

## EREIGNISANALYSE HOCHWASSER 2005 IN DER SCHWEIZ

### EVENTANALYSIS OF FLOODS 2005 IN SWITZERLAND

C. Hegg<sup>1</sup>, G.R. Bezzola<sup>2</sup>, A. Koschni<sup>3</sup>

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasser vom August 2005 forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und verursachte Sachschäden in der Höhe von insgesamt 3 Mrd. Franken. Hinsichtlich der Schäden ist es somit innerhalb der letzten drei Jahrzehnte ohne Parallele. Grossflächige und lang anhaltende Niederschläge führten zu aussergewöhnlichen Abflüssen und Seeständen. Überflutung, Erosion, Übersarung, Rutschungen und Übermürung waren die massgebenden Schadensprozesse. In seiner Gesamtheit und über eine längere Zeitperiode betrachtet, ist das Ereignis aber nicht als aussergewöhnlich, sondern höchstens noch als selten zu bezeichnen. Mit dem wiederholten Auftreten ähnlicher Hochwasser muss auch in Zukunft gerechnet werden.

**Keywords:** Hochwasser, Ereignisanalyse, seltenes Naturereignis

#### ABSTRACT

The flood of August 2005 resulted in six casualties and caused total property damages of three billion Swiss Francs. With regard to the damages the event is thus without parallels within the last three decades. Continuing precipitations over large areas led to exceptionally large discharges and high lake levels. Flooding, erosion, overbank sedimentation, landslides and debris flow deposition were the dominant damage causing processes. When considering the entire event and a longer period of time, the event is rare, but not exceptional. Therefore, flood events of similar magnitude and extent have to be expected in the future.

**Keywords:** Flood, event analysis, rare natural event

#### EINFÜHRUNG

Mit Gesamtschäden von rund 3 Mrd. Franken übertrifft das Hochwasser vom August 2005 deutlich alle anderen Naturereignisse seit 1972, dem Beginn der systematischen Erfassung der Unwetterschäden. Das Hochwasser forderte 6 Todesopfer und führte mancherorts zu einer

---

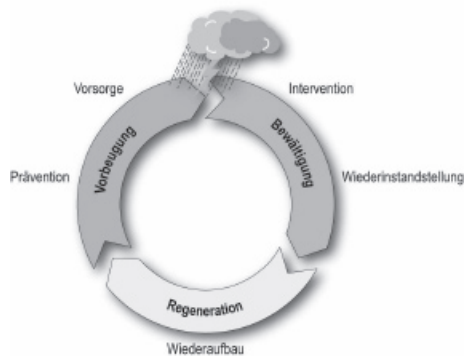
<sup>1</sup> Stv. Direktor a.i. und Programmleiter, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz (Tel.: +41-(0)44-739-24-88; Fax: +41-44-739-22-15; email: christoph.hegg@wsl.ch)

<sup>2</sup> Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, 3003 Bern, Schweiz

<sup>3</sup> Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

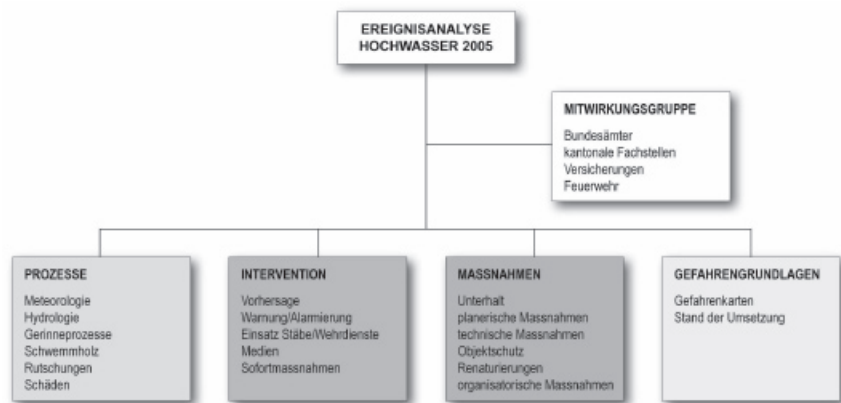
Überforderung der lokalen Einsatzkräfte. In der Schweiz war der gesamte Alpennordhang zwischen der Sarine und dem Alpenrhein betroffen. Nach Osten erstreckte sich das betroffene Gebiet bis in die Region Salzburg / Österreich hinein und nach Norden bis Südbayern / Deutschland.

Ereignisse wie das Hochwasser vom August 2005 bieten eine gute Gelegenheit, aussergewöhnliche Naturereignisse umfassend zu untersuchen und Lehren im Umgang mit ihnen zu ziehen. Im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 werden – entsprechend dem Modell des integralen Risikomanagements (vgl. Abb. 1) – 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. Die vorliegende Publikation fasst die wichtigsten Ergebnisse des ersten Teils dieser Analyse zusammen, welche in Bezzola und Hegg (2007) im Detail erläutert werden. Dabei werden in erster Linie die aufgetretenen Prozesse erläutert und die Niederschlags- und Abflussvorhersagen analysiert. Für die detaillierte Beschreibung der aufgetretenen Schäden und eine erste Einordnung sei auf Hilker et al. (2008) verwiesen.



**Abb. 1:** Kreislauf des integralen Risikomanagements (nach PLANAT, 2003)  
**Fig. 1:** Circuit of integral risk management (after PLANAT, 2003)

An der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 sind zahlreiche Fachleute aus verschiedenen Institutionen beteiligt. Ausdruck dieser Vielfalt sind die etwa 50 Verträge, welche das Bundesamt für Umwelt im Zusammenhang mit diesem Projekt erstellt hat. Die Bearbeitung der einzelnen Teilprojekte erfolgt partnerschaftlich durch die betroffenen Fachstellen des Bundes und Partner aus dem universitären bzw. dem privatwirtschaftlichen Bereich. Die massgebenden Experten sind direkt in die Projektorganisation eingebunden und wirken als Leiter von Teilprojekten. Damit wird eine möglichst grosse Objektivität bei der Untersuchung sichergestellt. Gleichzeitig gewährleistet dieses Vorgehen auch eine direkte Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in der Verwaltung. Die Anliegen der nicht direkt in der Projektorganisation vertretenen Fachstellen von Bund und Kantonen sowie weiterer Institutionen werden durch eine Koordinations- und Mitwirkungsgruppe eingebracht.

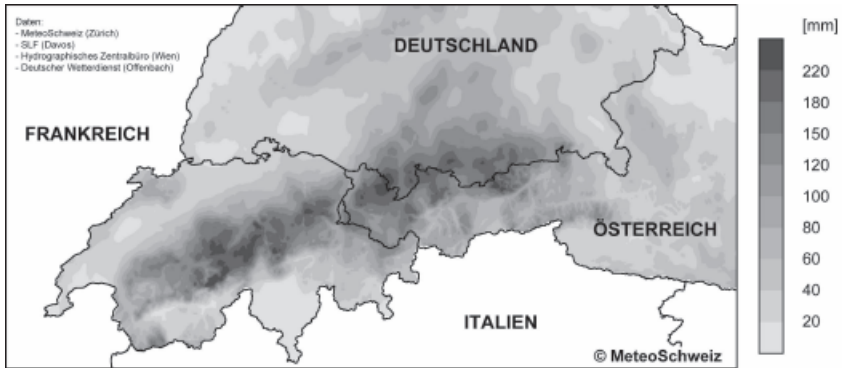


**Abb. 2:** Struktur des Projekts Ereignisanalyse Hochwasser 2005

**Fig. 2:** Structure of the project event analysis flood 2005

## METEOROLOGIE

Auslöser für die grossflächigen Starkniederschläge im August 2005 war ein stabiles Tiefdrucksystem südlich der Alpen, welches feuchte Luftmassen an den Alpennordrand führte. Am Alpennordhang ergaben sich dadurch am 21. und 22. August weiträumig Niederschläge von deutlich über 100 mm in 48 Stunden. Auf einer Fläche von gut 1200 km<sup>2</sup> fiel ein Niederschlag von mehr als 200 mm. Das gesamte Niederschlagsvolumen über den Gebieten, die mehr als 100 mm erhalten haben, beträgt rund 1 km<sup>3</sup>. Dies entspricht etwa einem Viertel des Volumens des Zürichsees oder dem 12-fachen mittleren Tagesabfluss des Rheins bei Basel. An einigen Stationen resultierten Niederschläge, wie sie in den teilweise über 100 Jahre langen Messreihen bisher nicht beobachtet wurden. Entsprechend wurden für einzelne Stationen im Berner Oberland und der Zentralschweiz teilweise sehr lange statistische Wiederkehrperioden von mehreren hundert Jahren ermittelt. Dies bedeutet jedoch nicht a priori, dass das Ereignis als Ganzes aussergewöhnlich selten ist. Ausser in kleinen Einzugsgebieten ist für den Abfluss primär nicht der an den Niederschlagsstationen gemessene Punktniederschlag massgebend, sondern der Niederschlag über dem gesamten Gebiet. Die Wiederkehrdauer des Gebietsniederschlags über dem betroffenen Gebiet beträgt knapp 80 Jahre. Entsprechend ist das Niederschlagsereignis vom August 2005 zwar selten, aber nicht aussergewöhnlich. Mit vergleichbaren Niederschlagsereignissen muss demnach auch in Zukunft gerechnet werden. Wie die Auftretenswahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse durch die Klimaänderung beeinflusst wird, lässt sich zum heutigen Zeitpunkt allerdings noch nicht schlüssig beantworten.



**Abb. 3:** Zweitagesniederschläge beim Hochwasser vom August 2005 in Schweiz, Österreich und Deutschland  
**Fig. 3:** 48h rainfall during the flood event of August 2005 in Switzerland, Austria and Germany

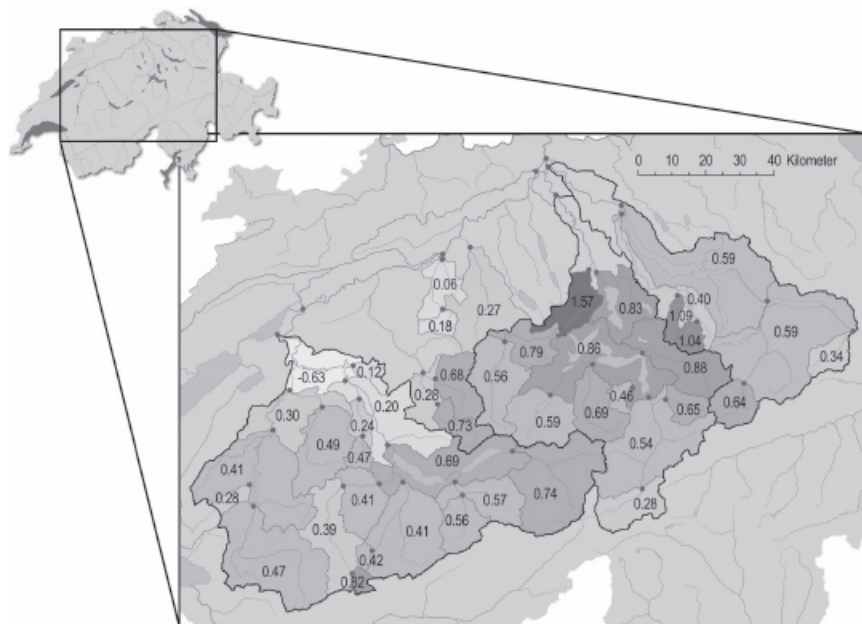
Die Kommission für Hochwasserschutz (KOHS) des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes kommt deshalb für den Hochwasserschutz zum Schluss, dass in der Schweiz derzeit verlässliche Grundlagen fehlen, um die Folgen der Klimaänderung bei der Ermittlung der Dimensionierungsgrößen für Hochwasserschutzmassnahmen quantitativ zu berücksichtigen. Die heute gültigen Grundsätze des Hochwasserschutzes, die auf robusten und überlastbaren Massnahmen aufbauen, weisen - obwohl nicht auf Klimaänderung ausgerichtet - eine grosse Flexibilität auf. Sie erlauben über die Berücksichtigung entsprechender Szenarien ein Eingehen auf Veränderungen. Aufgrund dieses vorläufig eher qualitativ ausgerichteten Vorgehens kommt der Betrachtung von Überlastszenarien, welche den Dimensionierungsfall deutlich übertreffen, eine grosse Bedeutung bei (KOHS, 2007).

## HYDROLOGIE

Das Hochwasser vom August 2005 stellt insgesamt das grösste Ereignis dar, welches das Schweizer Abflussmessnetz bisher registriert hat. Spitzenwerte wurden vor allem an den Abflussmessstationen in der Innerschweiz und im Berner Oberland registriert, also im Zentrum des Niederschlagsgebietes. Relativ stark betroffen war auch das gesamte Einzugsgebiet der Aare im Schweizer Mittelland, wo sich die Abflüsse aus den vom Niederschlagszentrum betroffenen Regionen vereinen. Nach dem Zusammenfluss mit dem Rhein, dessen Einzugsgebiet vom Niederschlag weniger betroffen war, nahm die Bedeutung des Ereignisses ab. Im betroffenen Gebiet liegen 94 Abflussmessstationen. Bei 32 Stationen wurden neue Höchstwerte gemessen, bei 16 Stationen lag der Abfluss sogar mehr als 25 % über dem bisherigen Maximum. Unter den Stationen mit längeren Messreihen fallen vor allem die Engelberger Aa bei Buochs und die Sarner Aa bei Sarnen auf. An der Engelberger Aa lag der Abfluss im August 2005 rund 85 % über dem zuvor beobachteten Maximum. In der Sarner Aa, wo die Abflüsse seit 1923 gemessen werden, floss im August fast 2.5-mal mehr Wasser als beim bisher grössten Ereignis ab. Die statistische Einordnung solcher hohen Abflusswerte ist schwierig und Unsicherheiten im Bereich eines Faktors 2 und mehr sind möglich. Ein Abflusswert, der sich statistisch kaum einordnen lässt, muss aber nicht unbedingt falsch sein. Solche Werte können zustande kommen, wenn ab einer gewissen Niederschlagsmenge andere Abflussbildungs- und Konzentrationsprozesse ablaufen, die sich

nur durch aufwändige hydrologische Detailuntersuchungen identifizieren lassen. Beispiele dazu und Möglichkeiten ihrer statistischen Bearbeitung werden im zweiten Teil der Ereignisanalyse untersucht.

Das hydrometrische Messnetz hat sich 2005 generell bewährt. Probleme bei der Verbreitung der erhobenen Informationen während des Ereignisses wurden erkannt und sind teilweise bereits behoben worden. Die Qualität der erhobenen Daten kann als befriedigend bis gut bezeichnet werden. Mittels Gebietsbilanzen erfolgte eine Plausibilisierung der Abfluss- und Niederschlagsdaten. Der Vergleich der Gebietsniederschläge, Spitzenabflüsse, Abflussvolumen und Volumenabflusskoeffizienten der vom Hochwasser 2005 betroffenen Gebiete zeigt, dass die erhobenen Abfluss- und Niederschlagsdaten weitgehend plausibel sind. Sehr hohe oder sehr tiefe Volumenabflusskoeffizienten lassen sich in der Regel durch entsprechende Niederschläge, Rückhalt oder anthropogene Eingriffe erklären. Nur bei wenigen Einzugsgebieten lassen sich heute keine plausiblen Erklärungen für auffallend grosse oder kleine Werte finden.



**Abb. 4:** Volumenabflusskoeffizienten im Schweizer Hauptniederschlagsgebiet vom 18.8.2005 12:00 bis 23.8.2005 12:00 (Bezzola und Hegg: 67)

**Fig. 4:** volumetric runoff coefficient between 18.8.2005 12:00 and 23.8.2005 12:00 (Bezzola and Hegg: 2007: 67)

Für die grossen Voralpenseen war das Hochwasser vom August 2005 ein aussergewöhnliches Ereignis, das vor allem am Sarnersee, Brienersee, Thunersee und Bielersee zu Rekordwasserständen führte. Die Intensität des Ereignisses nahm gegen Osten hin ab. Der Vierwaldstättersee blieb knapp unter der bisherigen Rekordmarke von 1910 und der Zürichsee erreichte

den dritthöchsten Stand seit 1953. Ausserordentlich waren im August 2005 die grossen Zuflussvolumina innerhalb von 2–5 Tagen, die zu extrem raschen Seeanstiegen führten. Am Walensee, Sarnersee und Brienersee betrug der Seeanstieg über 1 m pro Tag, am Vierwaldstättersee, Thunersee und Bielersee zwischen 60 und 80 cm. Die maximalen täglichen Zuflussvolumina waren zum Teil doppelt so hoch wie die bisher beobachteten Werte. Durch den Rückhalt in den Seen wurden diese Zuflüsse markant gedämpft, so dass die Ausflüsse im Mittel nur noch halb so gross waren. Über alle Seen betrachtet, betrug der Rückhalt rund 720 Mio. m<sup>3</sup>. Dies entspräche z.B. einem Anstieg des Pegels des Bodensees um über 1,3 Meter. Beim Neuenburgersee würde der Anstieg sogar 3,3 Meter ausmachen.

Letztlich sind bei jedem See sowohl der Speicherraum als auch die Ausflusskapazität begrenzt. Das Ereignis vom August 2005 hat in vielen Fällen diese Grenzen aufgezeigt. Je grösser der Zufluss zu einem See ist, desto weniger kann der sich ergebende Seestand beeinflusst werden. Deshalb ist es wichtig, dass sich Seeanstösser durch eine geeignete Abdichtung ihrer Gebäude gegen hohe Grundwasserstände und hohe Seespiegel schützen.

Die Analyse der durch Kraftwerksspeicher beeinflussten Einzugsgebiete der Sarine, der Aare bis zum Brienersee, der Urner Reuss und der Glarner Linth zeigt, dass diese Speicher einen massgeblichen Einfluss auf die Abflüsse während des Hochwassers vom August 2005 hatten. So führte der Rückhalt in den Speicherseen zu einer Reduktion der Abflussspitzen in der Sarine bei Laupen von 12 %, in der Aare bei Brienzwiler von 24 %, in der Reuss bei Seedorf von 11 % und in der Linth bei Mollis von 22 %. Ohne den Einfluss der Kraftwerksspeicher wären in den natürlichen Seen noch höhere Seestände erreicht worden. Die Minderung der maximalen Seestände infolge des Rückhalts in den Speicherseen betrug beim Walensee und Brienersee rund 30–35 cm, beim Thuner- und Bielersee rund 10 cm und beim Vierwaldstättersee 4 cm. Wegen des grossen Dämpfungseffekts war der Einfluss der Kraftwerksspeicher flussabwärts der grossen Voralpenseen relativ bescheiden. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Wirkung der Kraftwerke selbst bei einem derartigen Grossereignis noch nicht erschöpft war. Im Fall des Grimselsees wurde dies durch den Umstand begünstigt, dass infolge Revision der Seestand zu Beginn des Ereignisses aussergewöhnlich tief war.

## **GERINNEPROZESSE**

Insgesamt waren die Wildbäche im betroffenen Gebiet nur mässig aktiv. So waren in etwa 25 Einzugsgebieten grössere Murgangereignisse zu verzeichnen. Die Anzahl der Einzugsgebiete mit ausserordentlich grossen fluvialen Feststoffumlagerungen ist sogar noch etwas kleiner. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die gebietsspezifischen Niederschlags-Schwellwerte zur Auslösung von Murgängen bzw. zur Mobilisierung grösserer Feststofffrachten nur in vereinzelten Gebieten erreicht oder überschritten wurden. Oft spielten bei grösseren Ereignissen in den Wildbächen einzelne Rutschungen eine massgebliche Rolle.

Im Niederschlagsgebiet waren praktisch alle Gebirgsflüsse von Geschiebetransport und Seitenerosion betroffen, die Abflusskapazität wurde in der Regel nicht überschritten. Geschiebeablagerungen und Verklausungen führten jedoch lokal zu Ausuferungen und Überflutungen. Die Kategorie der betroffenen Gebirgsflüsse umfasst rund 20 Gewässer oberstrom der Voralpenseen mit einer Gerinnelänge von insgesamt 220 km.

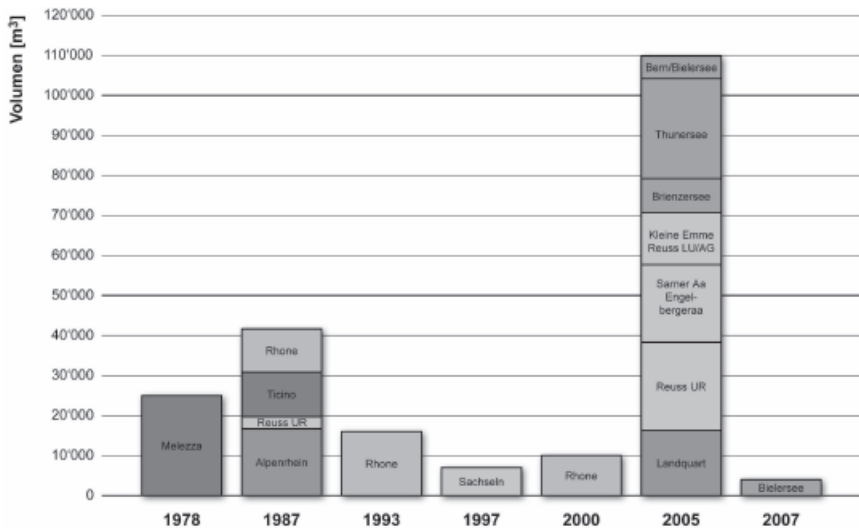


**Abb. 5:** Gerinneverlagerungen der Landquart oberhalb von Klosters GR (Foto: Schweizer Luftwaffe)  
**Fig. 5:** channel erosion in the Landquart river upstream of Klosters GR (photo: Swiss Air Force)

Bei den grossen Talflüssen flussabwärts der Alpenrandseen (z.B. Aare flussabwärts von Thun, Reuss flussabwärts von Luzern) führte trotz der ausgeprägten Dämpfung durch die Seen primär die Überschreitung der Abflusskapazität zu Schäden. Bei den Talflüssen ohne Dämpfung durch einen grossen Alpenrandsee (z.B. Kleine Emme, Emme, Linth) war die Seitenerosion der dominante Prozess. Weiter gab es verbreitet Schäden an Orten wo die Abflusskapazitäten überschritten wurden (vgl. auch Rickenmann et al., 2008).

## SCHWEMMHOLZ

Durch Verklauungen von Schwemmh Holz an Brücken und Wehren kam es an verschiedenen Orten zu Gerinneausbrüchen und Überschwemmungen. Die erfassten Schwemmh Holzablagerungen umfassten etwa 110'000 m<sup>3</sup>. Da viele kleinere Ablagerungen nicht erfasst wurden, dürfte die gesamte während des Ereignisses angefallene Menge diesen Wert deutlich übersteigen. In vier Wildbächen lief bereits vor dem Ereignis 2005 eine Fallstudie zur Schwemmh Holzsituation (Rickli und Bucher, 2006). In diesen Wildbächen konnten deshalb vergleichende Erhebungen nach dem Hochwasser durchgeführt werden. Da die betrachteten Wildbäche im August 2005 keine extremen Abflüsse führten, war der Schwemmh Holztransport in diesen Bachläufen klein. Durch Rutschungen und Ufererosion wurden aber grössere Holz mengen in die Gerinne verlagert und dadurch das Schwemmh Holzpotenzial für zukünftige Ereignisse erhöht. Auf Grund der Niederschlags situation dürfte dies auch für viele andere Wildbäche mit kleinen Einzugs gebieten (unter 3 km<sup>2</sup>) zutreffen.



**Abb. 6:** Erfasste Schwemmh Holzablagerungen in der Schweiz nach verschiedenen grösseren Hochwasserereignissen in den letzten Jahrzehnten. (verwendete Grundlagen: Rickenmann (1997), BW (1998), Petrascheck und Hegg (2002), Bezzola und Hegg (2007))

**Fig. 6:** Driftwood depositions assessed in Switzerland after major flood events in the last decades. (based on: Rickenmann (1997), BW (1998), Petrascheck und Hegg (2002), Bezzola und Hegg (2007))



Nach dem Ereignis wurden zudem an gut 15 Standorten grosse Schwemmholzablagerungen detailliert untersucht. Teilweise handelte es sich dabei um Ablagerungen in Gerinnen, zum grossen Teil aber um Haufen, die im Rahmen von Schwemmholzräumungen aufgetürmt wurden. Diese Analysen zeigten, dass grosse Mengen des untersuchten Schwemmholzes erst während des Hochwassers in die Gewässer eingetragen wurden. Gesamthaft lag der Frischholzanteil bei rund 60 % und der Bau- und Brennholzanteil bei knapp 10 %. Damit ist die Zusammensetzung mit jener vom Hochwasser im August 1987 im Goms vergleichbar. Rund 15 % des Schwemmholzes wies Borkenkäferspuren auf, wie sie bei Totholz häufig anzutreffen sind. Im Prättigau, in Sarnen, am Briener- und Thunersee war der Anteil der Baumarten hoch, welche für Uferbestockungen entlang von Flussläufen typisch sind. Dies belegt, dass ein beachtlicher Anteil des Schwemmholzes aus frischen Uferanbrüchen bzw. Seitenerosionen entlang der betreffenden Gewässer stammt. Entsprechend ist die Wirkung von Massnahmen zur Entfernung von Totholz aus Gerinnen begrenzt und in bewaldeten Gebieten muss bei grossen Ereignissen immer mit Schwemmholz gerechnet werden.

## RUTSCHUNGEN



**Abb. 7:** Die Rutschung Mosingen nahe Entlebuch in der Zentralschweiz am 23. August 2005 (Foto: Schweizer Luftwaffe)

**Fig. 7:** The Mosingen landslide near Entlebuch in Central Switzerland on the 23<sup>rd</sup> of August 2005 (photo: Swiss Air Force)

Insgesamt wurden beim Hochwasser vom August 2005 annähernd 5000 Rutschungen unterschiedlicher Grösse registriert. Die ersten Ergebnisse aus der Untersuchung zu den mittel- bis tiefgründigen Rutschungen zeigten, dass diese Prozesse oftmals in Gebieten mit kritischer geologischer Disposition auftraten. Es bestätigen sich Erkenntnisse aus früheren

Ereignissen, wonach Hanginstabilitäten zu einem sehr grossen Teil innerhalb bestehender, teils alter Rutschzonen und geologischer Störungszonen auftreten. Die Analyse der flachgründigen Rutschungen erfolgte in drei Untersuchungsperimetern an Hand eines kleinen Ausschnittes der abgelaufenen Prozesse. Diese Analysen sind noch im Gang. Ergebnisse bezüglich der Neigungsverhältnisse am Standort der Rutschungen, der Rutschvolumina und zum Auslauf der Rutschmassen stimmen mehrheitlich mit jenen früherer Untersuchungen überein (vgl. z.B. Rickli, 2001).

## **NIEDERSCHLAGS- UND ABFLUSSVORHERSAGEN**

Das Ereignis vom August 2005 hat deutlich die Probleme und Grenzen aufgezeigt, die in der Vorhersage von seltenen Naturereignissen bestehen. Diese sind einerseits grundsätzlicher Art, andererseits haben auch technische, strukturelle und organisatorische Schwierigkeiten eine massgebliche Rolle gespielt. Erstere müssen im Vorhersagewesen berücksichtigt werden. Entsprechende Konsequenzen werden weiter unten erläutert. Letztere betrafen vor allem die Abflussvorhersagen sowie die Koordination zwischen den verschiedenen an Vorhersagen beteiligten Stellen. Diese Probleme wurden soweit möglich seit dem Hochwasser 2005 behoben bzw. wurden mittels eines Bundesratsbeschlusses im Mai 2007 die Voraussetzungen geschaffen, dass diese Schwachstellen angegangen werden können. Viele der seit dem August 2005 umgesetzten Massnahmen haben sich beim Hochwasser vom 8./9. August 2007 bewährt. Gleichzeitig wurden allerdings auch neue Bedürfnisse und Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt.

Die grundsätzlichen Grenzen werden durch die Vorhersagbarkeit des Systems Atmosphäre aber auch der betroffenen Einzugsgebiete gezogen. Der Vergleich der Ergebnisse der meteorologischen Vorhersagemodelle zeigt, dass die Aussagegenauigkeit der heutigen deterministischen Modelle begrenzt ist und die Ergebnisse in Bezug auf ein lokales Ereignis manchmal sogar widersprüchlich sein können. Die Ursache dafür ist nicht in einer schlechten Qualität der Modelle zu suchen, sondern vor allem im chaotischen Verhalten des Systems Atmosphäre und in der immer vorhandenen Unsicherheit über die Anfangsbedingungen beim Beginn einer Simulation. Deshalb wird heute vermehrt mit so genannten «Ensemble Vorhersagen» gearbeitet, wobei mehrere mögliche Wetterentwicklungen mit gleicher Eintretenswahrscheinlichkeit aufgezeigt werden.

Die Unsicherheit in der Wettervorhersage wird vollumfänglich in die Abflussvorhersagen übernommen, weil der vorhergesagte Niederschlag unverändert als Modellinput verwendet wird. Zudem sind die räumlichen Massstäbe der Meteorologie und der Hydrologie grundsätzlich verschieden. Die hydrologischen Modelle bräuchten für präzise Vorhersagen einzugsgebietscharfe quantitative Niederschlagsvorhersagen. Es wird aber kaum je möglich sein, diese Genauigkeit mit meteorologischen Vorhersagemodellen zu erreichen. Die konkreten Auswirkungen dieser Unsicherheiten sind ebenso wie die Bedeutung von Unsicherheiten in den Ausgangsbedingungen der betroffenen Einzugsgebiete noch wenig untersucht.

All diese unumgänglichen Unsicherheiten in der Vorhersagekette schliessen aus, dass Prognosen alleinige Grundlage für weit reichende Entscheidungen wie Evakuationen etc. sein können. Viel mehr sind sie vor allem als Aufruf zu erhöhter Wachsamkeit und zur Erstellung der Einsatzbereitschaft zu nutzen. Der definitive Entscheid wird dabei so zeitgerecht wie möglich basierend auf allen verfügbaren Informationen gefällt werden müssen. Dabei spielen

Messungen und Beobachtungen zu den ablaufenden Prozessen zusammen mit kurzzeitigen Vorhersagen (Nowcasting), die oft auf Radarmessungen basieren eine zentrale Rolle. Wie diese unterschiedlichen Vorhersageinformationen in geeigneter Form als Entscheidungsgrundlage an die verantwortlichen Personen übermittelt werden können, wurde im Sommer 2007 erstmals im Rahmen des den ganzen Alpenraum umfassenden Projekts MAP D-PHASE erprobt (vgl. Hegg et al., 2008).

Der Umgang mit den systemimmanenten Unsicherheiten benötigt entlang der ganzen Vorhersagekette von der meteorologischen Mittelfristvorhersage bis zu jedem einzelnen involvierten Entscheidungsträger eine angepasste Vorgehensweise. Dazu ist Fachwissen auf allen Stufen unabdingbar. Dazu sind in entsprechenden Institutionen (Krisen- und Führungsstäbe, risikobehaftete Unternehmen, etc.) Naturgefahrenspezialisten notwendig, welche sich entsprechende spezifische Kenntnisse mittels Weiterbildung angeeignet haben. Diese können dann Entscheidungsträger, welche idealerweise selbst über gewisse Fachkenntnisse verfügen, kompetent beraten und bei ihrer verantwortungsvollen Aufgabe unterstützen.

## **SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Mit den hier präsentierten Ergebnissen des ersten Teils der Analyse der Hochwasser vom August 2005 ist die Arbeit noch nicht abgeschlossen. In einem zweiten Teil werden weitere wichtige Komponenten des integralen Risikomanagements detailliert untersucht. Insbesondere werden die Erfahrungen, welche mit verschiedenen Schutzmassnahmen beim Hochwasser vom August 2005 gesammelt wurden ausgewertet und Schlüsse gezogen, inwiefern sich welche Massnahmen (bauliche, planerische und organisatorische) bewährt haben oder nicht. Einen zentralen Bestandteil des zweiten Teils bildet zudem die Analyse der Gefahrenkarten, die zentrale Grundlage für den gesamten Umgang mit Naturgefahren bilden. Dieser zweite Bericht wird im Frühjahr 2008 veröffentlicht werden. Aufbauend auf diesen beiden detaillierten Analyseberichten wird dann ein kurzer Umsetzungsbericht mit den wichtigsten Erkenntnissen und Konsequenzen erstellt und auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Schon aufgrund des ersten Teilberichts ist aber klar, dass die Schweiz auch in Zukunft mit Ereignissen wie im August 2005, oder sogar noch grösseren, rechnen muss. Eine konsequente Fortsetzung und Weiterentwicklung der Hochwasserschutzpolitik ist deshalb zwingend notwendig. Eine besondere Herausforderung wird dabei der Umgang mit den systemimmanenten Unsicherheiten bilden, die sich sowohl bei der Einordnung des Hochwassers vom August 2005 aber auch in den Vorhersagen gezeigt haben. Durch diese Unsicherheiten werden dem rein risikobasierten Vorgehen enge Grenzen gesetzt, da sich diese Unschärfen, die leicht einen Faktor 2 und mehr ausmachen können, direkt im berechneten Risiko niederschlagen. Bauliche Massnahmen müssen deshalb pragmatisch innerhalb der bestehenden Unsicherheiten optimiert werden. Sind die Kosten einer Massnahme vergleichsweise klein, kann sie auf eine Belastung ausgelegt werden, die eher am oberen Rand des Unsicherheitsspektrums angesiedelt ist. Sind hingegen die Kosten vergleichsweise gross, sollte der Bemessung eher eine Belastung zu Grunde gelegt werden, die am unteren Rand des Unsicherheitsspektrums liegt. In jedem Fall ist durch eine geeignete Systemwahl sicherzustellen, dass die Massnahme überlastbar ist und das verbleibende Risiko angemessen berücksichtigt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass die Schäden nicht schlagartig zunehmen, wenn das Bemessungsereignis übertroffen wird. Die Ermittlung der im

Überlastfall betroffenen Gebiete, der bei einer Eskalation des Ereignisses ablaufenden Prozesse sowie deren Intensitäten ist eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der verbleibenden Risiken. Wenn diese erkannt sind, lassen sie sich wirkungsvoll durch bauliche Massnahmen zum lokalen Schutz empfindlicher Objekte und durch organisatorische Massnahmen minimieren. Weil mit Grossereignissen wie jenem von 2005 auch künftig gerechnet werden muss, sind Prävention vor und Intervention bei solchen Ereignissen eine Daueraufgabe aller.

## LITERATUR

- Bezzola, G.R., Hegg, C. (Ed.). (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1: Prozesse, Schäden und erste Einordnungen“. Bern: Bundesamt für Umwelt, Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Hegg, Ch., Rotach, M., Arpagaus, M., 2008: MAP D-PHASE - A Demonstration Project for Hydro-Meteorological Ensemble Forecasts. Extended abstract INTERPRAEVENT 2008.
- Hilker, N., Hegg, Ch., Zappa, M., 2008: Unwetterschäden in der Schweiz 1972-2007 mit besonderer Betrachtung des August-Hochwassers 2005. Tagungspublikation Interpraevent 2008.
- 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.
- Rickenmann, D., Hunzinger, L., Koschni, A., 2008: Hochwasser und Sedimenttransport während des Hochwassers in der Schweiz. Tagungspublikation Interpraevent 2008.
- Rickli, C. (Red.) 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.
- Rickli, C.; Bucher, H-U., 2006: Schutzwald und Schwemmholz in Wildbacheinzugsgebieten. FAN-Agenda 1/06: 17-20.
- Rickenmann, D., 1997: Schwemmholz und Hochwasser. wasser, energie, luft, 89(5/6), 115-119.
- BWW, 1998: Ereignisdokumentation Sachseln - Unwetter vom 15. August 1997. Studienberichte des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 8.
- Petrascheck, A., Hegg, C., (Ed.). 2002: Hochwasser 2000 – Les crues 2000. Ereignisanalyse / Fallbeispiele. Analyse des événements / Cas exemplaires. Berichte des Bundesamts für Wasser und Geologie, Serie Wasser Nr. 2.