenkarten sollen heute unterschiedlichste Bedürfnisse abdecken und beispielsweise auch als Grundlage für die Notfallplanung, Objektschutzplanung oder Risikobeurteilung dienen. Damit rücken Gefahrenkarten mehr und mehr ins Zentrum der Betrachtungen und es werden neue Anforderungen gestellt, welche sie nicht erfüllen können. Gefahrenkarten sind eine «Übersetzung» der Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung in eine für Raumplaner und Baubehörden verständliche Sprache und somit ein für ganz bestimmte Bedürfnisse zugeschnittenes Produkt. Andere Bedürfnisse bedingen neue Produkte, deren Grundlage jedoch nicht die Gefahrenkarte sein kann.

«Überlastung» der Gefahrenkarte

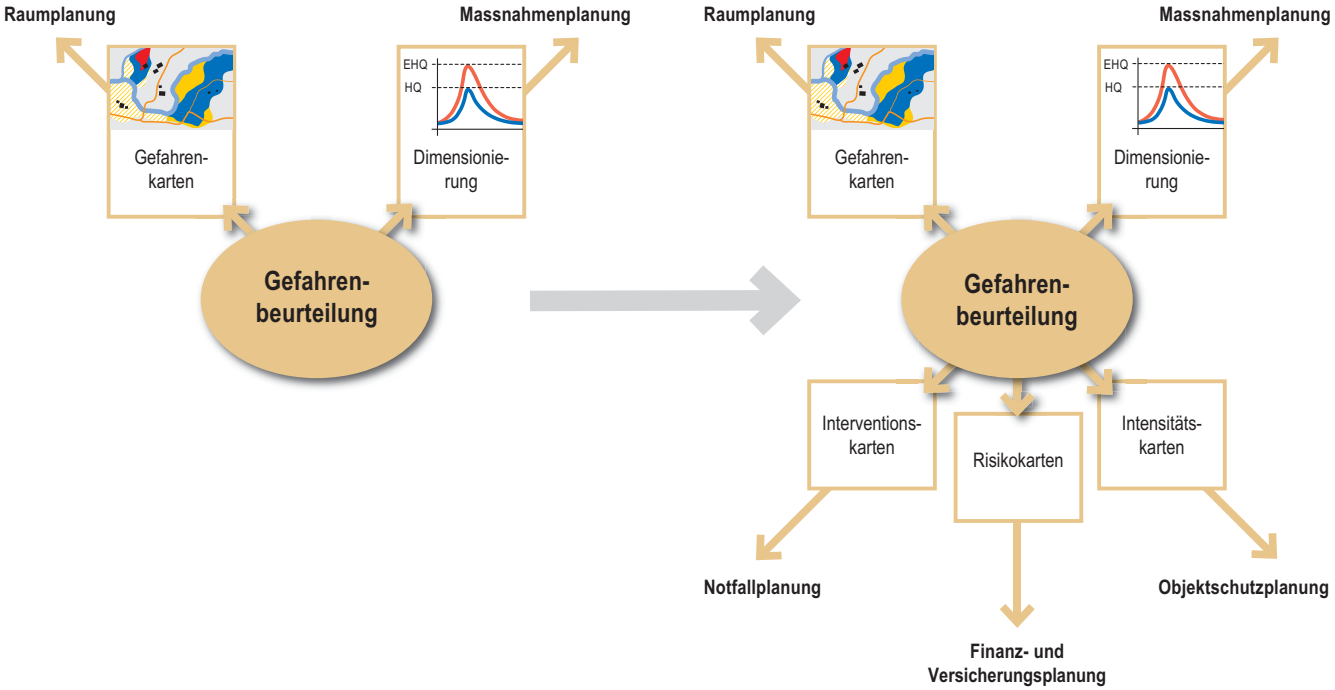
Gefahrenbeurteilung steht im Zentrum

Basis für alle gefahrenrelevanten Tätigkeiten bildet die Gefahrenbeurteilung. Mögliche neue Produkte wie beispielsweise Interventionskarten als Grundlage für die Intervention, Risikokarten für die Finanz- und Versicherungsplanung oder Intensitätskarten für die Objektschutzplanung müssen daher direkt aus der *Gefahrenbeurteilung* abgeleitet werden (Abb. 12.5). Die Bedürfnisse für diese und allfällige weitere, aus der Gefahrenbeurteilung abgeleitete Produkte, sind zu erfassen und die entsprechenden Produkte in Folgeprojekten zu definieren.

Abb. 12.4 > Bisherige Ziele der Gefahrenbeurteilung.

Abb. 12.5 > Gefahrenbeurteilung als direkte Grundlage zur Abdeckung neuer Bedürfnisse.

Die Gefahrenbeuteilung umfasst: die Definition und Beschreibung der Szenarien, die Quantifizierung von Wahrscheinlichkeiten und Intensitäten mit ihren Unsicherheiten sowie Prozessräume und wird umfassend und nachvollziehbar dargestellt und erläutert



Konsequenz für die Gefahrenbeurteilung

Als Grundlage für *unterschiedliche* Produkte darf die Gefahrenbeurteilung somit nicht mit Blick auf *eine* bestimmte Anwendung erfolgen. Die Gefahrenbeurteilung ist eine wissenschaftliche Tätigkeit und hat durch ausgewiesene Experten zu erfolgen. Sie muss transparent und nachvollziehbar durchgeführt werden, lokales Wissen und Erfahrung mit einbeziehen und *umfassend dokumentiert* werden. Mit dem Einbezug lokaler Akteure wird das wissenschaftliche Wissen ergänzt. Weiter kann damit auch erreicht werden, dass sich die lokalen Akteure, die letztlich für die Umsetzung von Massnahmen verantwortlich sind, mit den Ergebnissen der Gefahrenbeurteilung besser identifizieren können.

Weil die Gefahrenbeurteilung die Basis für *alle* gefahrenrelevanten Tätigkeiten darstellt, dürfen wenig wahrscheinliche Szenarien nicht a priori aus der weiteren Betrach-

tung ausgeschlossen werden. *Alle Szenarien* sind zu diskutieren und die mit ihnen verbundenen Überlegungen sind *umfassend und nachvollziehbar zu dokumentieren*. Der allfällige Ausschluss eines Szenarios aus den weiteren Betrachtungen ist zu *begründen*.

Wie die obigen Forderungen konkret umzusetzen sind und welche *Standards* die Gefahrenbeurteilung unter diesen neuen Rahmenbedingungen erfüllen muss, ist in Folgeprojekten zu definieren.

12.5 Weiterentwicklung der vorbeugenden Massnahmen

12.5.1 Raumplanerische Massnahmen

Gefahrenkarten haben sich bewährt

Gefahrenkarten bilden die Grundlage zur Meidung gefährdeter Gebiete und zur gefahrengerechten Nutzung des Raumes. Als Instrument der Raumplanung haben sich die Gefahrenkarten grundsätzlich bewährt und es sind keine grundlegenden Anpassungen notwendig. Bezüglich der Ausnahmen sei an dieser Stelle auf die Ausführungen in Kap. 8 verwiesen. Die raumplanerische Umsetzung der Gefahrenkarten braucht allerdings viel Zeit. Massive Konflikte entstehen, wenn durch Bauverbote, Aus- oder Umzonungen private Interessen betroffen sind.

Grundlagen vervollständigen, Kreis der Akteure erweitern

Die Fertigstellung der Gefahrenkarten bis 2011 durch die Kantone hat höchste Priorität. Die Umsetzung der Gefahrenkarten – also ihre Überführung in die Nutzungsplanung – ist zu beschleunigen. Da die entsprechenden Vorschriften des Bau- und Zonenreglements in erster Linie bei Neu- und Umbauten greifen, müssen neue Wege erschlossen werden, um auch die bestehende Bausubstanz zu erreichen. Dies bedingt eine Erweiterung des Kreises der Akteure durch konsequenten Einbezug von Versicherungen und Banken bei der Umsetzung. Darüber hinaus ist zu prüfen, wie durch Anreize und allenfalls durch Anpassung der gesetzlichen Grundlagen die Umsetzung raumplanerischer Massnahmen beschleunigt werden kann.

12.5.2 Baulich-technische Massnahmen

Überlastfall ist Realität

Die Ereignisse vom August 2005 und das Hochwasser vom August 2007 zeigen in aller Deutlichkeit, dass Schutzbauten überlastet werden können. Die Skala der Natur ist grundsätzlich «nach oben offen». Die Belastung durch Wasser, Geschiebe und Schwemmholz, auf die eine Schutzbaute ausgerichtet ist, kann bei einem seltenen Ereignis erreicht oder überschritten werden. Somit wird jede Massnahme irgendwann überlastet – es ist lediglich eine Frage der Zeit. Ältere Schutzbauten erweisen sich oft als nicht überlastbar. Gründe hierfür sind ihr Alter, bzw. die bei ihrer Erstellung verfügbaren Grundlagen, Kenntnisse und technischen Mittel. Die Dimensionierung vieler Bauten aus dem 20. Jahrhundert basiert auf dem Wissen und der Erfahrungen aus der an Ereignissen armen Periode zwischen 1927 und 1977. Bauten aus dem 19. Jahr-

hundert erreichen heute das Ende ihrer Lebensdauer und müssen erneuert werden. Davon sind grosse Korrektionswerke wie beispielsweise die Rhone im Wallis, das Linthwerk oder der Alpenrhein betroffen.

Viele Bauten genügen den heutigen Anforderungen in technischer Hinsicht oft nicht. Der Anpassungsbedarf im baulichen Hochwasserschutz ist entsprechend gross.

Bestehende Schutzbauten systematisch prüfen

Bestehende Schutzbauten sind deshalb systematisch auf ihre Funktionsfähigkeit und hinsichtlich ihres Verhaltens im Überlastfall zu prüfen und – falls sie den Anforderungen nicht genügen und sich nicht auf einfache Art anpassen lassen – durch robuste Konzepte zu ersetzen.

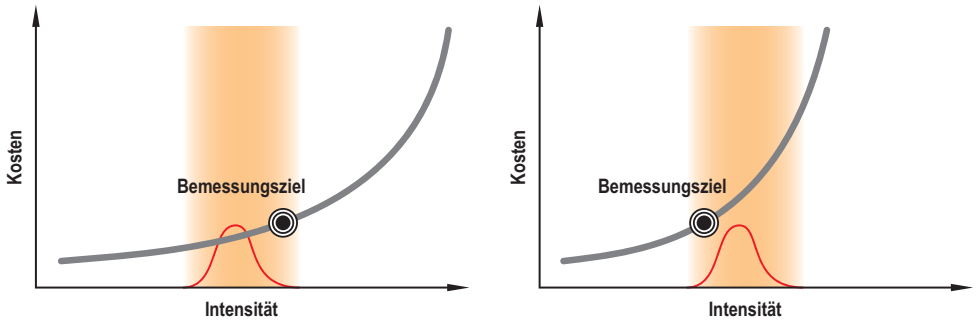
Neue Schutzbauten robust und überlastbar auslegen

Neue Schutzbauten sind robust und überlastbar auszulegen. Bei Ereignissen, welche die Dimensionierungswerte übertreffen, dürfen sie nicht kollapsartig versagen und dadurch zu einem unkontrollierten sprunghaften Anwachsen der Schäden führen.

Abb. 12.6 > Auslegung einer Massnahme auf den oberen Rand des Unschärfespektrums bei moderater Kostenentwicklung.

Abb. 12.7 > Auslegung einer Massnahme auf den unteren Rand des Unschärfespektrums bei starker Zunahme der Kosten.

Die Häufigkeitsverteilung und der farblich hinterlegte Bereich kennzeichnen das Unschärfespektrum der für die Bemessung massgeblichen Intensität.



Unschärfen bei der Planung berücksichtigen – pragmatisches Risikomanagement

Die Planung technischer Schutzmassnahmen hat die vorhandenen Unschärfen im Sinne eines *pragmatischen Risikomanagements* zu berücksichtigen. Es gilt, die Massnahmen bzw. Massnahmenkonzepte innerhalb des vorhandenen Unschärfebereichs und der lokal vorhandenen Randbedingungen zu optimieren. Führt die grosszügige Dimensionierung nicht zu wesentlichen Mehrkosten ist es sinnvoll, dass Konzept auf eine Belastung auszulegen, die eher am oberen Rand des Unschärfespektrums angesiedelt ist (Abb. 12.6). Nehmen die Kosten innerhalb des Unschärfebereichs jedoch sprunghaft zu, sollte die Bemessung eher auf einer Belastung basieren, die am unteren Rand des Spektrums liegt (Abb. 12.7). In jedem Fall ist durch eine geeignete Systemwahl sicherzustellen, dass die Massnahmen überlastbar sind und das verbleibende Risiko, zum Beispiel durch Objektschutz und eine adäquate Notfallplanung, auf ein akzeptierbares Mass reduziert wird.

Anpassbare und erweiterbare Massnahmenkonzepte

Bauliche Massnahmen sollten so konzipiert sein, dass sie sich mit verhältnismässigen Mitteln neuen Randbedingungen anpassen und erweitern lassen. Dabei ist beispielsweise einer infolge des Klimawandels möglicherweise verschärften Abfluss- und Sedimentproblematik Beachtung zu schenken. Saisonal erhöhte Hochwasserabflüsse und grössere Sedimentfrachten bedingen entsprechende Gerinnequerschnitte und Raum, um Wasser, Feststoffe und Schwemmholz abzuführen oder zurückzuhalten (KOHS, 2007). Nur wenn geeignete Flächen und Korridore für Extremereignisse frei gehalten oder frei gemacht werden, lassen sich bei zukünftigen Ereignissen Schäden begrenzen.

12.5.3 Objektschutzmassnahmen

Objektschutz zahlt sich aus -muss aber sorgfältig geplant und vollständig ausgeführt werden

Objektschutzmassnahmen reduzieren die Verletzlichkeit von Bauten und Infrastrukturen. Sie stellen eine Alternative zu aufwändigen systematischen Eingriffen in ein Fliessgewässer dar oder dienen – in Ergänzung zu solchen – der Minimierung des verbleibenden Risikos. Die bisher realisierten und bekannten Objektschutzmassnahmen haben sich grundsätzlich bewährt. Letztlich haben aber auch diese Massnahmen ihre Grenzen. Objektschutzmassnahmen müssen sorgfältig geplant und vollständig ausgeführt werden. So kann bereits eine einzige nicht berücksichtigte Öffnung in der Gebäudehülle dazu führen, dass im Ereignisfall Wasser eindringt und Schäden verursacht. Gefahrenkarten zeigen auf, in welchen Gebieten Objektschutzmassnahmen zu ergreifen sind. Für deren Dimensionierung enthalten die Gefahrenkarten jedoch nicht die erforderlichen Informationen. Besser geeignet sind die im Rahmen der Gefahrenbeurteilung erarbeiteten Intensitätskarten. Allenfalls sind für die Bemessung von Objektschutzmassnahmen weitere vertiefte Grundlagen notwendig.

Umgang mit kleinen Intensitäten klären

Für die in Gefahrenkarten dargestellten Prozesse sind keine unteren Intensitätsgrenzen festgelegt. Gebiete, für die keine Gefährdung ausgewiesen ist (weisse Gebiete), werden fälschlicherweise oft als schadensfreie Gebiete interpretiert. Zudem sind Prozesse, welche in der Regel sehr kleine Intensitäten aufweisen (z. B. Hang- und Grundwasser) heute nicht berücksichtigt. Der Umgang mit derartigen Gefährdungen ist im Rahmen von Folgeprojekten zu klären.

Hangwasser, Grundwasser, Kanalisationsrückstau

Gefahrenkarten für Hochwasser berücksichtigen Prozesse, die von Fliessgewässern und Seen ausgehen. Oberflächlich abfliessendes *Hangwasser,* aufstossendes *Grundwasser* sowie der *Rückstau in der Kanalisation* sind in den Gefahrenkarten in der Regel nicht abgebildet, haben aber 2005 spürbar zu den Schäden beigetragen. Schäden, die von solchen Prozessen ausgehen, lassen sich oft mit Objektschutzmassnahmen wirksam reduzieren. In Folgeprojekten ist zu definieren, wie dies konkret umzusetzen ist.

Grundlagen vervollständigen, Akteure sensibilisieren

Auch aus Sicht des Objektschutzes haben die Fertigstellung der Gefahrenkarten bis 2011 und der Zugang zu den im Rahmen der Gefahrenbeurteilung erarbeiteten Grundlagen höchste Priorität. Bauherren, Planer und Baubewilligungsbehörden müssen zudem in verstärktem Mass sensibilisiert und dazu motiviert werden, Bauten gefahrengerecht zu entwerfen und zu realisieren. Hierfür besteht bei Behörden und Planern auch Ausbildungsbedarf.

Akteure einbeziehen und Anreizen schaffen

Beratung und Anreize durch Versicherungen zeigen hinsichtlich der Umsetzung von Objektschutzmassnahmen bereits Wirkung. Dies verdeutlicht auch, dass der Einbezug weiterer Akteure wie Versicherungen und Banken eine zentrale Voraussetzung ist. Analog zu den Entwicklungen im Bereich der Energieeffizienz scheint auch im Zusammenhang mit Naturgefahren ein «Gefahrenzertifikat» für Bauten eine Möglichkeit, um zusätzliche Anreize zu schaffen und die Eigenverantwortung zu fördern.

12.6 Neue Chancen in der Bewältigung und Regeneration

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Intervention

Zentrale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Intervention sind eine entsprechende *Vorbereitung* (Notfallplanung), die zeitgerechte *Warnung* der Behörden sowie die rechtzeitige *Alarmierung* der Bevölkerung. Die Bewältigung von Naturereignissen muss letztlich *vor Ort* erfolgen. Dies bedingt, dass Führungsorganisationen und Interventionskräfte für ihre Lagebeurteilung sowie die notwendigen Entscheide auf *Fachwissen vor Ort* abstützen können. Schliesslich müssen Führungs- und Interventionskräfte für den Einsatz bei Naturgefahren optimal vorbereitet sein, was neben einer Notfallplanung, ihre materielle und personelle Bereitschaft und eine entsprechende *Ausbildung* voraussetzt.

Warnung und Alarmierung

Bei der Warnung und Alarmierung haben sich 2005 deutliche Grenzen und Schwachstellen gezeigt (Rotach et al., 2007). Massnahmen zu deren Behebung wurden u. a. im Rahmen des Projektes OWARNA[1] nach dem Ereignis rasch eingeleitet und waren beim Hochwasser vom August 2007 teilweise bereits wirksam.

Rasche Verbesserungen dank Vorsorge und Intervention

Anstrengungen in den Bereichen Vorsorge und Intervention zahlen sich – wie der Vergleich der Folgen der Hochwasser 2005 und 2007 im Berner Mattequartier zeigt – rasch aus und sind daher zu forcieren. Derartige organisatorische Massnahmen können auch als Sofortmassnahme die Sicherheit bis zur Realisierung permanenter Schutzbauten erhöhen. Anschliessend dienen sie mit den übrigen Massnahmen dazu, das verbleibende Risiko auf ein akzeptierbares Mass zu reduzieren.

Führungs- und Interventionskräfte

Führungs- und Interventionskräfte (Führungsorgane, Feuerwehren, Zivilschutz) müssen ihre Ausbildung verstärkt auf den Einsatz bei Naturereignissen ausrichten. Für die Interventionskräfte sind – analog dem Brandschutz – Standardsituationen und -verhalten in die entsprechenden Ausbildungsprogramme zu integrieren und konsequent im Verbund – u. a. auch mit der Armee – zu üben.

Ausbildung und Information der Bevölkerung

Grosse Defizite sind bezüglich der Sensibilisierung der Bevölkerung im Umgang mit Naturgefahren vorhanden. Das Bewusstsein bezüglich der möglichen Gefahren, die Kenntnis des in Gefahrensituationen korrekten Verhaltens und der persönlichen Interventionsmöglichkeiten sind oft kaum vorhanden. In dieser Hinsicht besteht ein Nachholbedarf, der nur durch eine kontinuierliche und konsequente Ausbildung und Information gedeckt werden kann.

[1] Optimierung von Warnung und Alarmierung bei Naturgefahren, Projekt des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS und der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT

Fachwissen vor Ort

Eine der grössten Lücken, die sich beim Hochwasser 2005 vielerorts gezeigt hat, ist die Verfügbarkeit von Fachwissen und dessen mangelnde Vernetzung auf allen Stufen. Das vor Ort vorhandene Wissen ist einzubeziehen, zu erhalten und gezielt durch Vermittlung neuen Wissens zu ergänzen. Vor allem vor Ort aber auch auf allen anderen Stufen gilt es, das notwendige Wissen im Ernstfall verfügbar zu machen und den Führungs- und Interventionskräften zur Verfügung zu stellen. Denkbar ist dabei eine Lösung mit einer Struktur analog dem Lawinendienst mit entsprechend ausgebildeten lokalen Gefahrenfachleuten (vgl. z. B. Bründl, 2004).

Übergang von Intervention zu Instandstellung

Grundsätzlich ist der Übergang von der Interventions- in die Instandstellungsphase (Regeneration) durch den Wechsel der rechtlichen Grundlagen und damit der Verantwortlichkeiten klar definiert. Mancherorts fehlen aber klare Regelungen für den Übergang von der Intervention zur Instandstellung. Hier sind die Strukturen und Abläufe zu institutionalisieren und die Zusammenarbeit sowie die Koordination der verschiedenen Stellen in allen Phasen zu verbessern. Für Beispiele erfolgreicher Modelle sei auf Kap. 9 verwiesen.

12.7 Dynamisierung der Gefahrengrundlagen

Gefahrengrundlagen für alle Bereiche des integralen Risikomanagements

Analog zur Gefahrenbeurteilung und den daraus abgeleiteten Produkten, welche die Grundlage für die Vorbeugung bilden, brauchen auch Bewältigung und Regeneration Grundlagen, die Auskunft über die relevante Gefährdungssituation geben. Diese müssen aber – im Gegensatz zur Gefahrenbeurteilung – nicht die allgemeine Gefahrensituation sondern die aktuelle bzw. kurzfristige Gefährdung aufzeigen. Zu den Gefahrengrundlagen gehören mit aktuellen Messungen und Beobachtungen, Vorhersagen etc. deshalb auch dynamischere Informationen als dies bisher bei den Grundlagen für die Vorbeugung der Fall war.

Gefahrengrundlagen sind kurz- und langfristig dynamisch

Gleichzeitig ist auch zu berücksichtigen, dass sich die naturräumlichen Bedingungen, unter welchen eine Gefahrenbeurteilung durchgeführt wird, ändern können. Deshalb sind auch Gefahrenbeurteilungen vermehrt mit einer dynamischen Komponente zu ergänzen, damit – im Sinne der Früherkennung – Entwicklungen erkannt werden können, welche die Rahmenbedingungen für Gefahrenprozesse verändern. Eine Intensivierung des *Monitorings* im Bereich Naturgefahren ist hierfür Voraussetzung.

Abgestimmte Inhalte notwendig

Diese verschiedenen Informationen zu Gefahrenprozessen müssen den Nutzern in einer gegenseitig abgestimmten Form zur Verfügung gestellt werden. Deshalb wird vorgeschlagen, *alle Informationen zu Gefahrenprozessen*, welche in der Bewältigung, Regeneration oder Vorbeugung Verwendung finden, zu den *Gefahrengrundlagen* zu zählen. Dadurch wird dieser Begriff gegenüber der heutigen Verwendung wesentlich erweitert. Es wird Aufgabe der verschiedenen beteiligten Fachstellen sein, dies zu konkretisieren.

12.8 Konsequenzen für die Darstellung des integralen Risikomanagements

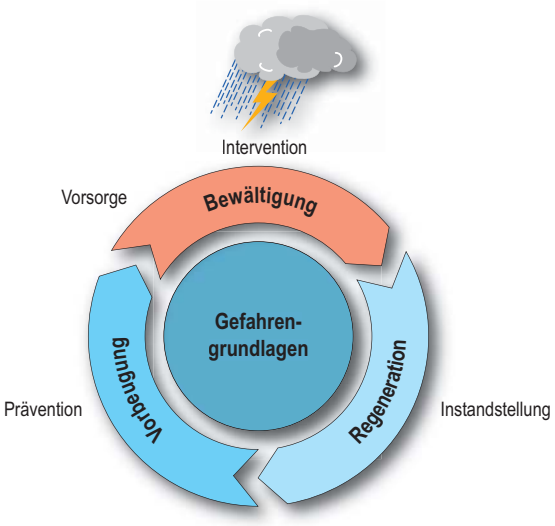
Neue Sicht auf den Risikokreislauf

Eine Erweiterung und Dynamisierung der Gefahrengrundlagen hat auch Einfluss auf die Darstellung des integralen Risikomanagements. Dieses wurde bisher mit dem vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz entworfenen und von der PLANAT (2003) übernommenen Risikokreislauf illustriert. Durch die im vorangehenden Kapitel vorgeschlagene Erweiterung der Gefahrengrundlagen erhält das Zentrum des Kreises zusätzliche Bedeutung.

Intervention kann früher beginnen

Aufgrund der heute verfügbaren Vorhersagemöglichkeiten kann eine Intervention zum Schutz vor Naturgefahren bereits vor einem allfälligen Ereignis beginnen. Teilweise ist dies sogar zwingend, wenn z. B. temporäre Schutzmassnahmen in Betrieb genommen werden müssen. Deshalb erscheint auch eine neue Darstellung der Phasen des integralen Risikomanagements, wie z. B. in Abb. 12.8 vorgeschlagen, im Rahmen entsprechender Folgeprojekte prüfenswert.

Abb. 12.8 > Vorschlag für eine neue Sicht auf das integrale Risikomanagement.



Bewältigung in der Verantwortung des Bevölkerungsschutzes

Gemäss diesem Vorschlag beginnt die Bewältigung deutlich vor dem Ereignis mit der Vorsorge, d.h. den Massnahmen zur Vorbereitung der eigentlichen Intervention. Dazu gehört beispielsweise die Planung und Vorbereitung temporärer (organisatorischer) Massnahmen, das Planen und Üben von entsprechenden Einsätzen, die Ausbildung und Sicherstellung der materiellen, personellen und der Führungsbereitschaft. Die eigentliche Intervention beginnt mit dem Eintreffen der ersten Warnung und dauert bis zum Abschluss des Einsatzes. Die gesamte Ereignisbewältigung, d.h. Vorsorge und Intervention liegen in der hauptsächlichen Verantwortung des Bevölkerungsschutzes. Dieser bezieht die Grundlagen für die Planung und die Auslösung von Massnahmen von den Fachstellen, welche für die jeweiligen Gefahrengrundlagen zuständig sind.

Regeneration ermöglicht Weiterleben

Die Regeneration (Instandstellung) beginnt mit dem Abschluss der Intervention und liegt in der Verantwortung der Naturgefahrenfachstellen bzw. der Eigentümer, welche durch die Versicherungen unterstützt werden. In der Regeneration wird von den staatlichen Institutionen die rasche Erstellung einer minimalen Sicherheit sowohl vor Naturgefahren als auch beim Betrieb von Infrastrukturen angestrebt. In dieser Phase erfolgt zudem die Renovation bzw. der Aufbau von beschädigten oder zerstörten privaten Gebäuden. Als Teil der Regeneration werden auch jene Teile des Wiederaufbaus von Schutzmassnahmen und Infrastrukturen betrachtet, die ein Sicherheitsniveau vergleichbar mit jenem vor dem Ereignis anstreben.

Vorbeugung umfasst alle permanenten Massnahmen

An die Regeneration schliesst die Vorbeugung (Prävention) an, in welcher eine Reduktion der bestehenden Risiken angestrebt wird. In der Vorbeugung geht es um die klassischen Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren, d.h. um den Unterhalt (inkl. Schutzwaldpflege), die raumplanerischen Massnahmen und wo nötig um permanente bauliche Massnahmen. Diese sind periodisch auf ihre Wirksamkeit zu prüfen und wo nötig entsprechend anzupassen. Folgeprojekte, die durch neue Erkenntnisse aus der Analyse eines aufgetretenen Ereignisses entstehen, werden als Teil der Vorbeugung betrachtet. Die Vorbeugung liegt in der Verantwortung der Naturgefahrenfachstellen.

12.9 Neue Wege in der Kommunikation

Bilanz der bisherigen Kommunikation ernüchternd

Ernüchternd ist der geringe Nachhall bei der Bevölkerung, den die ungeheure Medienpräsenz des Hochwassers vom August 2005 zwei Jahre nach dem Ereignis noch hatte. Trotz der grossen Präsenz des Ereignisses in den Medien und den zahlreichen dabei mit kommunizierten Handlungsaufforderungen, haben nur wenige Personen ihr Verhalten geändert. Gleichzeitig zeigt die vorliegende Analyse, dass eine grosse Zahl von Schadenfällen weitab von Gewässern entstanden ist. Dort ist jeder Einzelne gefordert geeignete Lösungen zur Begrenzung der Schäden zu realisieren. Offensichtlich wird dieses Ziel mit der bis jetzt verfolgten Strategie der Kommunikation primär via Medien nicht im gewünschten Ausmass erreicht.

Multiplikatoren vor Ort notwendig

Deshalb sind hier neue Wege der Kommunikation zu suchen. Der zielgerichtete Einbezug von Personen vor Ort in einen Erfahrungs- und Wissensaustausch mit Fachexperten ermöglicht es, dass lokal vorhandenes Wissen mit Fachwissen vernetzt werden kann. Naturgefahrenfachleute sind geeignete intermediäre Personen, welche das Wissen zum Umgang mit Naturgefahren über ihre Netzwerke in ihrem Umfeld verbreiten können. Die gleiche Rolle können auch Versicherungsberater, Baufachleute oder Architekten wahrnehmen, welche Gebäudebesitzer beraten. Diese intermediären Personen eröffnen eine Möglichkeit, die Bevölkerung besser und gezielter als bisher zu erreichen.

12.10 Massnahmen

12.10.1 Erforderliche Massnahmen

Als Konsequenz aus der Analyse des Hochwassers 2005 sind in folgenden Handlungsfeldern Massnahmen zu ergreifen:

- Die Gefahrenkarten sind gesamtschweizerisch mit höchster Priorität abzuschliessen.
- Die Gefahrengrundlagen sind so zu erweitern, dass umfassende Grundlagen für alle gefahrenrelevanten Tätigkeiten bereitstehen.
- Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren sind konsequent hinsichtlich Überlastbarkeit zu prüfen und, falls erforderlich, anzupassen.
- Die Massnahmenplanung muss den vorhandenen Unsicherheiten und Unschärfen Rechnung tragen.
- Vorsorge und Intervention als kostengünstige und rasch umsetzbare Massnahmen sind zu forcieren. Dazu sind die beteiligten Akteure zu vernetzen und das Fachwissen vor Ort aufzubauen.
- Alle betroffenen und beteiligten Akteure sind in die Umsetzung von Massnahmen einzubeziehen und durch eine geeignete neue Kommunikationsstrategie sowie entsprechende Ausbildungen zu befähigen, sich im Ereignisfall gefahrengerecht zu verhalten und eigenverantwortlich zu reagieren.

12.10.2 Eingeleitete Massnahmen auf Stufe Bund

Optimierung von Vorsorge und Intervention

Aus der Erkenntnis, dass bei Warnung, Alarmierung und Intervention Lücken vorhanden, aber auch rasch bedeutende Optimierungen möglich sind, konzentrieren sich die eingeleiteten und seit dem Hochwasser 2005 bereits umgesetzten Massnahmen stark auf diese Bereiche. Gestützt auf die im Rahmen des vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS und der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT koordinierten Projekts OWARNA (Optimierung von Warnung und Alarmierung bei Naturgefahren) ausgelösten Massnahmen sowie auf die Erkenntnisse der vorliegenden Ereignisanalyse wurden auf Stufe Bund folgende Massnahmen eingeleitet:

- Verbesserung der meteorologischen Prognosen sowie der Abflussprognosen durch Verwendung räumlich höher aufgelöster Prognosemodelle sowie durch Ergänzung der deterministischen Prognosen durch probabilistische Prognosen, so genannten «Ensemble Vorhersagen» (vgl. Rotach et al., 2007).
- Aufbau einer gemeinsamen Informationsplattform Naturgefahren (GIN), über die bei entsprechenden Situationen gemeinsame Bulletins zusammen mit den Daten aller beteiligten Institutionen (MeteoSchweiz, BAFU, WSL/SLF) an die Fachstellen und Einsatzorgane verbreitet werden.
- Aufbau einer internetbasierten Plattform zur Information der Bevölkerung in Krisensituationen durch die Bundeskanzlei.

- Erhöhung des Personalbestandes im Bereich der Abflussprognose zur Sicherstellung der Dienstleistungen im Ereignisfall.
- Aufbau einer Stabsorganisation im BAFU zur Sicherstellung der Beratung und Information bei ausserordentlichen Naturereignissen.
- Überprüfung der gesetzlichen Grundlagen in Bezug auf die Umsetzung des integralen Risikomanagements.
- Aufbau und Betrieb eines Melde- und Lagezentrums (MLZ) bei der Nationalen Alarmzentrale NAZ im Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS.
- Sicherstellung der Notstromversorgung und Verbesserung der Redundanz essentieller Systeme zur Warnung der Behörden und Alarmierung der Bevölkerung.
- Erarbeitung eines Übungskonzepts zur Überprüfung der Zusammenarbeit der Fachstellen und der Führungsfähigkeit der Führungsgremien; Durchführung darauf basierender Übungen.

Beschleunigte Umsetzung und Stärkung der Gefahrenprävention

Diese Massnahmen sind Teil der vom Bundesrat im Mai 2007 beschlossenen Massnahmen. Am 28. September 2007 hat der Bundesrat angesichts der Hochwasser vom August 2007 beschlossen, diese Massnahmen beschleunigt umzusetzen und den Schutz vor Naturgefahren zu stärken. Für die Naturgefahrenprävention werden zudem durch das BAFU im Auftrag des UVEK derzeit alternative Finanzierungsformen gesucht. Als Grundlage für die Abwägung zwischen Schutz vor Naturgefahren und dem mit Nutzungseinschränkungen verbundenen Eingriff ins Privateigentum wurde parallel zur Ereignisanalyse ein entsprechendes Rechtsgutachten (Hepperle, 2008) erstellt.

12.10.3 Weitere zu ergreifende Massnahmen

Nachdem der Bund die Massnahmen, welche er in eigener Kompetenz umsetzen kann, rasch an die Hand genommen hat, gilt es diese zügig zu vollziehen. Parallel dazu muss die Umsetzung der auf kantonaler und lokaler Ebene notwendigen Massnahmen eingeleitet werden. Die entsprechenden Handlungsschwerpunkte sind:

- Fertigstellung der Gefahrenkarten bis 2011 sowie laufende Umsetzung der vorhandenen Gefahrengrundlagen in robuste und überlastbare Massnahmenkonzepte.
- Aufbau des erforderlichen Fachwissens vor Ort durch Entwicklung und Durchführung von Ausbildungslehrgängen für Naturgefahrenbeobachter zur Unterstützung regionaler und kantonaler Führungsstäbe bei der Notfallplanung und bei der Bewältigung von Ereignissen.
- Ausbildung von Versicherungs- und Baufachleuten im Umgang mit Naturgefahren.
- Nachhaltige Sensibilisierung und Ausbildung der Bevölkerung zur Förderung des gefahrengerechten und eigenverantwortlichen Handelns im Ereignisfall.
- Fördern des Austausches zwischen allen Beteiligten.

12.11 Ausblick

Umgang mit Naturgefahren – eine Gemeinschaftsaufgabe

Hochwasserereignisse wie jenes von 2005 oder noch grössere Naturereignisse können jederzeit auftreten, auch wenn die Erinnerung an solche Ereignisse im Bewusstsein der Allgemeinheit rasch verblasst. Damit bei künftigen Ereignissen nicht ähnliche oder noch grössere Schäden auftreten, ist die konsequente Umsetzung des integralen Risikomanagements notwendig. Dem Einbezug der verschiedenen Akteure in allen Phasen des Risikokreislaufs kommt eine zentrale Bedeutung zu. Die Vernetzung und der Erfahrungsaustausch unter den Beteiligten sind Voraussetzungen für gegenseitige Vertrauen und Glaubwürdigkeit sowie für die Akzeptanz und die Identifikation mit den Gefahrengrundlagen und den zu realisierenden Massnahmen. Die Sensibilisierung der breiten Bevölkerung auf Naturgefahren bildet nicht zuletzt auch für den Ereignisfall eine wichtige Handlungsbasis. Die zur Weiterentwicklung des Schweizerischen Hochwasserschutzes erforderlichen Massnahmen bedeuten eine Erweiterung der bisherigen Aufgaben. Die entsprechenden Mittel hierzu sind bei Bund, Kantonen und Gemeinden bereitzustellen.

Literatur:

Bründl M., Etter H.-J., Klingler C., Lehning M., Steiniger M., Ammann W. 2004: Consequences of the ava-lanche winter 1999 in Switzerland: the inter-cantonal early warning and crisis information system IFKIS. In: Internationales Symposion Interpraevent 2004 – Riva Trient. Tagungspublikation Band I: 71–81.

BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie) 2001: Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitungen des Bundesamts für Wasser und Geologie, Bern.

Hepperle E. 2008: Schutzauftrag und Subventionierung bei Naturgefahren. Rechtsgutachten. Bundesamt für Umwelt BAFU. Umwelt-Wissen (in Vorbereitung)

KOHS 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS). Wasser, Energie, Luft (99)1: 55–57.

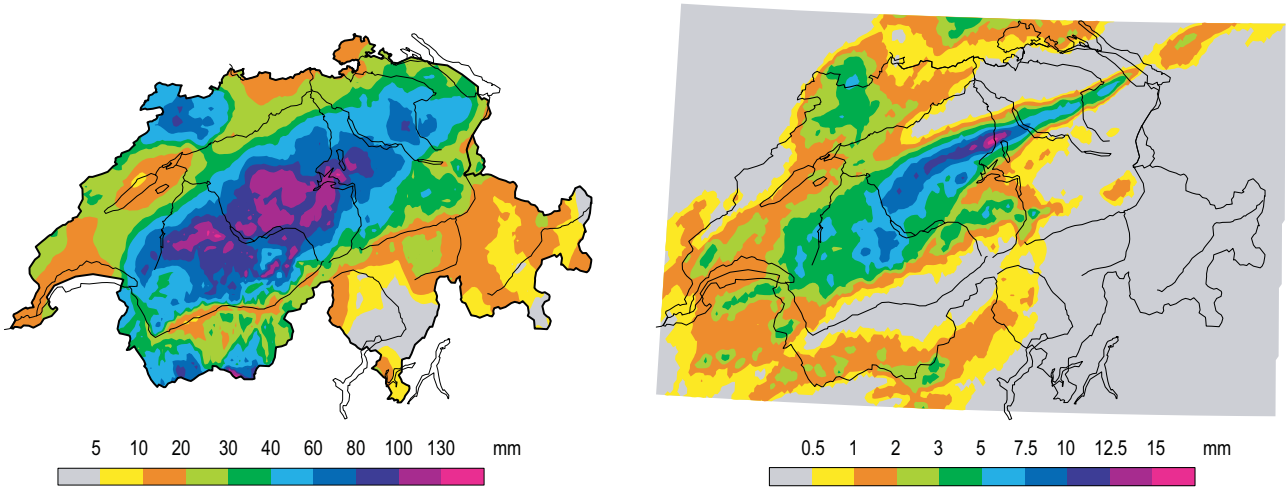
PLANAT 2003: Strategie Naturgefahren Schweiz, Bern.

Rotach M., Albisser P., Duding O., Eckert P., Hächler P., Schubiger F., Walser A., Vogt S., Hegg C. 2007: Niederschlags- und Abflussvorhersage. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 107–126.

> Anhang

A1 Räumliche Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005. Interpretationshilfe zu den Datensätzen von MeteoSchweiz.

Abb. A1.1 > Beispiele aus den beiden Niederschlags-Datensätzen der MeteoSchweiz zum Hochwasser 2005.



A1-1

Einleitung

Im Rahmen der Ereignisanalyse zum Hochwasser 2005 (Bezzola und Hegg 2007) hat das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz gegitterte Datensätze der räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung in der Schweiz erstellt. Dazu gehören:

- eine Analyse der täglichen Niederschlagssumme auf einem 2-km Gitternetz, gestützt auf Messungen an Niederschlagsstationen (im folgenden als *Pluviometer-Datensatz* bezeichnet),
- eine Analyse der stündlichen Niederschlagssumme (1-km Gitter) aus Niederschlags-Radarmessungen durch Anwendung moderner Korrektur- und Eichmethoden (im folgenden als *Radar-Datensatz* bezeichnet).

Die Herleitung und die technischen Details sowie eine ausführliche Auswertung dieser Datensätze sind im Bericht der MeteoSchweiz zum Hochwasser beschrieben (MeteoSchweiz 2006, siehe auch Frei 2006). Projektnehmer der Ereignisanalyse können diese Daten nach einer Registrierung beziehen unter:
http://www.meteoswiss.admin.ch/web/de/klima/aktuelle_berichte/hochwasser_2005.html.

Für die Erstellung dieser Datensätze hat MeteoSchweiz modernste Analysemethoden eingesetzt und die Ausgangsdaten (Radar- und Pluviometerdaten) sind mit aufwendigen Verfahren korrigiert und auf ihre Plausibilität geprüft worden. Trotzdem sind die aufbereiteten Datensätze mit Unsicherheiten behaftet. Diese konnten mit den methodischen und technischen Entwicklungen der vergangenen Jahre zwar reduziert aber nicht eliminiert werden. Eine Berücksichtigung der Unsicherheiten ist in praktischen Anwendungen wichtig.

Die vorliegende Interpretationshilfe fasst die wichtigsten Einschränkungen der Datensätze zusammen und hilft dem Anwender die Datensätze fachgerecht einzusetzen. Die Interpretationshilfe ist aufgeteilt in einen Satz kurzer und einfach verständlicher Anwendungsregeln (Kap. A1-2) sowie ergänzenden technischen Erläuterungen (Kap. A1-3). Eine ausführliche Illustration und umfassendere Unsicherheitsanalysen werden im zweiten Teil der Ereignisanalyse publiziert werden. Die vorliegende Interpretationshilfe wird bei Bedarf aktualisiert. Es kann sinnvoll sein, sich auf obiger Web-Seite über allfällige neue Versionen zu erkundigen.

A1-2 Regeln für die Verwendung der Niederschlags-Datensätze

1 «Im-Anfang-war-die-Unsicherheit Regel»:

Alle naturwissenschaftlichen Messungen und Modelle sind mit Unsicherheiten behaftet. Diese müssen bei der Wahl der Auswerte-Methoden und bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden. Die Unsicherheiten in den Niederschlagsdatensätzen der MeteoSchweiz können die Aussagekraft von Anwendungen einschränken. Der Grad der Einschränkung hängt von der Anwendung ab. (Siehe auch Kap. A1-3.1.)

2 «Qual-der-Wahl Regel»:

Die Wahl des geeigneten Datensatzes (Pluviometer-Datensatz oder Radar-Datensatz) für eine konkrete Anwendung braucht eine sorgfältige Beurteilung der relativen Vor- und Nachteile sowie der Unsicherheiten:

a) Die beiden Datensätze haben unterschiedliche Charakteristika. Je nach Anwendung kann einer der Datensätze geeigneter sein (siehe Regeln 3 und 4).
b) Wenn keiner der beiden Datensätze ausgezeichnet ist und beide den Anforderungen vergleichbar genügen, können beide Datensätze als plausibles mögliches Abbild der wahren Niederschlagsverteilung betrachtet werden.
c) Eine einfache Mittelung der beiden Datensätze ist nicht sinnvoll. Dies würde die vorhandenen Unsicherheiten nur verschleiern.
d) Es kann sein dass die Anforderungen für gewisse Anwendungen von beiden Datensätzen nicht erfüllt werden und deshalb von einer Nutzung abgeraten werden muss. (siehe Regel 5)

3 «Pluviometer-Regel»:

Dem Pluviometer-Datensatz soll dann der Vorzug gegeben werden, wenn genaue Schätzungen der absoluten Gebietsniederschlagsmengen auf einer Skala von mindestens 250 km² im Flachland oder 400 km² im Gebirge und einer Zeitauflösung von 24h (oder länger) benötigt werden.
(Siehe auch Kap. A1-3.2 und A1-3.3.)

4 «Radar-Regel»:

Dem Radar-Datensatz soll dann der Vorzug gegeben werden, wenn die Feinstrukturen des Niederschlags auf der Skala von Kilometern und die Entwicklung auf der Zeitskala von Stunden wichtig sind, gleichzeitig aber keine allzu hohen Anforderungen an die absolute Genauigkeit der Mengen gestellt werden.
(Siehe auch Kap. A1-3.6 – A1-3.8)

5 «Achtung-heiss! Regel»:

Auswertungen im Gebirge, für welche sowohl hohe Genauigkeit der Niederschlagsmengen wie auch hohe Auflösung (weniger als 20 km oder 24 h) verlangt werden, sind in hohem Masse von Unsicherheiten betroffen. Hier sollte eine Anwendung der Datensätze nur nach eingehender Beurteilung des konkreten Falls gemeinsam mit der MeteoSchweiz unternommen werden.

6 «Pluviometer-Unsicherheits-Regel»:

Der Pluviometer Datensatz unterschätzt den gefallenen Niederschlag für das Hochwasser 2005 systematisch um ca. 4 % im Flachland und bis 12 % im Hochgebirge. Hinzu kommt ein zufälliger Fehler der für ein Gebietsmittel von 400 km² auf etwa 5 % im Flachland und auf etwa 20 % im Gebirge geschätzt wird.
(Siehe auch Kap. A1-3.4 und A1-3.5.)

7 «Radar-Unsicherheits-Regel»:

Der systematische Fehler der Radar-Niederschlagsschätzung liegt im Prozentbereich. Der zufällige Fehler auf der Skala von 1km und 24h entspricht im Mittel in der Schweiz einem Faktor von 1.6. In den Schweizer Alpen ist der Faktor grösser und liegt zwischen 1.6 und 2, im Schweizer Mittelland sowie im Südtessin ist er tiefer und liegt bei 1.4. Fehlechos bei Schönwetter sind selten und entsprechen 0.1 % des totalen Niederschlages. (Siehe Kap. A1-3.8 und A1-3.9.)

8 «Skalen-Regel»:

Die Zufallsfehler hängen stark von der räumlichen und zeitlichen Skala ab. Je länger das Zeitintervall der Niederschlagssumme und je grösser die Raumskala (Gebietsmittel) umso kleiner der Zufallsfehler. Als Faustregel kann angenommen werden dass der Zufallsfehler mit der Wurzel der Gebietsfläche abnimmt.
(Siehe Kap. A1-3.5 und A1-3.10.)

9 «Literatur-Regel»:

Die beiden Datensätze wurden mit international als «state-of-the-art» anerkannten Methoden hergeleitet und in internationalen peer-review Medien publiziert. Für eine detaillierte Einschätzung der Qualität/Nützlichkeit der Datensätze empfiehlt sich ein Blick in die entsprechende Literatur. Empfohlen sind insbesondere Frei und Schär (1998), Schwarb et. al. (2001), Germann et al (2006b) und Joss et al (1998).

A1-3 Erläuterungen

A1-3.1 Unsicherheiten und Fehlerfortpflanzung

Der Niederschlag ist eine in Raum und Zeit extrem variable Grösse. Im Abstand von wenigen Minuten oder Kilometern können Niederschlagsmengen um einen Faktor 10 oder mehr variieren. Messungen an Niederschlagsstationen sind für einen nur wenige Kilometer entfernten Ort also nur sehr beschränkt repräsentativ, erst recht im Gebirge. Diese extremen Eigenschaften stellen eine grosse Herausforderung dar für die Beobachtung, die flächendeckende Analyse aber auch für hydrologische Anwendungen.
Es gibt nicht den perfekten Niederschlags Datensatz der sich für alle Anwendungen gleichermassen eignet. Vielmehr gibt es mehrere Techniken der räumlichen Niederschlagsanalyse, deren Produkte unterschiedliche Charakteristika aufweisen und sich deshalb für Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen eignen. Jeder Datensatz ist zudem von Unsicherheiten betroffen die für die Aussage einer Anwendung zentral sein können. Zu entscheiden, welcher Datensatz sich für eine konkrete Anwendung eignet, bedingt, dass sich der Anwender mit den Charakteristika der Datensätze beschäftigt und deren Bedeutung für die Anwendung einschätzt. In vielen Fällen ist es sinnvoll, die Unsicherheiten quantitativ auf das Endresultat einer Anwendung weiterzuverfolgen (Fehlerfortpflanzung), und ihre Effekte mit den Modell-inhärenten Unsicherheiten oder denjenigen anderer Eingangsgrössen zu vergleichen. (Siehe dazu auch die aktuelle COST-Aktion «Propagation of uncertainty in advanced meteo-hydrological forecast systems» *http://cost731.bafg.de/)*.

A1-3.2 Der Pluviometer-Datensatz

Die räumliche Analyse von täglichen Niederschlagssummen stützt sich auf in-situ Messungen an insgesamt 482 Pluviometer Stationen (440 Stationen der MeteoSchweiz und 42 IMIS Stationen des SLF). (Siehe MeteoSchweiz 2006 für eine ausführliche Beschreibung des Messnetzes.) Die Stationsdaten wurden mit einem Gewichtungsverfahren interpoliert, welches Distanz und Richtungsisolation um den Analysepunkt berücksichtigt (Shepard 1984, Frei und Schär 1998). Anders als in klassischen Anwendungen wurde das Gewichtungsverfahren für die Schweizer Niederschlagsanalyse nicht direkt auf Niederschlagsmessungen angewendet sondern auf relative Anomalien zur Langzeit-Klimatologie. Dieses Vorgehen (siehe Widmann und Bretherton 2002) reduziert das Risiko von systematischen Fehlern als Folge der nicht-repräsentativen Verteilung der Messstationen mit der Meereshöhe (Talstationen sind gegenüber Bergstationen übervertreten). Als Grundlage wurde dabei die Klimatologie von Schwarb et al. (2001) verwendet, welche mit einem aufwändigen speziell für den Alpenraum angepassten Regressionsmodell erstellt wurde (Daly et al. 2002, Schwarb 2001).

A1-3.3 Nominelle und effektive Auflösung des Pluviometer-Datensatzes

Der Pluviometer-Datensatz wurde in einer nominellen Auflösung (Gitterabstand) von 2 km gerechnet. Die Berechnung aus umgebenden Stationen bewirkt aber eine Glättung des tatsächlichen Niederschlagsfeldes. Die Analyse ist deshalb gröber aufgelöst als die Skala der Gitterstruktur und die Werte an den Gitterpunkten repräsentieren nicht lokale

Punktniederschläge sondern Gebietsmittel. Die sichtbaren feinskaligen Strukturen widerspiegeln eine Schätzung aus einer hochaufgelösten Klimatologie (siehe auch 3.1), die aber stark von der tatsächlichen Feinstruktur abweichen kann. Die effektive Auflösung des Pluviometer-Datensatzes dürfte im Flachland etwa 10–15 km und im Gebirge etwa 15–20 km betragen, entsprechend der Dichte des Messnetzes in diesen Gebieten. Der hauptsächliche Verwendungszweck des Pluviometer-Datensatzes ist deshalb die quantitative Beschreibung der Niederschlagsverteilung auf gröberen Raumskalen. Er kann insbesondere verwendet werden um Gebietsniederschläge in Einzugsgebieten zu schätzen wenn deren Fläche grösser als etwa 250 km² im Flachland resp. grösser als 400 km² im Gebirge ist. Die Aufbereitung des Datensatzes auf dem feinen 2-km Gitternetz vereinfacht dabei die Mittelung über die Einzugsgebiete.

A1-3.4 Systematische Pluviometer Messfehler

Pluviometermessungen unterliegen systematischen Messfehlern. Als Folge des erhöhten Windes über der Messgeräteöffnung wird der tatsächliche Niederschlag unterschätzt (Neff 1977, Nespor und Sevruk 1999). Die Grösse des Messfehlers hängt von den Windverhältnissen und der Tropfengrössenverteilung ab, und er ist bei Schneefall deutlich grösser als bei Regen. Die Messungen wurden für diesen Messfehler nicht korrigiert, weshalb sich dieser auch auf die Analysen im Pluviometer-Datensatz auswirkt. Die Starkniederschläge vom August 2005 waren von eher schwachen Winden begleitet und die Niederschläge sind an fast allen Stationen in flüssiger Form gefallen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass der Messfehler in der Grössenordnung des klimatologischen Fehlers im Sommer liegt. Dieser wurde für den Alpenraum auf 4–12 % geschätzt je nach Windexposition der Messstation (Sevruk 1985, Richter 1995).

A1-3.5 Zufallsfehler im Pluviometer-Datensatz

Als Folge der endlichen Anzahl von Stationen kann ein Gebietsmittelniederschlag nur mit beschränkter Genauigkeit geschätzt werden. Diese Fehlerkomponente wurde in Frei und Schär (1998) auf der Grundlage der Variationen zwischen den Stationsmessungen geschätzt. Aus diesen Untersuchungen lässt sich für die Analyse der Starkniederschläge im August 2005 ein Zufallsfehler von 5 % im Flachland und 20 % im Gebirge schätzen. Diese Fehlerangaben sind gültig für Gebiete von 400 km². Der Fehler nimmt für grössere Gebiete etwa mit der Wurzel der Fläche ab. (Z. B. für 800 km² um den Faktor 1.4 kleiner.) Diese Fehlerangaben sollten als «standard Fehler» interpretiert werden, d. h. als Erwartungswert des Fehlers, im Einzelfall sind kleinere/grössere Fehler möglich. Die gegenwärtig verfügbaren Fehlerschätzungen sind sehr grob. Eine verbesserte Schätzung der Zufallsfehler im Pluviometer-Datensatz wird im zweiten Teil der Ereignisanalyse unternommen. Es ist also möglich, dass die heutigen Angaben später revidiert werden.

A1-3.6 Der Radar-Datensatz

Das MeteoSchweiz Wetterradarnetz bestehend aus drei Stationen auf La Dole (1675 m, bei Genf), auf Albis (925 m, bei Zürich) und auf Monte Lema (1625 m, bei Lugano) liefert im Fünfminutentakt Niederschlagskarten für die ganze Schweiz sowie das

angrenzende Ausland mit einer Auflösung von 1 km. Die Daten stehen dem Anwender nur wenige Minuten nach der Messung online zur Verfügung. Von den Starkniederschlägen im August 2005 lieferten Radarmessungen ein flächendeckendes, räumlich und zeitlich hoch aufgelöstes Bild der Niederschlagsentwicklung und der Verlagerung von Niederschlagssystemen.

Die operationelle Radar-Niederschlagsmessung in einem Alpenland wie der Schweiz ist eine besondere Herausforderung. Sie verlangt besonderes Design der verwendeten Radar-Hardware sowie raffinierte Methoden der Datenauswertung. Die aktuelle Implementation basiert auf 40 Jahren Erfahrung und kontinuierlichen Verbesserungen (Joss et al., 1998; Germann und Joss, 2004). Die Stabilität der Messung wird durch die automatisierte, laufende Überwachung und Kalibration der Hardware und den periodischen Unterhalt vor Ort sichergestellt. Ein 1993 entwickelter und 1999 erweiterter Clutter-Unterdrückungs-Algorithmus detektiert und eliminiert 98 % der Bodenechos. Wo die Radar-Messung auf Bodenniveau durch Berge abgeschirmt ist, werden die Messungen aus der Höhe mittels der Profilkorrektur auf das Bodenniveau extrapoliert.

Ein robustes statistisches Verfahren wird verwendet um die Radarwerte an die Pluviometer-Messungen anzueichen. Für den Radar-Datensatz zum Hochwasser 2005 wurde zudem eine spezifisch für das Ereignis gerechnete lokale Aneichung durchgeführt, die zusätzlich allfällige lokale systematische Fehler korrigiert. Mit dieser Korrektur wurde die über das gesamte Ereignis aufsummierte Radar-Niederschlagsmenge gebietsweise an die Bodenmessungen angeeicht.

Die Fortschritte der letzten Jahre in der Datenauswertung resultieren in einer signifikanten Reduktion der Falschalarme, des Bias und der Fehlerstreuung der in Echtzeit verfügbaren Radarmessung. Mehr dazu siehe Germann et al. (2006b), Germann und Joss (2004), Joss et al. (1998) sowie Joss und Waldvogel (1990).

A1-3.7 Nominelle und effektive Auflösung des Radar-Datensatzes

Die nominelle Auflösung des Radar-Datensatzes beträgt 1 km und 1 h. Die effektive Auflösung weicht nur geringfügig von der nominellen Auflösung ab, da die MeteoSchweiz Wetterradars die Atmosphäre über der Schweiz mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung abtasten. Ein Radar-Volumen besteht aus einer 360-Grad-Abtastung auf 20 Elevationswinkeln zwischen -0.3 Grad (leicht unter dem Horizont) und 40 Grad (relativ steil nach oben). Die maximale Distanz von der Radarstation beträgt 230 km. Das Abtasten der 20 Elevationen benötigt nur gerade 5 min. Wir erhalten also alle 5 min ein einigermassen vollständiges dreidimensionales Bild der Niederschläge über der Schweiz. Die Breite eines Radarstrahles beträgt zirka 1 Grad, die rohe radiale Auflösung 80 m. Das Volumen einer Rohmessung nimmt infolge des 1-Grad-Strahles mit zunehmender Distanz zu, und zwar proportional zum Quadrat der Distanz. Es beträgt zirka 0.13 km³ in 100 km Distanz, respektive 0.52 km³ in 200 km Distanz. Für die Berechnung des 1km-Gitter-Datensatzes werden sämtliche Rohmessungen aller 20 Elevationswinkel, welche in ein 1km²-Pixel fallen, berücksichtigt. Die daraus resultierende effektive Auflösung entspricht wie oben erwähnt relativ gut der nominellen Auflösung. Da die räumliche Auflösung dieser Radarinformation (1km²)

stark von derjenigen einer Pluviometermessung (200 cm²) abweicht, sind entsprechende Niederschlagswerte nur dann vergleichbar, wenn der Niederschlag über eine genügend grosse Zeitperiode (typischerweise >12 h) aufsummiert wird. Mehr zum Thema Auflösung und Abtaststrategie siehe Joss et al. (1998).

A1-3.8 Abschattung des Radarstrahles

Das Hauptproblem der Radar-Niederschlagsschätzung in den Alpen liegt nicht in der Raum-Zeit Auflösung, sondern in der Abschattung des Radarstrahles durch die Berge und den Horizont. Als Folge davon ist die bodennahe Schicht der Atmosphäre nur gerade in nächster Nähe der drei Radarstandorte Albis (bei Zürich), Lema (bei Lugano) und La Dole (bei Genf) sichtbar. Über den Alpen sind die untersten 2–3 km der Atmosphäre oft nicht direkt sichtbar; in diesen Gebieten werden Radarsignale aus den darüberliegenden Schichten verwendet und mit raffinierten aber nicht perfekten Auswerteverfahren auf den Boden extrapoliert. Dies ist die Hauptursache für die relativ grossen Unsicherheiten (zufällige Fehler) in den Radar-Niederschlagskarten, siehe Regel 7. Mehr dazu siehe Germann et al. (2006b).

A1-3.9 Unsicherheiten im Radar-Datensatz

Die in der Regel 7 gemachten Aussagen bezüglich Unsicherheit im Radar-Datensatz basieren auf detailierten Vergleichen zwischen den operationell verfügbaren Echtzeit-Radar-Niederschlagsschätzungen und den Pluviometer-Messungen am Boden. Der zufällige Fehler sollte als «standard Fehler» interpretiert werden, d. h. als Erwartungswert des Fehlers, im Einzelfall sind kleinere/grössere Fehler möglich. Wir müssen davon ausgehen, dass diese Zahlen die reellen Unsicherheiten überschätzen, und zwar aus zwei Gründen: Erstens sind Unterschiede zwischen Radarschätzung und Bodenmessung nicht nur auf Radarfehler zurückzuführen, sondern auch auf Unsicherheiten in der Pluviometermessung, insbesondere im Gebirge sowie allgemein in konvektiven Gewitterlagen. Zweitens wurden für die Berechnung des Radar-Datensatzes für das August 2005 Hochwasser zusätzlich zu den operationellen Methoden spezifische Algorithmen entwickelt und angewandt, welche in der

Zwischenzeit bereits testweise auch in Echtzeit im Einsatz sind. Die in Regel 7 aufgeführten Zufallsfehler können also grob als obere «konservative» Grenze eines «standard Fehlers» betrachtet werden.

A1-3.10 Korrelation der Unsicherheiten im Radar-Datensatz

Die Unsicherheiten für Punktwerte im Radar-Datensatz sind nur beschränkt korreliert in Raum und Zeit. Die resultierende Unsicherheit wird also kleiner, wenn die Radarwerte zuerst über grössere Gebiete aggregiert werden.

Um die Korrelation der Unsicherheiten quantitativ auszudrücken wird bei der MeteoSchweiz zur Zeit ein weltweit neues Verfahren entwickelt, welches anstelle einer einzigen deterministischen Schätzung ein Ensemble von Radarniederschlags-Feldern generiert. Mehr dazu in Germann et al (2006a).

Literatur:

Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 215 S.

Daly C., Gibson W.P., Taylor G.H., Johnson G.L., Pasteris P. 2002: A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate, Climate Res., 22: 99–113.

Frei C. 2006: Eine Länder übergreifende Niederschlags-Analyse zum August-Hochwasser 2005: Ergänzung zu Arbeitsbericht 211. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 213: 10 pp.

Frei C., Schär C. 1998: A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. Int. J. Climatol., 18: 873–900.

Germann U., Joss J. 2004: Operational measurement of precipitation in mountainous terrain. In Weather radar: Principles and ad-vanced applications, editor P. Meischner, Springer Verlag: 52–77.

Germann U., Berenguer M., Sempere-Torres D., Salvadè G. 2006a: Ensemble radar precipitation estimation – a new topic on the radar horizon. Proc. 4th European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), Barcelona: 559–562.

Germann U., Galli G., Boscacci M., Bolliger M. 2006b: Radar precipitation measurement in a mountainous region. Q.J.R. Meteorol. Soc., 132: 1669–1692.

Joss J., Schädler B., Galli G., Cavalli R., Boscacci M., Held E., Della Bruna G., Kappenberger G., Nespor V., Spiess R. 1998: Operational Use of Radar for Precipitation Measurements in Switzerland. vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich. ISBN 3-7281-2501-6, 108 pp. An extended and partly updated version is available online at *http://www.meteoswiss.ch*, weather, current weather, radar images, expla-nations, teaser «Swiss Radar Network», click «OnlineDocumentation.pdf».

Joss J., Waldvogel A. 1990: Precipitation measurement and hydrology. In Radar in Meteorology: Battan Memorial and 40th Anniversary Radar Meteorology Conference, editor D Atlas, Amer. Meteor. Soc.: 577–597.

MeteoSchweiz 2006: Starkniederschlagsereignis 2006: Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 211: 63 pp.

Neff E.L. 1977: How much rain does a rain gage gage? J. Hydrology, 35: 213–220.

Nespor V., Sevruk B. 1999: Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation. J. Atmos. Ocean. Techn., 16: 450–464.

Richter D. 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Bericht des Deutschen Wetterdienstes, 194, 93 pp.

Schwarb M. 2001: The Alpine Precipitation Climate Evaluation of a High-Resolution Analysis Scheme Using Comprehensive Rain-Gauge Data. Diss. ETH Zürich Nr. 13911, Zürcher Klimaschriften, 80: 138 pp.

Schwarb M., Daly C., Frei C., Schär C. 2001: Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–1990: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafeln 2.6 und 2.7.

Sevruk B. 1985: Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz. In: Der Niederschlag in der Schweiz. (Ed. Sevruk B.), Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, 31: 65–75.

Shepard D.S. 1984: Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorythm. In: Spatial Statistics and Models, Ed.: Gaile G.L., Willmott C.J.: 133–145.

Widmann M., Bretherton C.S. 2000: Validation of mesoscale precipitation in the NCEP reanalysis using a new gridpoint dataset for the northwestern US.J. Climate, 13: 1936–1950.

Kontakt:

Stephan Bader Tel: 044 256 9375
MeteoSchweiz *infoclima@meteoschweiz.ch*
Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich
(Fragen zu Datenbezug, Publikationen und Registrierung).

Christoph Frei Tel: 044 256 9755
MeteoSchweiz *christoph.frei@meteoschweiz.ch*
Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich
(Fachfragen zu den Datensätzen)

A2 Längenprofile, Sohlendifferenzen, kumulierte Volumendifferenzen und Geschiebefrachten der untersuchten Flussstrecken

Abb. A2.1 > Landquart – Küblis bis Klus.

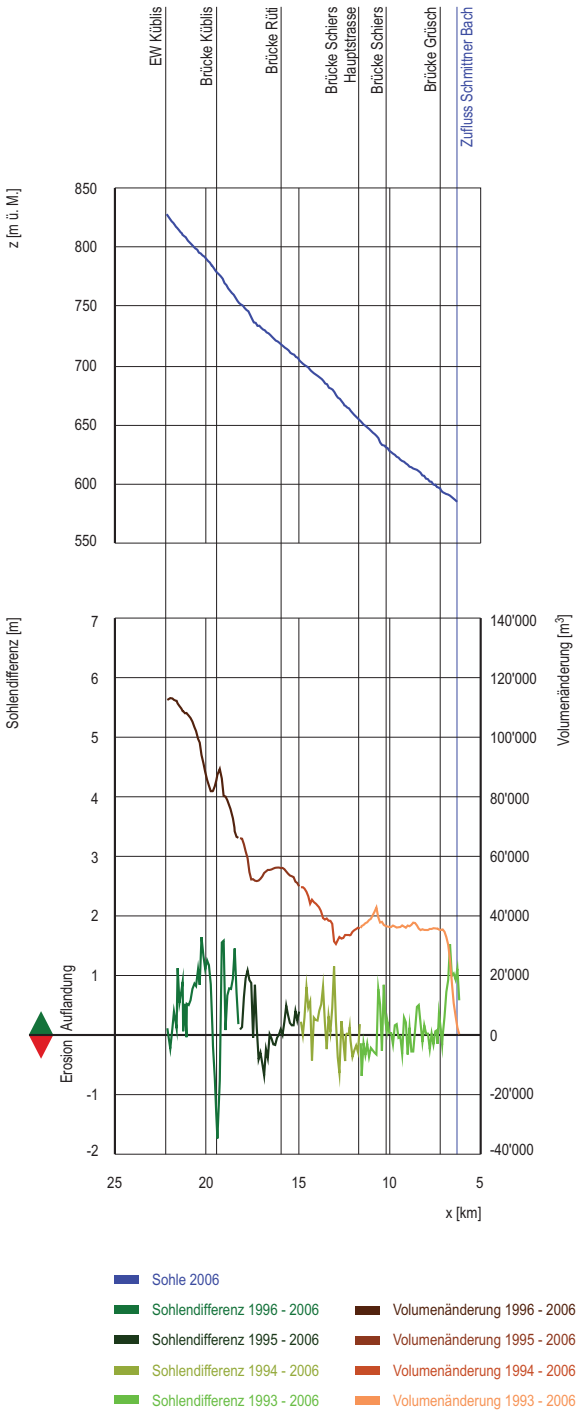


Abb. A2.2 > Linth – Linthschlucht bis Walensee.

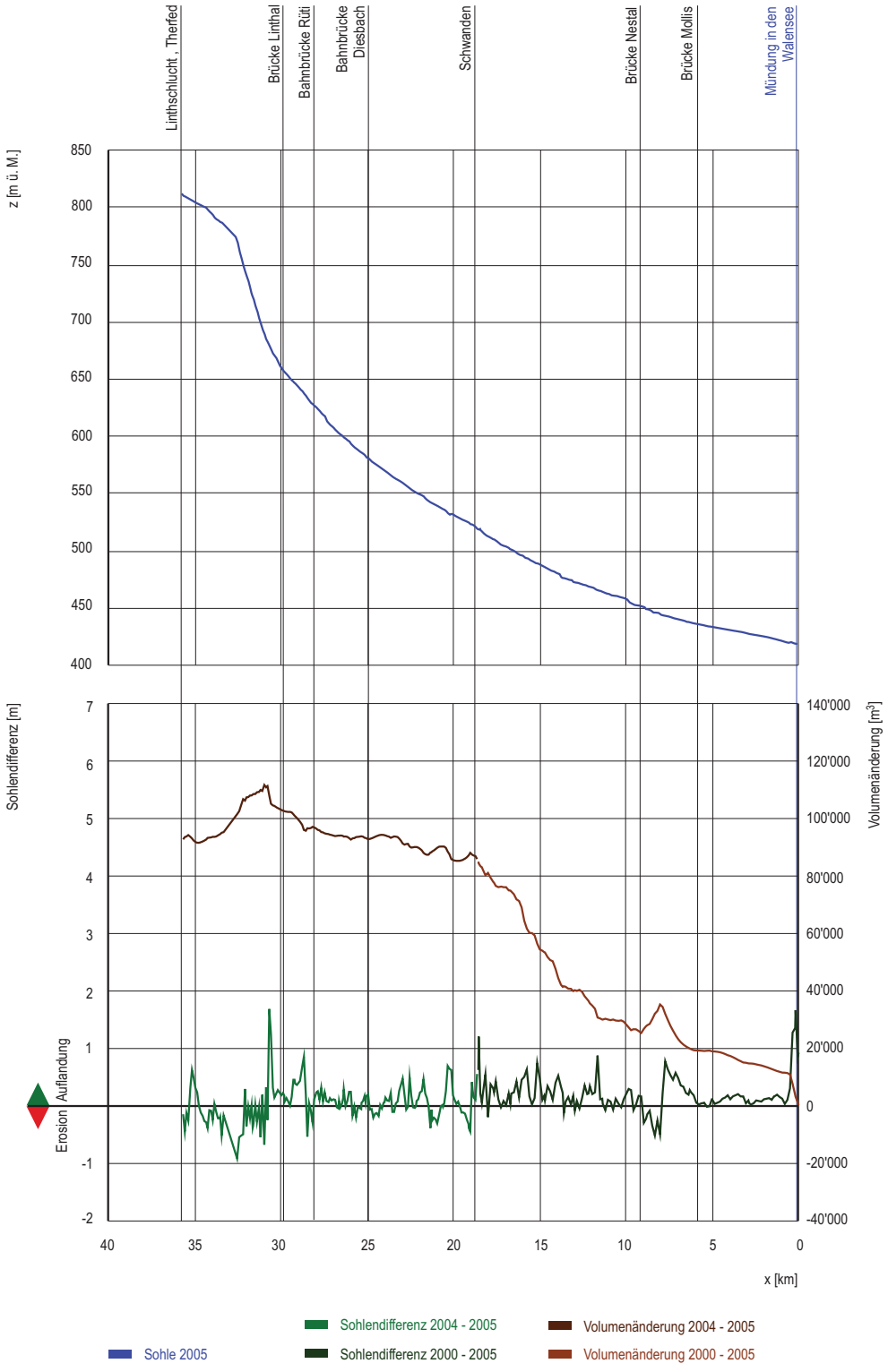


Abb. A2.3 > Thur – Uesslingen bis Rhein.

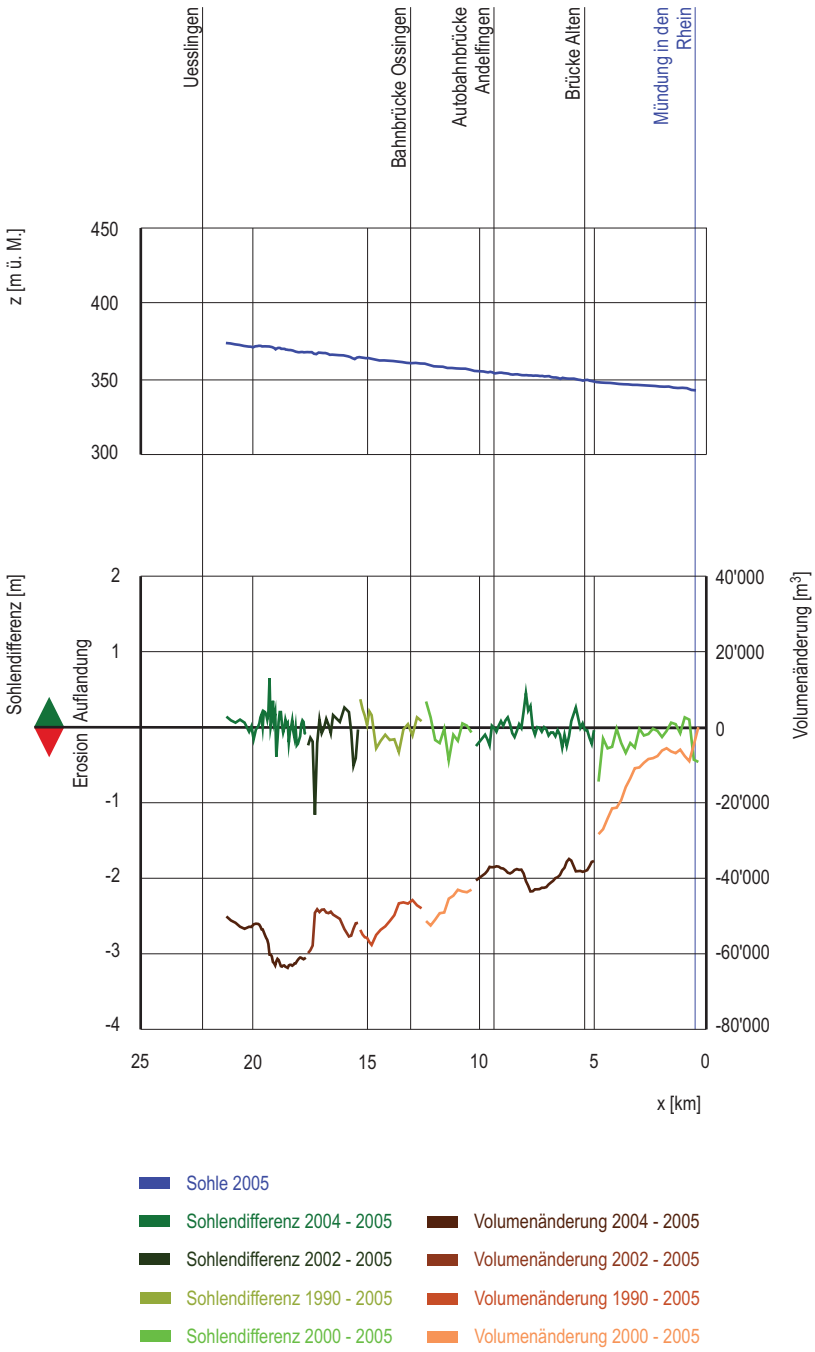


Abb. A2.4 > Engelberger Aa – Wolfenschiessen bis Buochs.

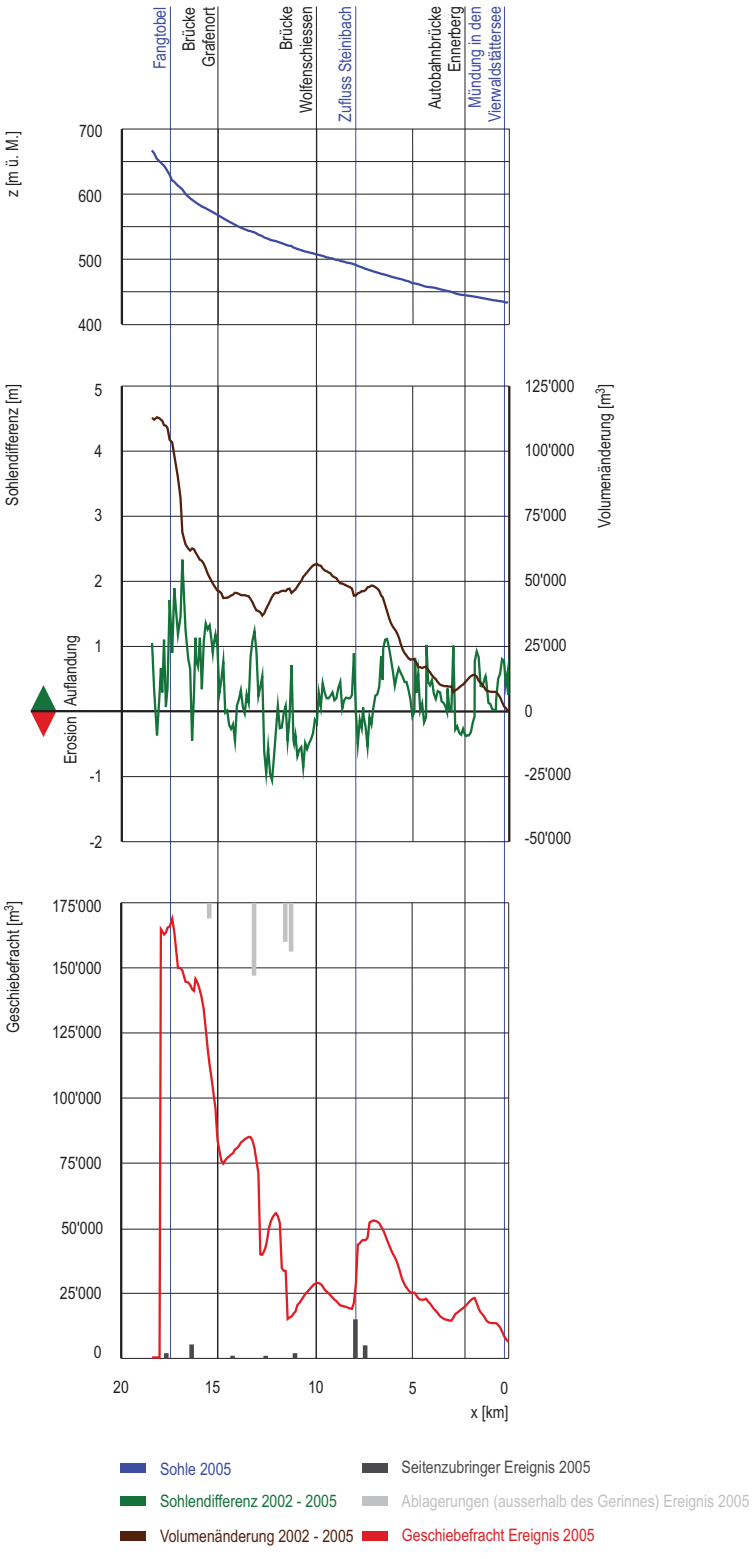


Abb. A2.5 > Ilfis – Marbach bis Emme.

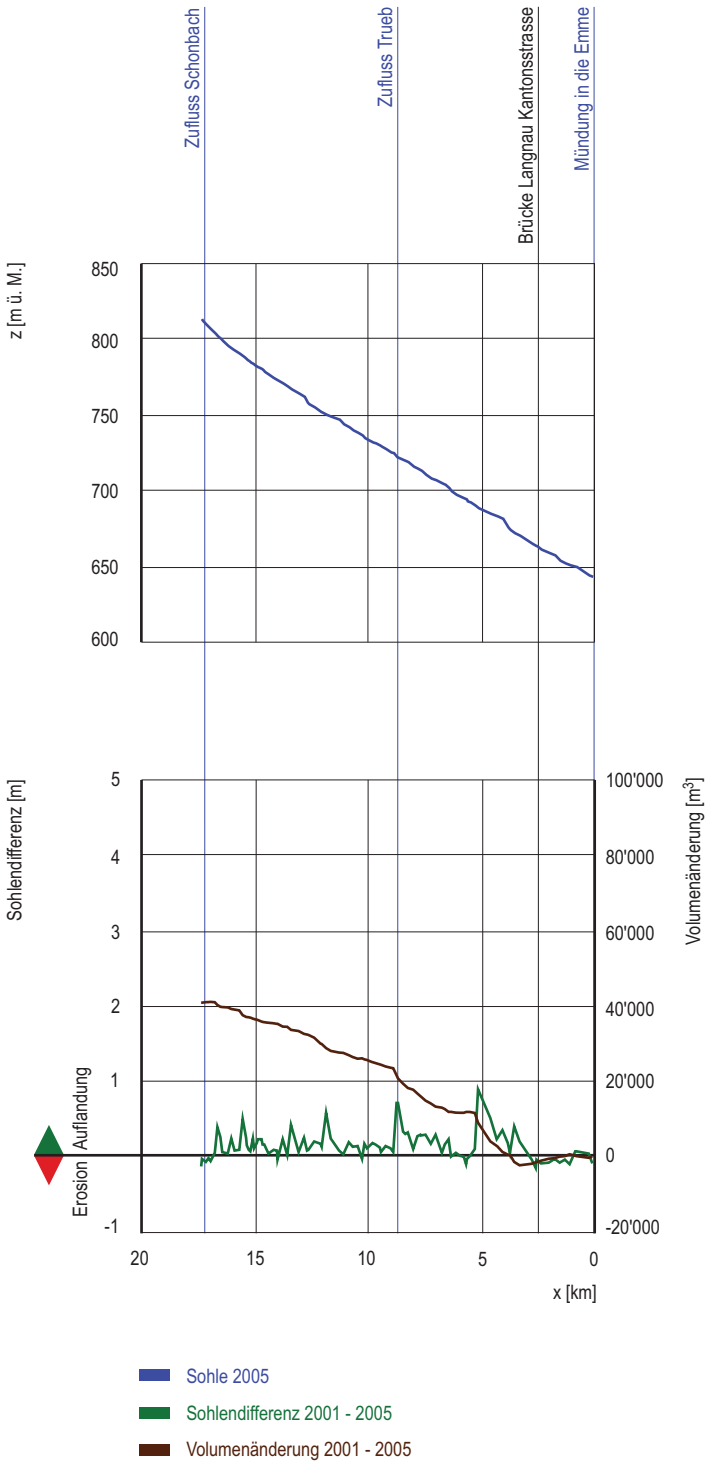


Abb. A2.6 > Emme – Emmenmatt bis Aare.

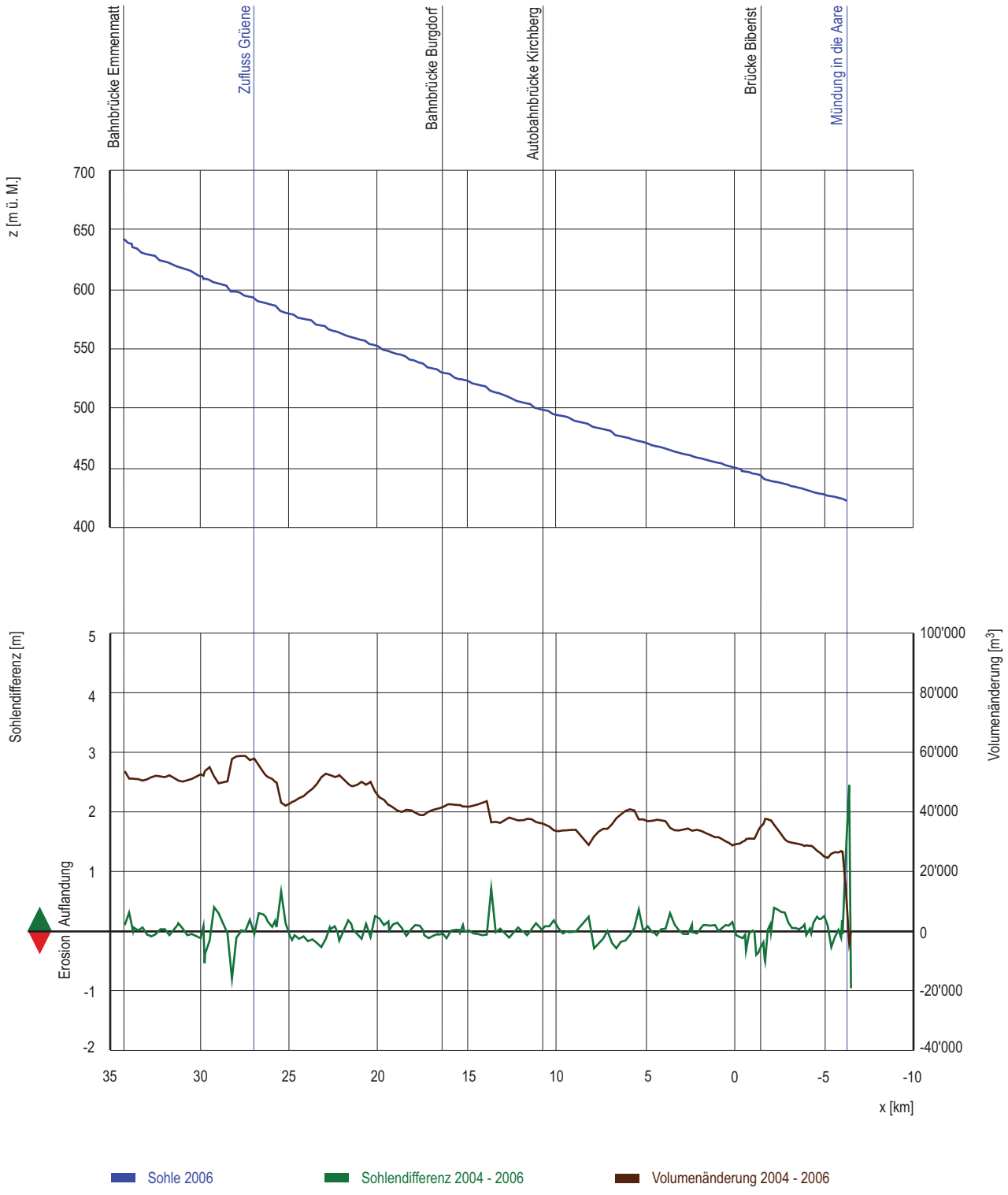


Abb. A2.7 > Schwarze Lütschine – Lütschental bis Zweilütschinen.

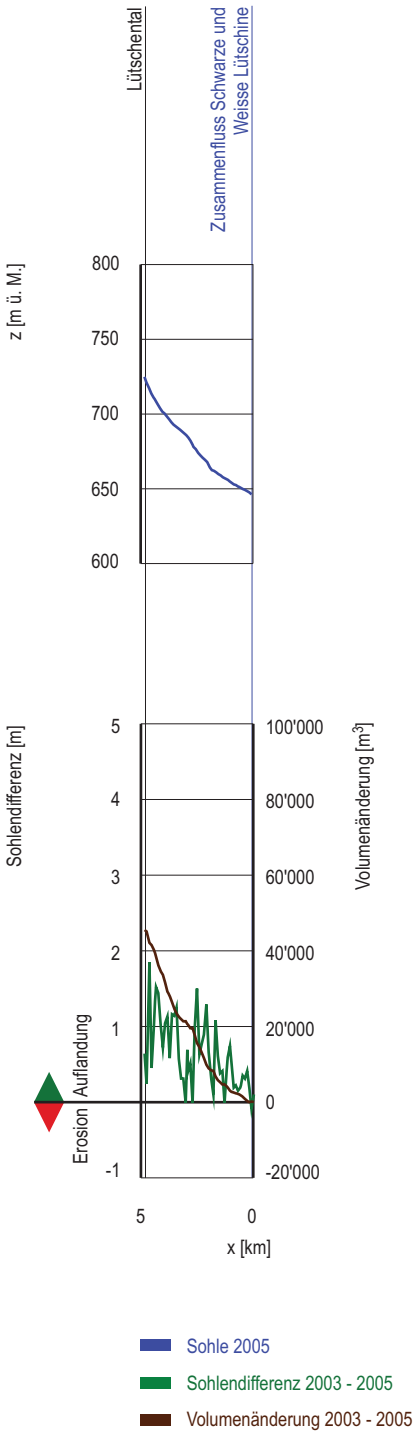


Abb. A2.8 > Weisse Lütschine – Stechelberg bis Zweilüschninen.

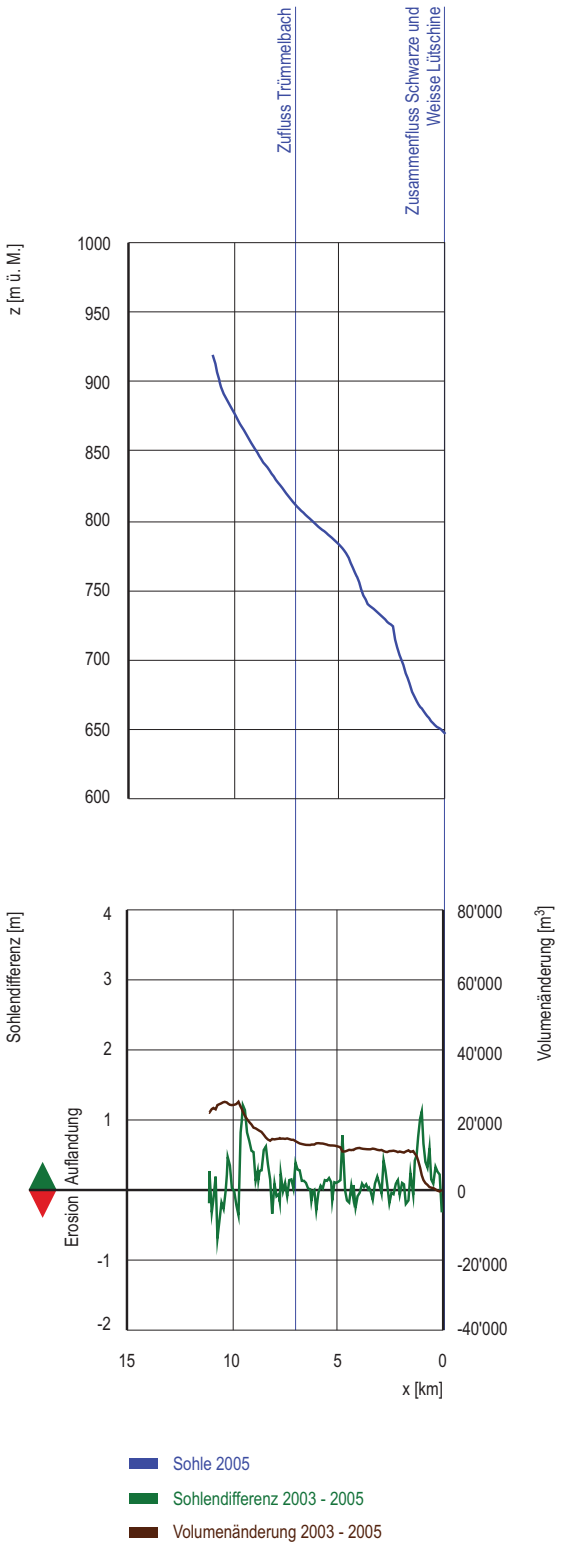


Abb. A2.9 > Lütschine – Zweilütschinen bis Brienzersee.

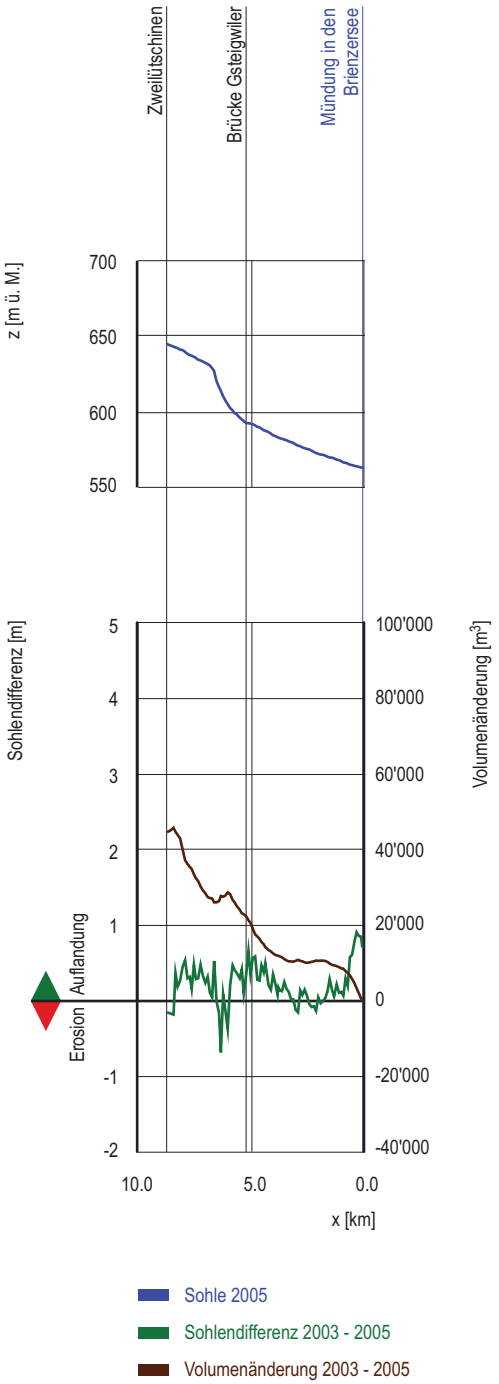


Abb. A2.10 > Kander – Frutigen bis Thunersee.

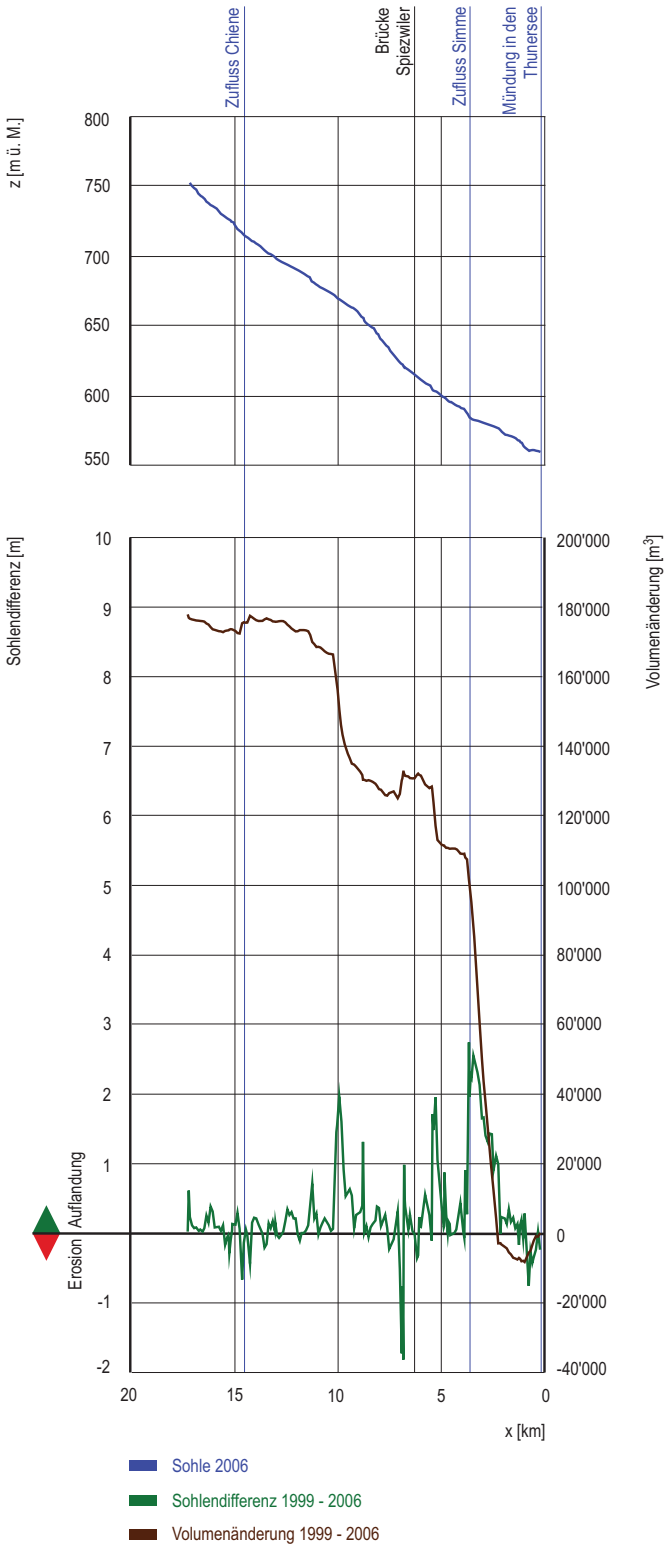


Abb. A2.11 > Simme – Erlenbach bis Kander.

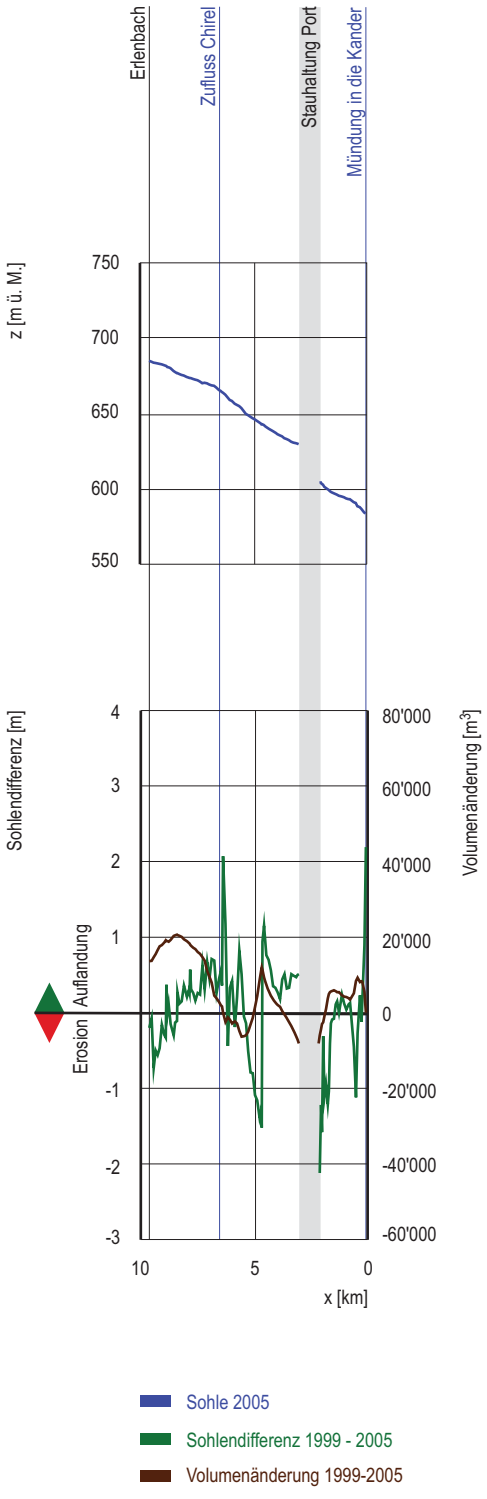


Abb. A2.12 > Aare – Inntertkirchen bis Brienzersee.

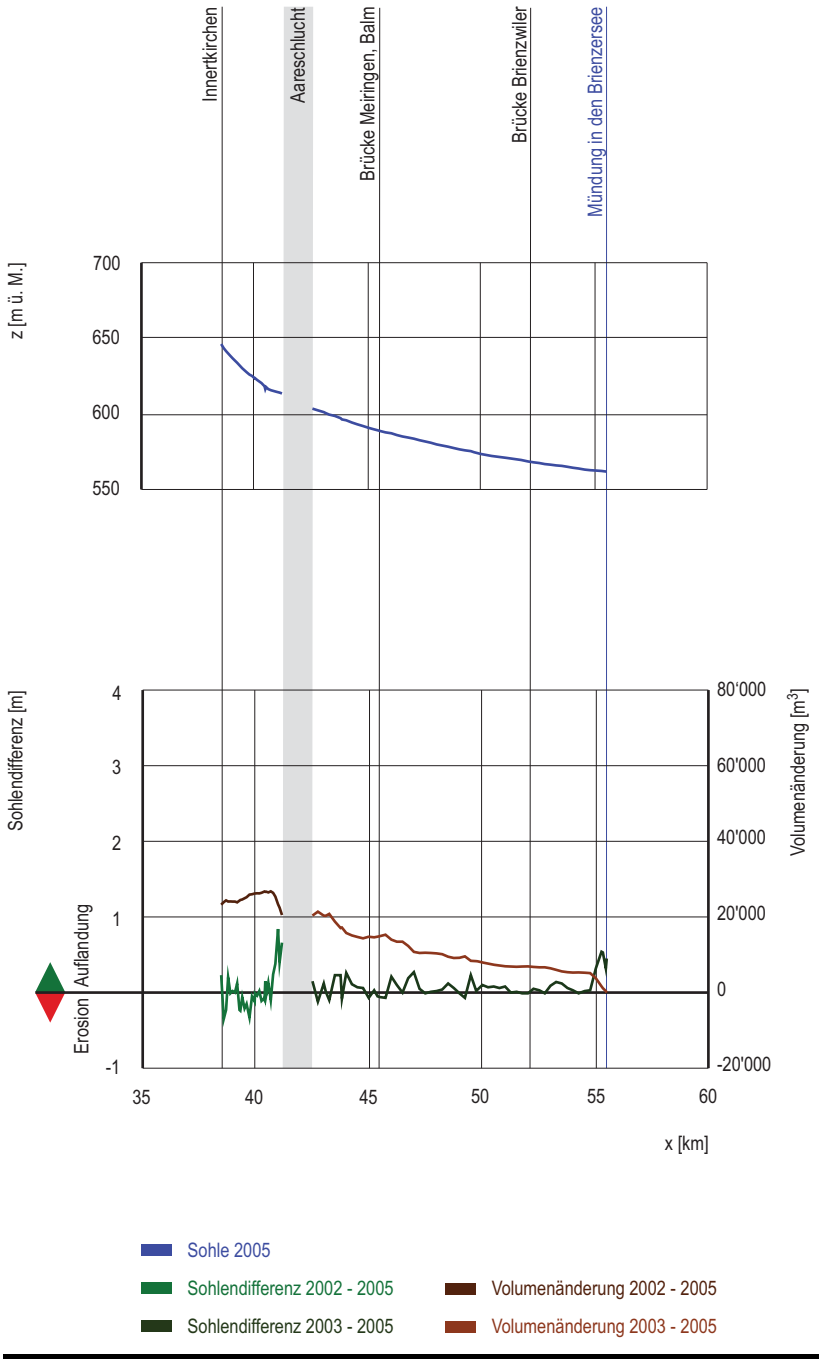


Abb. A2.13 > Aare – Thun bis Wohlensee.

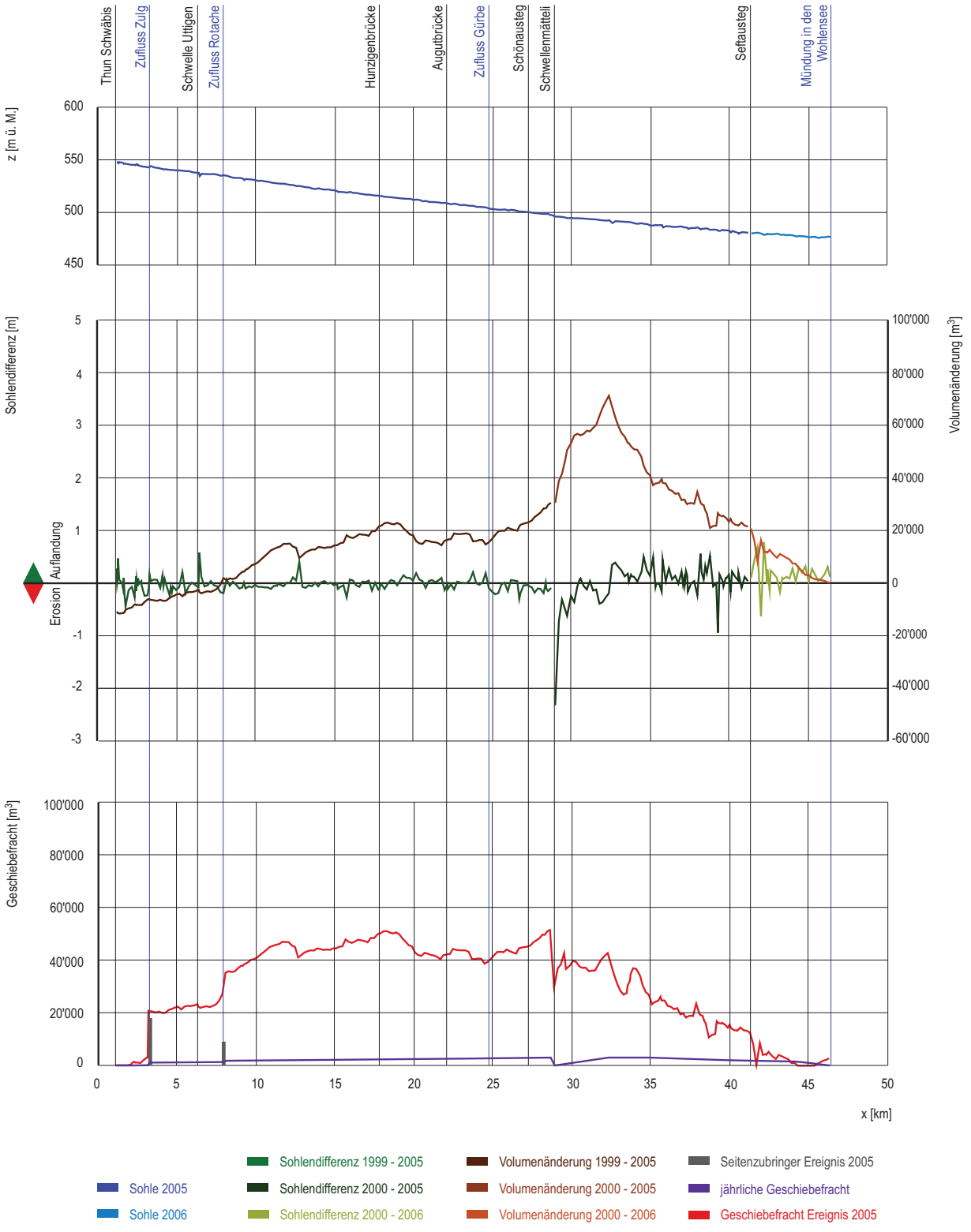


Abb. A2.14 > Aare – Wohlensee bis Bielersee.

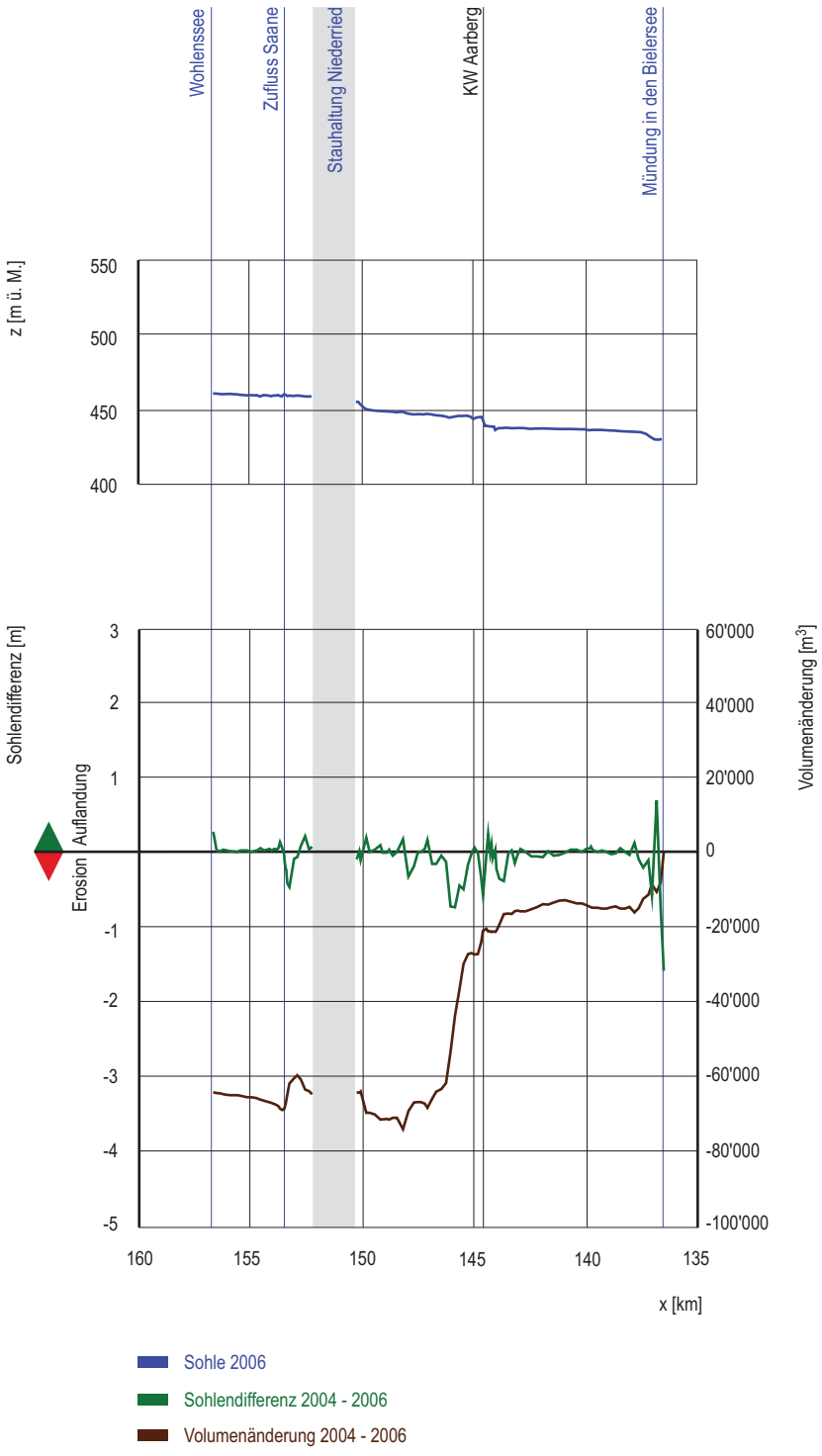


Abb. A2.15 > Kleine Emme – Doppelschwand bis Reuss.

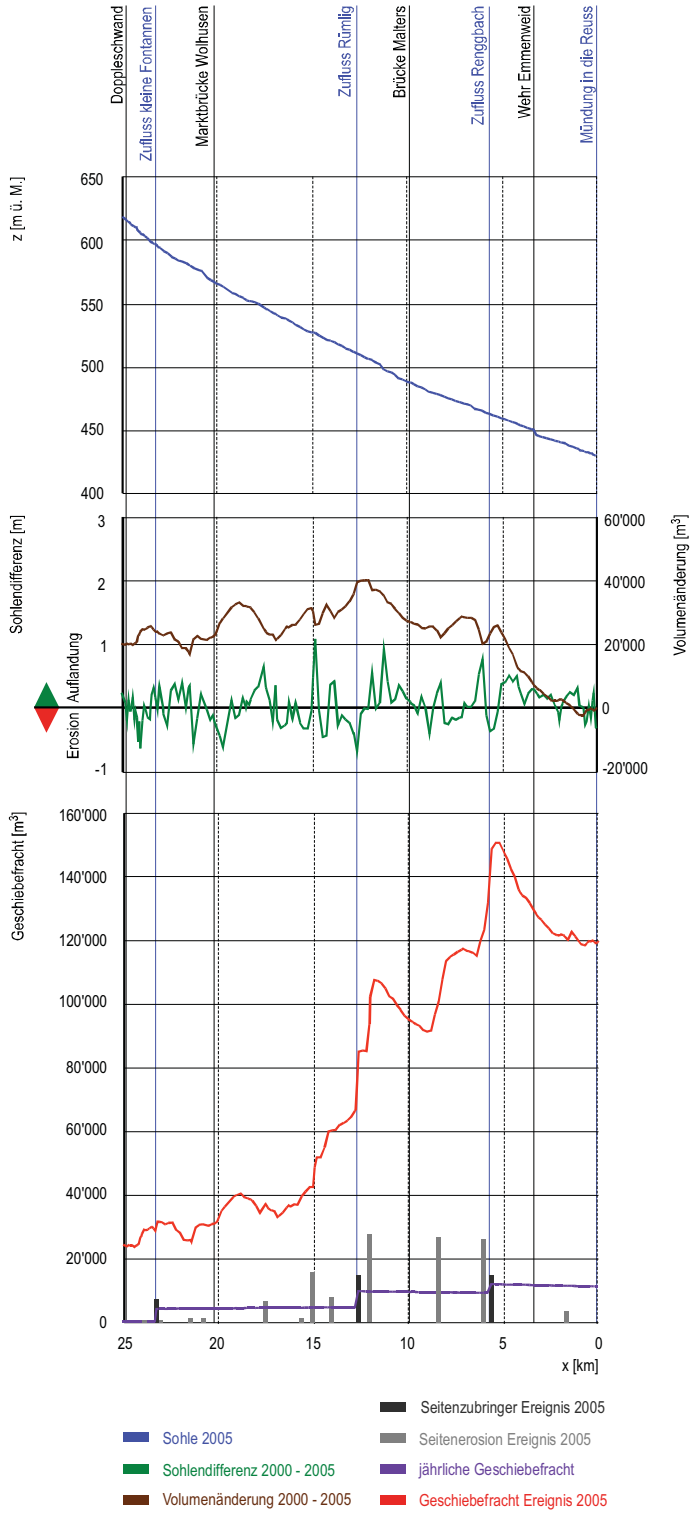


Abb. A2.16 > Reuss – Amsteg bis Urnersee.

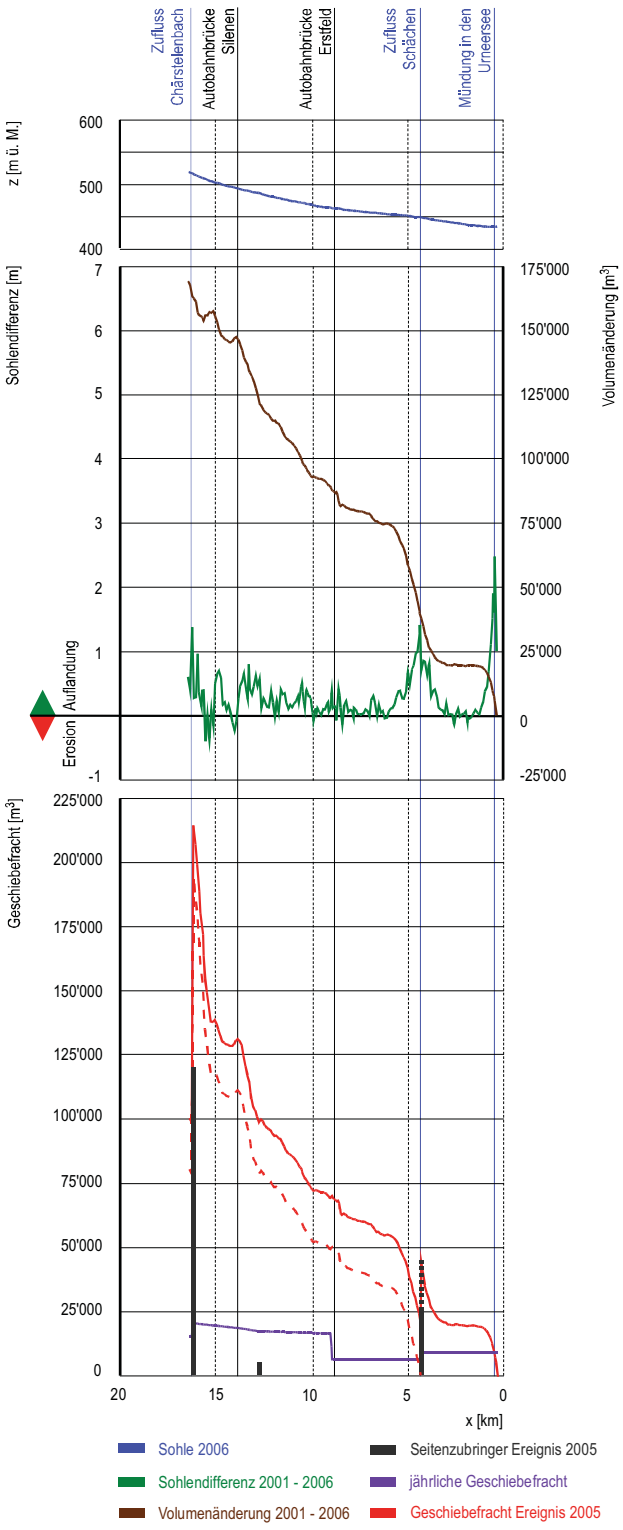


Abb. A2.17 > Reuss – Luzern bis Aare.