Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Wasserwirtschaft

Eidgenössisches Departement des Innern
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Landeshydrologie und -geologie

Ursachenanalyse der Hochwasser 1987

Schlussbericht



Mai 1991

Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5
Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 15

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Wasserwirtschaft

Eidgenössisches Departement des Innern
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Landeshydrologie und -geologie

Ursachenanalyse der Hochwasser 1987

Schlussbericht

Mai 1991

Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5
Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 15

Zu beziehen bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale, CH-3000 Bern, Form.-Nr. 804.305d

Vorwort

Das Element Wasser ist zusammen mit den anderen Elementen Grundlage des Lebens an sich. Wasser spendet aber nicht nur Leben. Selten, aber immer wieder, wird unser Lebensraum von sehr schweren Hochwasserkatastrophen betroffen. 1987 verwüstete ein derartiges Unwetter grosse Teile der Schweiz, forderte acht Menschenleben und verursachte Sachschäden in der Höhe von 1200 bis 1300 Millionen Franken. Jahrzehntelange menschliche Anstrengungen wurden in wenigen Stunden zunichte gemacht. Es ist wohl eine Illusion zu glauben, dass der Mensch einmal imstande sein wird, die Natur zu beherrschen und derartige Ereignisse zu verhindern. Wir müssen deshalb versuchen zu lernen, die Zeichen zu deuten und die Konsequenzen zu ziehen.

Der vom Bundesrat erteilte Auftrag, die Ursachen der Hochwasser 1987 zu analysieren, ermöglichte eine umfassende Untersuchung einer dieser seltenen Naturkatastrophen. Die nun vorliegenden Ergebnisse lassen uns die Ereignisse besser, wenn auch nicht vollständig, verstehen. Verstehen allein genügt aber nicht: Die erarbeiteten Grundsätze für den Schutz vor seltenen grossen Hochwassern müssen umgesetzt werden. Diese Aufgabe erfordert von den verantwortlichen Wasserbaubehörden ein sorgfältiges Abwägen vieler Faktoren. Schematische Lösungen können nicht vorgegeben werden, denn jedes Gewässer ist einmalig und bedarf einer eigenen angepassten Pflege.

Der vorliegende Bericht soll für diese anspruchsvolle Aufgabe eine Informationsquelle sein und Anregungen bieten. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte ist in der gleichen Schriftenreihe unter dem Titel «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen» veröffentlicht. Die sehr umfangreichen Dossiers der einzelnen Projekte können beim Bundesamt für Wasserwirtschaft eingesehen werden.

Allen Beteiligten, den Behörden, Privaten und den Projektteams sei an dieser Stelle für die geleistete Arbeit gedankt.

Landeshydrologie und -geologie

Der Direktor:

Bundesamt für Wasserwirtschaft

Der Direktor:

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 7
1.1 Auftrag 7
1.2 Durchführung 7
1.3 Thesen 7
2 Die Unwetter 1987 9
3 Grundlagen 11
3.1 Zum Vorgehen 11
3.2 Zum Ursachenbegriff 12
3.3 Detaillierte Fragestellung 12
3.4 Räumliche und zeitliche Abgrenzung 12
4 Die Ursachen der Schadenereignisse 1987 13
4.1 Meteorologische Faktoren 13
4.1.1 Die Rahmenbedingungen des Witterungsverlaufes 13
4.1.2 Die atmosphärischen Prozesse 13
4.1.3 Die Niederschlagsverhältnisse 13
4.2 Die Abflüsse 18
4.2.1 Beobachtete Extremabflüsse 18
4.2.2 Die Abflussbildung am Beispiel Witenwasserenreuss 19
4.2.3 Die anderen Einzugsgebiete 22
4.2.4 Was wäre wenn? 23
4.3 Die Ursachen der Feststoffmobilisierung 30
4.3.1 Murgänge 30
4.3.2 Erosionsprozesse in den Einzugsgebieten 33
4.3.3 Flussmorphologie 34
4.4 Die Ursachen der Schäden 35
4.4.1 Schadenpotential 35
4.4.2 Schadenprozesse 37
5 Die Hochwasser 1987 im historischen Vergleich 38
6 Mögliche Entwicklungen 40
6.1 Wirtschaftswachstum 40
6.2 Klimaveränderungen 40
7 Lehren und Konsequenzen 42
7.1 Sicherheitsplanung 42
7.2 Schutzziele 42
7.3 Raumnutzung und Raumordnung 43
7.4 Bauliche Massnahmen 43
7.5 Andere Massnahmen 44
7.6 Grundlagenbeschaffung 45
8 Schlussfolgerungen 46
8.1 Beantwortung der Fragen 46
8.2 Zusammenfassung 46
9 Referenzen 47
9.1 Literaturverzeichnis 47
9.2 Bildernachweis 47

1. Einführung

1.1 Auftrag

Im Jahre 1987 wurde die Schweiz, aber auch das benachbarte Österreich und vor allem das Veltlin, von einer Serie schwerer Unwetter heimgesucht. Am 29. Februar 1988 gab der Bundesrat eine Analyse der Ursachen der Hochwasser 1987 in Auftrag.
Ziel dieser Analyse war in erster Linie die Untersuchung der Unwetter sowie der für den Ablauf der Ereignisse massgebenden Faktoren. Daneben galt es auch die Wahrscheinlichkeit einer Wiederholung derart seltener Ereignisse abzuschätzen und zu prüfen, inwieweit auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse eine Änderung der Kriterien für die Planung von Hochwasserschutzmassnahmen notwendig ist.
Eine der wichtigsten Vorgaben für die Ursachenanalyse war der Verzicht auf Grundlagenforschung. Die beobachteten Sachverhalte wurden an Hand von vorhandenem Wissen und mit bekannten Methoden erklärt. Wo dies mit den derzeit verfügbaren Theorien nicht möglich war, wurde auf die Forschungslücken respektive den Forschungsbedarf hingewiesen.
Auch auf die Gefahr hin unvollständig zu bleiben, wurde der gegebene Zeit- und Finanzrahmen als absolut genommen.

1.2 Durchführung

Das Bundesamt für Wasserwirtschaft wurde mit der Durchführung der Studie beauftragt und Dr. Armin Petrascheck (Sektion Hochwasserschutz) mit der Projektleitung betraut.
Für die bundesinterne Koordination und die Kontakte zu den Hochwasserkantonen wurde im Rahmen der zwischen dem Bundesamt für Wasserwirtschaft und der Landeshydrologie und -geologie bestehenden Arbeitsgemeinschaft «Nationales Programm Hochwasser» eine Arbeitsgruppe gebildet. Sie stand unter der Leitung von Dr. Manfred Spreafico (Landeshydrologie und -geologie).
In dieser Gruppe wurden Fragen diskutiert, Themenkreise für die Untersuchungen formuliert und schliesslich 18 Aufträge erteilt.
Die Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte sind in den Schriftenreihen der Landeshydrologie und -geologie (Mitteilung Nr. 14) und des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (Mitteilung Nr. 4) unter dem Titel «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987; Ergebnisse der Untersuchungen» veröffentlicht.

Der vorliegende Schlussbericht ist eine Gesamtschau und basiert auf den Arbeiten aller Teilprojekte. Er wurde redigiert von:
Dr. Armin Petrascheck, Bundesamt für Wasserwirtschaft
Andreas Götz, Bundesamt für Wasserwirtschaft
Prof. Dr. Daniel Vischer, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich
Prof. Dr. André Musy, Institut d'aménagement des terres et eaux, EPF-Lausanne
Dr. Hans Kienholz, Geographisches Institut der Universität Bern
Dr. Hans Keller, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
Dietmar Grebner, Geographisches Institut der ETH-Zürich, Abteilung Hydrologie

Besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern in den Projektteams sowie den Amtsstellen des Bundes und der Kantone, ohne deren tatkräftige Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

1.3 Thesen

Die unmittelbar nach dem Hochwasser 1987 geäusserten Ursachenvermutungen wurden in Thesen gefasst und den einzelnen Untersuchungsteams vorgelegt. Ihre Beantwortung soll die Diskussionen in Erinnerung rufen und in geraffter Form eine Antwort auf gestellte Fragen geben. Die Begründungen für die Antworten finden sich in der Gesamtheit der Texte:

These 1
Ein Ereignis wie jenes von 1987 gab es noch nie!
Nicht zutreffend. Sowohl in Bezug auf Niederschlag, Abfluss, Geschiebe als auch hinsichtlich der Betroffenheit der Bevölkerung wurden schon schwerere Ereignisse beobachtet. In ihrer Ausdehnung müssen die Hochwasser 1987 zwar zu den sehr seltenen Ereignissen gerechnet werden, sie sind aber nicht einzigartig.

These 2
Die grossen Hochwasser häufen sich als Folge von Klimaveränderungen und Waldsterben!
Diese Besorgnis ist berechtigt. Die Hochwasser 1987 können jedoch nicht als Beweis für diese These verwendet werden, denn die grossen Abflüsse entstanden vornehmlich in Gebieten oberhalb der Waldgrenze. Waldsterben scheidet daher in diesem Falle als Ursache aus. Der Nachweis einer Häufung von Hochwasser wegen der erwarteten Klimaveränderungen lässt sich (noch?) nicht erbringen.

These 3
Der knappe Boden wird immer intensiver genutzt und in gefährdeten Gebieten werden immer höhere Werte angehäuft!
Trifft vollumfänglich zu. Leider lassen sich aber nicht überall sichere Räume für unsere Nutzungen finden. Der Versuch, durch Schutzbauten die Gefährdung zu verringern, gelingt nicht immer. Mensch und Wirtschaft müssen in Gebirgsräumen gewisse Risiken in Kauf nehmen.

These 4
Saurer Regen beeinflusst Bodenbildung und Infiltration!
Nicht direkt beantwortbar, weil die Aspekte der Bodenbildung nicht untersucht wurden. Im Urserental konnte immerhin festgestellt werden, dass auch bei Böden mit guten Speichermöglichkeiten und hohen Infiltrationsraten die Sättigung erreicht wurde. Nach diesem Zeitpunkt floss somit der Regen fast vollumfänglich ab. Verschlechterungen in den Infiltrationsbedingungen würden zwar die Hochwasserbildung begünstigen und die Häufigkeit von kleinen und mittleren Hochwassern erhöhen, extreme Ereignisse aber nur wenig beeinflussen.

These 5
Der Wald wirkt bei Extremereignissen nur begrenzt abflussverzögernd, erhöht aber das Risiko durch Schwemmholzanfall!
Zutreffend. Der Wald wirkt vor allem durch die Erhöhung der Speicherkapazität der Waldböden auf den Abfluss. Zwar ist jeder Speicher nützlich, aber es kann auch jeder Speicher gefüllt werden und so seine Wirkung verlieren. 1987 waren durch die Niederschlagsmengen die natürlichen Speicherkapazitäten erschöpft. Somit ergibt sich dieselbe Antwort wie auf These 4. Dem Nachteil des Schwemmholzes steht jedoch der Vorteil der Bodenbefestigung durch die Wurzeln gegenüber (Schutz vor Erosion).

These 6
Zu klein bemessene und daher in der Folge verstopfte Strassendurchlässe führten zu unkontrolliertem Überlauf und Folgeschäden!

Zutreffend. Es entstanden verschiedenenorts Kleinschäden, die aber den Verlauf der Ereignisse 1987 und – von einigen Ausnahmen abgesehen –, die Schadensummen nicht wesentlich beeinflusst haben. Dieses Problem stellt sich vielmehr bei den häufigen kleineren Hochwassern und kann im Einzelfall zu schwer abschätzbaren Folgeschäden führen.

These 7
Entwässerungen, ob im Zusammenhang mit Meliorationen oder mit Strassenbauten, führen zu Veränderungen der Fliesswege und überproportionalen Abflusserhöhungen!

Für 1987 nicht zutreffend. Es gilt das bereits unter den Thesen 4 und 5 Gesagte: Für kleinere Hochwasser oder kleinräumige Ereignisse eher zutreffend.

These 8
Schwere landwirtschaftliche Maschinen verdichten den Boden und Intensivkulturen erhöhen die Abflussbereitschaft!

Grundsätzlich gilt die gleiche Antwort wie zu These 4. In den Entstehungsgebieten der Hochwasser 1987 waren keine intensiv genutzten Gebiete, für welche diese Effekte hätten zutreffen können. Die tatsächlich eintretende Bodenverdichtung ist noch wenig erforscht.

These 9
Die Gewässerkorrektionen (Kanalisierung der Bäche, Entfernung von Ufergehölz) schaffen zusätzliche Abflussspitzen!

Teilweise zutreffend. Jede Verhinderung einer Überflutung bedeutet eine Verminderung des Retentionsraumes. Für die geschützte Fläche ist dies positiv, ob für die Unterlieger daraus Nachteile entstehen, ist von Fall zu Fall verschieden. Die Bedeutung der Ufervegetation auch als Schutz gegen Erosion wurde erkannt. Dort, wo aber der Abflussquerschnitt durch Vegetation wesentlich verkleinert wird, erhöht dies die Gefahr von Überflutungen. Einzelne grosse Bäume bilden zudem ein besonders gefährliches Schwemmholzrisiko.

These 10
Eine seltene Kombination von hohen Niederschlagsintensitäten verbunden mit hohen Temperaturen führte zu diesen Ereignissen!

Zutreffend. Zusätzlich waren die hohe Niederschlagssumme und die steilen Hänge im Einzugsgebiet (grosse Reliefenergie) ausschlaggebend für den Ablauf der Schadenereignisse. Massgebend war das Zusammenspiel aller Faktoren und nicht ein einzelner Faktor.

These 11
Das eigentliche Problem ist nicht das Hochwasser, sondern der Geschiebeanfall.

Für das Berggebiet mit den grossen natürlichen Gefällen zutreffend. Die Ableitung der Wassermengen in einem Gerinne ist dort zwar technisch vergleichsweise einfach; Hochwasser verursacht aber Erosion und damit Geschiebetransport. Da durch Erosion und Ablagerung das Gerinne laufend verändert wird, sind rein hydraulische Überlegungen unzureichend. Früher getroffene Massnahmen können unwirksam werden, wenn der Fluss sich ein neues Bett sucht.

These 12
Die kontinuierliche langsame Geschiebeproduktion im Einzugsgebiet wird durch Hochwasser in einzelnen Schüben in das Gerinnesystem transportiert. Da dies in grösseren zeitlichen Abständen erfolgt, werden die Ereignisse als ausserordentlich empfunden!

Zumindest für die Wildbäche zutreffend. In den Flüssen sind die Massenumlagerungen auch zwischen den Hochwassern bedeutend.

These 13
Die bisherigen Bemessungsgrundlagen und -grundsätze für Schutzbauten haben versagt!

Nicht zutreffend, auch wenn in Bezug auf Extremereignisse, Geschiebeproduktion und Murgänge nur unzureichende Unterlagen und Bemessungskriterien vorliegen. Zahlreiche Schutzbauten haben sich bewährt. Schutzbauten können aus finanziellen, ökologischen und oft auch aus technischen Gründen nicht auf das grösstmögliche Ereignis ausgerichtet werden. Sie werden daher auf ein Ereignis dimensioniert, das nicht das absolut grösste ist. Ein Restrisiko muss immer in Kauf genommen werden.

2. Die Unwetter 1987

Das Jahr 1987 erwies sich als ausgesprochenes Katastrophenjahr. Fast die gesamte Schweiz wurde im Laufe des Jahres von Unwettern betroffen (Abb. 1). Schon im Frühjahr – ungewöhnlich nass und kalt – traten zahlreiche Hochwasserschäden auf. Es begann im April und Mai mit Rutschungen, meist in altbekannnten Problemzonen wie Wattenwil (BE), La Frasse/Ormonts (VD), Turbachtal (BE), Läufelfingen (BL).

Die häufigen und langanhaltenden Niederschläge im Juni verursachten zahlreiche Schäden:

- Einerseits aktivierten sie Rutschungen, wie in Lauterbrunnen (BE) und Balsthal (SO), sowie Rüfen in Almens (GR) und Elm (GL). Eine ungewöhnliche Gefährdung verursachte am 24./25. Juni eine Sackung bei Schwarzenegg, welche die Zulg mit einem ca. 300 m langen Damm um etwa 20 m aufstaute und einen kleinen See schuf, der nun verlandet.
- Anderseits führten sie in vielen Flüssen und Bächen zu Hochwasser. Die hohen Niederschlagssummen, verbunden mit der späten Schneeschmelze, verursachten in den grossen Flüssen Hochwasser, die weniger wegen der beobachteten Spitzenabflüsse, als vielmehr wegen ihrer langen Dauer in die Chronik der Extremereignisse eingehen. Die grossen Abflussvolumina führten zu Höchstständen in den Alpenrandseen. Speziell am Bodensee entstanden Schäden in Millionenhöhe.

Die ersten Julitage waren durch heftige Gewitter gekennzeichnet. Fünf schwere Gewitter in nur einer Woche! Betroffen waren vor allem die Kantone Schwyz und Bern. Zwei Todesopfer waren zu beklagen. Zwischen dem ersten und dem neunten Juli entstanden Schäden in der Höhe von 100 Mio Franken. Bereits zum dritten Mal innerhalb von nur 14 Monaten wurde die Ortschaft Boll (BE) von einem schweren Unwetter heimgesucht.

Die eigentlichen Katastrophen des Jahres 1987 begannen aber erst am 18./19. Juli. Sintflutartige Regenfälle verursachten schwere und schwerste Schäden vor allem in den Kantonen Tessin und Graubünden (Abb. 2). Die Grösse des heimgesuchten Gebietes deutet auf den massgebenden Einfluss einer überregionalen Wetterlage hin, auf die noch näher eingegangen wird. Vier Menschen verloren in diesen Tagen ihr Leben. Die Sachschäden überschritten 250 Mio Franken. Hauptschadenursache waren zahlreiche Murgänge. Ein Murgang in der Varuna staute den Poschiavino, der dann mitten durch den alten Ortskern von Poschiavo strömte, Häuser, Geschäfte und Fahrhabe verwüstete und Unmengen von Geschiebe auf Strassen und Plätzen ablagerte. Murgänge der Zavraggia und der Plaunca, verbunden mit einem Aufstau des Rheins waren die Ursache der grössten Schadenfälle im Vorderrheintal. Im Tessin lagen die Schadenschwerpunkte im Bleniotal und bei Faido. Der Rhein führte bei Diepoldsau eine Wassermenge, die etwa derjenigen des Katastrophenhochwassers von 1868 entspricht. Die seither erfolgte Rheinregulierung verhinderte jedoch das Ausufern. Nur im Mündungsbereich kam es auf österreichischem Gebiet bei Fussach zu einem Dammbruch, der aber ohne schwerwiegende Folgen blieb. Auch wenn verschiedentlich Rekordabflüsse beobachtet werden konnten (Brenno, Berninabach, Inn, Somvixer Rhein, u.a.), entstanden die grossen Schäden nicht durch Überfluten, sondern überwiegend durch Murgänge.

Eine vergleichbare Wetterlage führte am 24./25. August 1987 zu extremen Niederschlägen im Gotthardgebiet und zu verheerenden Schäden in den Kantonen Uri, Wallis, Tessin und Graubünden (Abb. 3). In der Reussebene zwischen Attinghausen und Seedorf brachen die Dämme und überschwemmten 270 ha Kulturland. Weitere 150 ha wurden im Urserental überflutet. Mehrere hundert Menschen mussten evakuiert werden, über 500 Wohngebäude und nahezu 200 Ökonomiegebäude wurden betroffen. Die Gotthardstrecke der SBB wurde vom 24. August bis zum 12. September ganz unterbrochen und konnte erst nach dem 25. September den zweigleisigen Betrieb wieder aufnehmen. Die Strecke der Furka-Oberalp-Bahn war sogar erst nach dem 12. November wieder durchgehend befahrbar. Die lange Dauer der Unterbrechung kennzeichnet die Schwere der Schäden. Bei der Nationalstrasse wurde durch Unterspülung eines Pfeilers die Talspur der Reussbrücke bei Wassen um 1,5 Meter abgesenkt. Da in diesem Bereich auch die Kantonsstrasse an mehreren Stellen vollständig erodiert worden war, stand als einzige offene Verbindung in den oberen Kantonsteil nur die Bergspur der N2 zur Verfügung.

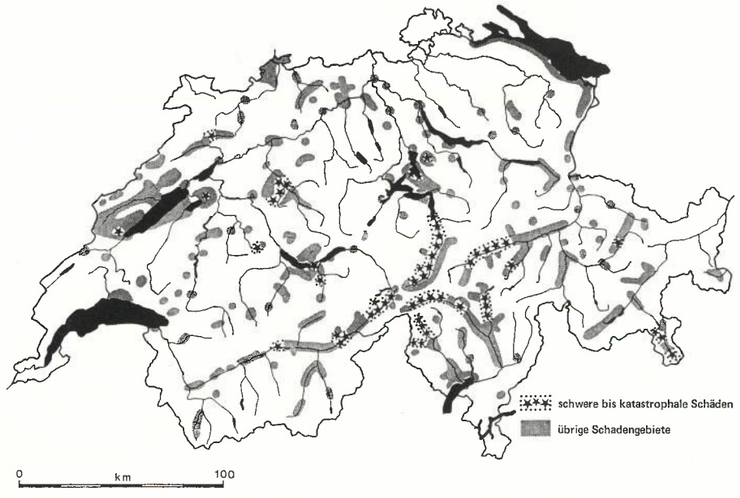
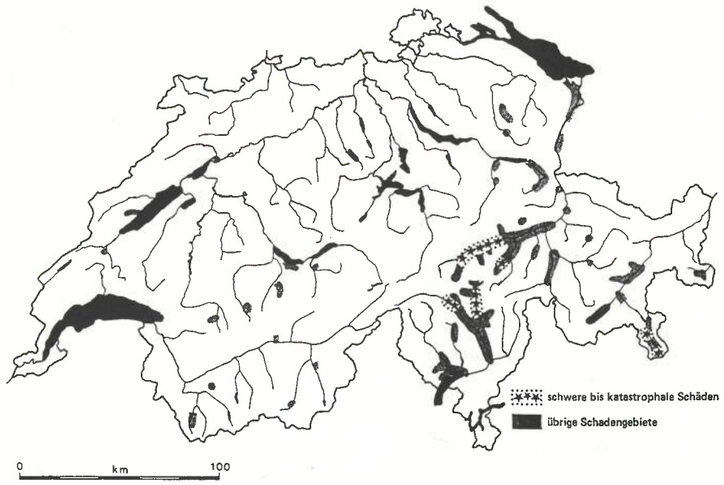


Abb. 1: Überblick über die Schadengebiete des Jahres 1987.

Abb. 2: Die von den Unwettern vom 17. bis 19. Juli 1987 betroffenen Regionen.

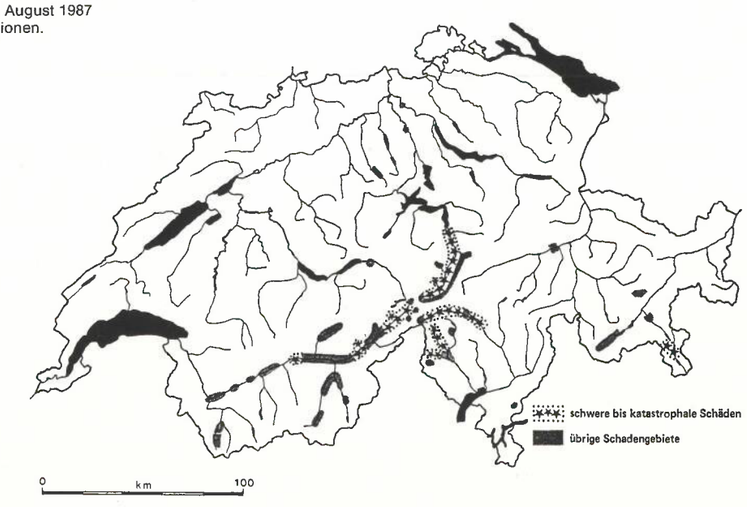


Im Oberwallis uferte die Rhône an mehreren Stellen aus. Ein Murgang verursachte schwere Verwüstungen in Münster. Bahn und Verkehrswege wurden an zahlreichen Stellen unterbrochen. Auch in den Seitentälern im Matter- und Saastal kam es zu Murgängen und Überschwemmungen. Im Tessin wurde Faido zum zweiten Mal im gleichen Jahr schwer heimgesucht. Der eigentliche Schadenschwerpunkt lag aber diesmal im Bedretto und in der Leventina bis Ambri-Piotta. Schwere Schäden wurden auch aus dem Bavonatal und dem Rovanatal gemeldet. In Graubünden wurde Poschiavo zum zweiten Mal im gleichen Jahr von einem Murgang der Varuna betroffen. Diesmal konnte jedoch durch laufende Geschiebebaggerung ein Ausufern des Poschiavino verhindert werden. Die Schäden im August wurden sowohl durch Murgänge als auch durch Überfluten und Erosion verursacht.

Noch ein drittes Mal wurde die Schweiz in diesem Jahr von Rekordniederschlägen heimgesucht. Vom 25. bis 27. September fielen im Jura – vor allem im Gebiet um den Neuenburgersee – Niederschläge, die an Menge und Intensität den vorangegangenen Ereignissen kaum nachstanden. Aber Niederschlagsmenge und Schaden sind keineswegs direkt voneinander abhängig. Zwar wurden aus den Kantonen Waadt und Neuenburg Überflutungen und Kulturschäden, Rutschungen und Strassenunterbrüche gemeldet, aber die materiellen Schäden waren vergleichsweise gering.

Fazit: 1987 war für die Schweiz ein extremes Schadenjahr. Durch eine Vielzahl von Ereignissen wurden fast alle Kantone betroffen. Am 17./18. Juli und 24./25. August führten hohe Niederschläge in Verbindung mit einer grossen Reliefenergie zu Murgängen, Erosionen und Überflutungen im Alpenraum. Die entstandenen materiellen Schäden übertrafen alles Bisherige bei weitem. Sie lösten eine Welle der Hilfsbereitschaft und Unterstützung aus. Sie führten uns aber auch die Grenzen des Hochwasserschutzes vor Augen und sollten Anlass geben, unsere Sicherheitsansprüche zu überdenken.

Abb. 3: Die von den Unwettern vom 24. und 25. August 1987 betroffenen Regionen.



3. Grundlagen

3.1 Zum Vorgehen

Der Auftrag lässt sich in zwei Hauptfragen unterteilen:

1. Warum sind die grossen Schäden entstanden? (Eigentliche Ursachenabklärung)

Schäden entstehen dann, wenn sich ein Naturereignis auf unseren Lebensraum auswirkt (Abb. 4). Die Grösse des Naturereignisses wird im wesentlichen vom Zusammenwirken der Naturfaktoren im Einzugsgebiet bestimmt. Es besteht eine Wirkungskette: Der Niederschlag erzeugt Abfluss und dieser mobilisiert die Feststoffe. Abfluss, Ablagerung und Erosion von Feststoffen verursachen den Schaden im Nutzungsraum des Menschen.

Menge und Intensität des Niederschlags werden durch atmosphärische Prozesse bestimmt. Der Abfluss ist zudem noch von topographischen Faktoren und vom Wasseraufnahmevermögen des Bodens abhängig. Letzteres wird wiederum vom geologischen Untergrund und von der Pflanzenbedeckung beeinflusst. Von den gleichen Faktoren, aber nicht im gleichen Masse, ist die Feststoffmobilisierung abhängig. Hier spielt insbesondere die Kraft des fliessenden Wassers eine dominierende Rolle.

Die Schäden sind vom Schadenpotential im betroffenen Gebiet abhängig, oder, anders ausgedrückt, von dessen Nutzung. Diese Nutzung wird nur zu einem Teil vom Gefahrenpotential beeinflusst und muss in einem grösseren Rahmen regionaler und wirtschaftspolitischer Zielsetzungen gesehen werden. Erkenntnisse in der Ermittlung des eingetretenen Schadens, insbesondere des Geldwertes, haben wegen der starken Dynamik der wirtschaftlichen Entwicklung nur eine örtlich und zeitlich begrenzte Aussagekraft. Die Erfassung der Schadensumme wurde daher bewusst auf die leicht verfügbaren Daten beschränkt.

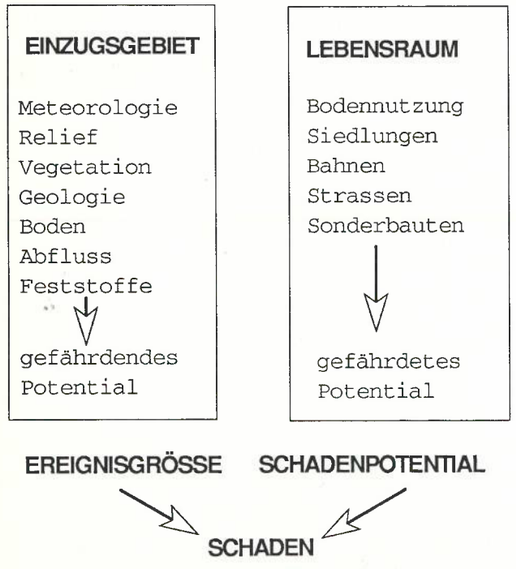


Abb. 4: Die Grösse des Hochwasserereignisses hängt von zahlreichen Faktoren im Einzugsgebiet ab. Das Schadenpotential wird von der Nutzung im betroffenen Gebiet bestimmt. Beide zusammen bestimmen die Höhe des Schadens.

2. Was ist zu tun? (Massnahmenplanung)

Die Massnahmenplanung erfordert eine Berücksichtigung der komplexen und stark vernetzten Abhängigkeiten (siehe Abb. 5). Konkrete Massnahmen können nur an Hand eines vorgegebenen Schutzziels geplant werden, das seinerseits aus der Grösse des möglichen Schadens (Schadenpotential) und der Grösse und Häufigkeit der Naturereignisse abgeleitet wird. Zwischen Schutzziel und Massnahmen besteht eine starke Rückkoppelung über den Preis der Massnahmen. Dieser ist nicht nur in Geld, sondern auch in Verlusten an Land, Landschaft und Umwelt zu bezahlen. Sehr stark ist auch die Rückkoppelung zwischen Massnahmen und Schadenpotential, ist doch eine intensivere Nutzung der geschützten Flächen meist Ziel der Massnahmenplanung. Durch die Massnahmen wird wiederum das Ereignis beeinflusst, häufig aber nicht nur im Projektgebiet, sondern auch flussabwärts der zu schützenden Stelle.

Die Ursachenanalyse kann und darf nicht in die Prozesse der politischen Willensbildung eingreifen. Sie kann das akzeptable Restrisiko nicht festlegen, da die Akzeptanz vom Preis beeinflusst wird. Sie kann und soll aber Grundlagen zur Abschätzung der Grösse und Häufigkeit von Extremereignissen liefern. Die Umsetzung in konkrete Massnahmen ist Aufgabe der Projektierung, die von den Kantonen wahrzunehmen ist. Dadurch liegt der Schwerpunkt auf naturwissenschaftlich-technischen Untersuchungen. Die vorgesehenen Arbeiten auf dem Gebiete der Massnahmenplanung beschränken sich daher auf die Festlegung von Leitlinien und das Aufzeigen von Möglichkeiten (z.B. Grenzen der flussbaulichen Massnahmen, Katastrophenhilfe, raumplanerische Massnahmen usw.).

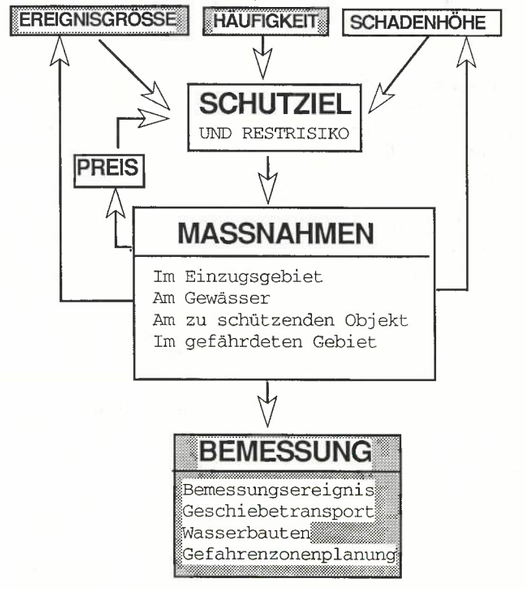


Abb. 5: Massnahmen richten sich nach Grösse und Häufigkeit der zu erwartenden Hochwasser. Sie können aber auch diese wiederum beeinflussen, genauso wie den möglichen Schaden, denn im Schutze von Bauten verändert sich die Nutzung. Die Wahl der Massnahmen muss angemessen sein, d.h. sie wird durch den Preis beeinflusst.

3.2 Zum Ursachenbegriff

Bei den Ursachen eines Ereignisses muss zwischen Disposition (Ausgangslage, Eignung, Zustand) und Auslösung unterschieden werden.

Die *Disposition* umschreibt die Voraussetzungen, die vor dem Eintritt des Ereignisses bestehen. So ist beispielsweise die Disposition für einen Brand umso grösser, je mehr feuergefährliches Material vorhanden ist.

Der *Auslöser* steht in unmittelbarem zeitlichem Zusammenhang mit dem Eintritt des Ereignisses. Beim Beispiel Brand ist es der Funke, der das Feuer entfacht.

Disposition und Auslöser sind voneinander abhängig. Je grösser die Disposition ist, desto geringfügiger kann der Auslöser sein. Als Ursache wird meist der seltenere der beiden Faktoren bezeichnet. Brennt ein Haus (Disposition normal) durch Blitzschlag (Auslöser selten) ab, so gilt letzterer als Ursache. Entzündet sich offen gelagertes Benzin (Disposition gross) durch den kleinsten Funken (Auslöser), so wird die unsachgemässe Lagerung als Ursache angesehen. Will man «Ursachen bekämpfen», muss man sich bewusst sein, dass die Disposition oft nur sehr schwer zu beeinflussen ist. Durch die Beseitigung des Auslösers wird jedoch keine volle Sicherheit, sondern allenfalls Zeit gewonnen.

Die Disposition für Hochwasserereignisse, Rutschungen und andere Naturkatastrophen ist in unserem Alpenraum naturgegeben. Die «Ursachen» liegen in grossräumigen Bewegungen der Atmosphäre und der Lithosphäre, die für uns oft kaum erkennbar und auch nicht beeinflussbar sind. So liegt es nahe, sich auf die unmittelbaren Auslöser zu konzentrieren.

3.3 Detaillierte Fragestellung

Im Sinne des zuvor definierten Ursachenbegriffes können die starken Regenfälle als auslösendes Moment bezeichnet werden. Der Zustand des betroffenen Naturraums gibt die Disposition für die Hochwasserbildung. Die Intensität der menschlichen Nutzung schafft die Disposition für Schäden. Zuerst war daher folgende Frage zu prüfen:

- *Waren die Niederschläge in bezug auf Menge und Intensität derart selten, dass die dadurch entstandenen Hochwasserabflüsse und Erdbewegungen als natürliche Folge zu betrachten sind?*

Eine Zusatzfrage ergab sich aus der aktuellen Diskussion über Klimaveränderungen:

- *Ist auf Grund der durch Zunahme der Treibhausgase erwarteten Klimaveränderung in Zukunft häufiger mit gleichen oder noch stärkeren Niederschlägen zu rechnen?*

Zu dieser Frage wurden keine eigenen Untersuchungen veranlasst, da diese weltweite Problemstellung den gegebenen Rahmen sprengen würde. Kontakte mit PROCLIM, das die Erforschung der Treibhauseffekte zum Ziel hat, fanden jedoch statt, so dass einige Aussagen – basierend auf dem derzeitigen Stand der Klimaforschung – möglich sind.

Da Auslösung und Disposition nur gemeinsam betrachtet werden können, ergeben sich die nächsten Fragen nach dem Zustand des von den Niederschlägen betroffenen Naturraumes:

- *Wurde durch natürliche und/oder menschliche Veränderungen die Abflussbereitschaft derart erhöht, dass die Abflussmengen bisher bekannte Relationen zwischen Niederschlag und Abfluss überschritten haben?*

Da vor allem die mit dem Hochwasser verbundenen Feststoffbewegungen (Murgänge, Übersaarungen, Ufererosionen und Auflandungen) Schäden verursachten, stellte sich die Frage:

- *Wurde die Mobilisierung von Feststoffen durch natürliche und/oder menschliche Veränderungen gefördert?*

Da wir Schäden nur aus menschlicher Sicht bewerten können und Hochwasser, das den Menschen und seine Aktivitäten nicht betrifft nur als Naturphänomen aber nicht als Schadenereignis betrachten, ergibt sich die Frage:

- *Haben wir durch intensive Nutzung unseren Lebensraum so verändert, dass bei seltenen Hochwasserabflüssen bereits unverhältnismässig grosse Sachschäden eintreten?*

Bei der Beschreibung der meteorologischen Situation, des Naturraumes und des betroffenen Lebensraumes beschränkt sich die Schilderung für die Hochwasserereignisse 1987 auf folgende Kernfragen:

- *Was war für die Abfluss- und Schadenbildung entscheidend und was aussergewöhnlich?*
- *Was hat sich an diesen Faktoren im Laufe der Zeit, d.h. während der letzten Jahrzehnte, verändert?*

3.4 Räumliche und zeitliche Abgrenzung

Das Jahr 1987 war durch eine Vielzahl von Unwetterereignissen gekennzeichnet. Aus Zeitgründen, aber auch wegen den unterschiedlichen massgebenden Prozessen und der teilweise nur lokalen Bedeutung wurden folgende Ereignisse nicht in die Untersuchungen einbezogen:

- Schäden im April und Mai, da es sich vornehmlich um Erdrutsche in bekannten Schadengebieten handelte;
- Die Überschwemmungen der Alpenrandseen auf Grund der häufigen und langdauernden Niederschläge im Juni;
- Die Überschwemmungen im Jura auf Grund der Starkniederschläge im September.

Eigentlicher Anlass für den Auftrag dieser Ursachenanalyse waren die Unwetter vom 17. bis 19. Juli und 24./25. August 1987. Die Untersuchungen konzentrierten sich daher auf diese Ereignisse. Teilweise einbezogen wurden noch die Gewitterniederschläge der Periode zwischen dem 1. bis 16. Juli 1987.

Die Niederschlagsgebiete bei den Hauptschadenereignissen lagen im Gebiet um den Gotthard. Aus den gebietsspezifischen Randbedingungen der betroffenen Regionen ist eine Anzahl wichtiger Faktoren, die den Ablauf der Ereignisse bestimmen, vorgegeben:

- Die grosse Höhenlage hat einen starken Temperatureinfluss, eine verminderte Waldbestockung und eine hohe Reliefenergie zur Folge;
- Da die betroffenen Regionen vorwiegend im Kristallin der Zentralalpen liegen, sind gewisse Gesteinseigenschaften und Bodenarten vorgegeben;
- Die betroffenen Bergtäler sind eher dünn besiedelt, enthalten jedoch wichtige Verkehrsverbindungen.

Diese Rahmenbedingungen waren mitbestimmend für die massgebenden Prozesse, die sich zum Teil grundsätzlich von jenen im Flachland unterscheiden. Die nun in Kapitel 4 folgende Diskussion der Ursachen gilt daher – sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt – nur für das jeweils betroffene Gebiet und für die spezifischen Bedingungen der Ereignisse 1987.

4. Die Ursachen der Schadenereignisse 1987

4.1 Meteorologische Faktoren

4.1.1 Die Rahmenbedingungen des Witterungsverlaufes

Im Sinne des in Kapitel 3.2 definierten Ursachenbegriffes bilden die Niederschläge den Auslöser der Hochwasserereignisse, also einen Teil der Ursachen. Die Meteorologie ist jedoch nicht nur am Tage des Ereignisses wichtig, denn die Vorgeschichte beeinflusst die Disposition der Einzugsgebiete, also deren Bereitschaft Hochwasser zu bilden, ganz entscheidend.
Einem kühlen Winter folgte ein nasses Frühjahr. In der Nordschweiz lagen die Niederschläge im Mai um 50% über dem langjährigen Mittel. Der Juni zeigte eine starke regionale Differenzierung der Niederschlagsüberschüsse. Der Raum Zürich, Luzern, Thurgau war mit +30% relativ am trockensten. Im Jura und im Rhônegebiet wurden +75% und im Tessin und im Einzugsgebiet des Alpenrheins gar +125%, also mehr als das Doppelte des durchschnittlichen Niederschlags, gemessen.
Überdurchschnittlich war neben den Regenmengen vor allem auch die Anzahl Niederschlagsstunden. Das bedeutet zweierlei:

- Der Regen fiel relativ gleichförmig, was in den Flüssen bereits in der Vorperiode zu einer hohen Wasserführung führte;
- Die Böden blieben in einem Zustand weitgehender Sättigung, da nicht nur reichliche Nachlieferung vorhanden war, sondern auch die Phasen der Austrocknung zwischen den einzelnen Niederschlagsereignissen kurz blieben. Da zudem noch die Temperatur unterdurchschnittlich war, reduzierte sich die Transpirationsrate der Pflanzen und den Böden wurde nur wenig Wasser entzogen.

Die Gewitter vom 1. bis 9. Juli 1987 trafen in den Voralpen weitgehend gesättigte, also gleichsam «ideal» vorbereitete Böden an. Entsprechend schwer waren denn auch die Folgen.
Die Niederschläge vom 17. bis 19. Juli 1987 erstreckten sich quer über das Hochgebirge. Dort war neben der hohen Vorregensumme auch der Temperaturverlauf entscheidend für die Bildung von Hochwasser. Wenn während des Ereignisses die Nullgradgrenze oberhalb der Berggipfel liegt, fällt der Niederschlag im gesamten Einzugsgebiet als abflusswirksamer Regen. Sind vom Winter her noch mächtige Schneedecken vorhanden, wird Regen zurückgehalten. Nur durch längerdauernde Wärmezufuhr geht die winterliche Schneedecke in die Schmelzphase über. Dies bewirkt, dass die Böden gesättigt werden und sich das Schmelzwasser zum Regen addiert. Diese Verhältnisse trafen für das Juli-Ereignis zu (Abb. 6). Massgebend waren kräftige Schneefälle im Mai, eine verzögerte Schneeschmelze im Juni und eine starke Erwärmung ab dem 26. Juni 1987.
Für das Ereignis vom 24./25. August 1987 ist der direkte Einfluss der Schneeschmelze geringer. Trotzdem ist der Temperatureinfluss bedeutend. So ist einerseits trotz der extremen Höhenlage der Einzugsgebiete – die mittlere Höhenlage des 192 km² grossen Einzugsgebietes der Reuss bei Andermatt beträgt beispielsweise 2280 m ü.M. – während der Hauptniederschlagsperiode kein Schneefall eingetreten. Anderseits konnte sich durch eine den Niederschlägen unmittelbar vorausgehende Schönwetterperiode das Abflusssystem der Gletscher voll entwickeln, so dass

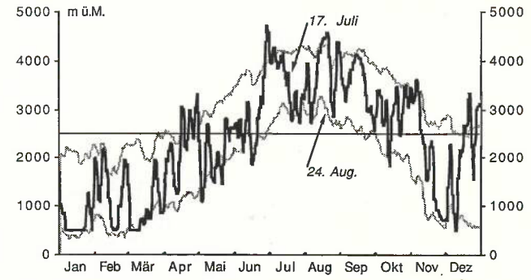


Abb. 6: Jahresgang der Höhenlage der Null-Grad-Temperaturlinie über der Messstation Payerne. Mittlere Kurve 3tägige gleitende Mittel der 12-Uhr-UTC-Messungen. Randkurven: 5tägige gleitende Mittel der Standardabweichungen der 12-Uhr-UTC-Messungen aus der Periode 1976–1989 (UTC = Universal Time Coordinated).

der auf die Gletscher und den blanken Fels fallende Niederschlag ungebremst abfliessen konnte.

Fazit: Vorregen, Schneeschmelze und Temperaturverlauf schufen eine stark abflussfördernde Ausgangslage. In Einzugsgebieten der Hochalpen ist für Hochwasser eine hohe Lage der Nullgradgrenze und eine längere Wärmeperiode vor dem Niederschlagsereignis erforderlich. Dies traf für die Ereignisse des Jahres 1987 zu.

4.1.2 Die atmosphärischen Prozesse

Zwischen dem 1. und 9. Juli 1987 wanderte eine Staffel von Kaltfronten von Westen nach Osten, in deren Folge zahlreiche lokale Schauerregen auftraten. Die Niederschläge waren hoch, aber nicht aussergewöhnlich. Bemerkenswert war vor allem die dichte Folge von Einzelereignissen.
Bei den beiden Hauptschadenereignissen vom 17. bis 19. Juli und vom 24./25. August 1987 lagen ähnliche meteorologische Situationen vor. Ein Tiefdruckgebiet wanderte aus dem Raum Island gegen Mitteleuropa. Seine von Nordwesten kommende Kaltluft traf im Bereich Frankreich/Schweiz auf eine hochreichende, warme, feuchte Südwestströmung. An der dazwischen liegenden Kaltfront entstand ein Sekundärwirbel, der südlich der Alpen (im Raum Tessin, Veltlin) ortsfest wurde. Auf Grund der ausserordentlich hohen Temperaturdifferenzen traten in seiner Zirkulation intensive Aufgleitvorgänge auf. Die resultierenden Niederschlagsintensitäten waren, verglichen mit kurzfristigen Schauern, mässig, für Dauerereignisse hingegen hoch.
Steigerungen sind bei diesen Wetterlagen weniger in der kurzfristigen Intensität als in der Dauer und der Niederschlagssumme vorstellbar. Grundsätzlich sind diese Wetterlagen nicht selten. Ähnliche Wetterlagen wurden seit 1901 etwa 100mal beobachtet. Extreme Hochwasser entstehen jedoch nur, wenn ein langlebiges System ohne Ortsverlagerung und insbesondere, wie am 24. August, mit einem eingelagerten Schauer ausregnet. Dies geschah z.B. in den Jahren 1978, 1951 oder 1927, was im Tessin jeweils zu ausserordentlichen Hochwassern führte.

Fazit: Extreme Regenfälle bei gleichzeitig sehr hoher Nullgradgrenze sind im Alpengebiet um den Gotthard nur möglich, wenn sich ein kaltes Tief dicht gegen eine warme, feuchte Südströmung schiebt und das System ortsfest bleibt. Dies war im Juli und im August 1987 der Fall.

4.1.3 Die Niederschlagsverhältnisse

Abbildung 7 zeigt die räumliche Verteilung der Niederschläge am 18./19. Juli. Eine deutliche Achse der Nieder-

schläge bildete sich vom Maggiatal zum Vorderrhein bis zur Rheinmündung in den Bodensee. Die zeitliche Verteilung ist aus Abbildung 8, einem Süd-Nordprofil der akkumulierten Niederschlagssummen in Sechs-Stunden-Schritten, ersichtlich. Extreme Werte wurden in Frasco aufgezeichnet (55 mm in 1 h, 173 mm in 4 h , 270 mm in 10 h und 392 mm in 24 h). Neue Rekordmarken für die Niederschlagssummen an zwei Tagen (kalendarische Werte) wurden in Trun

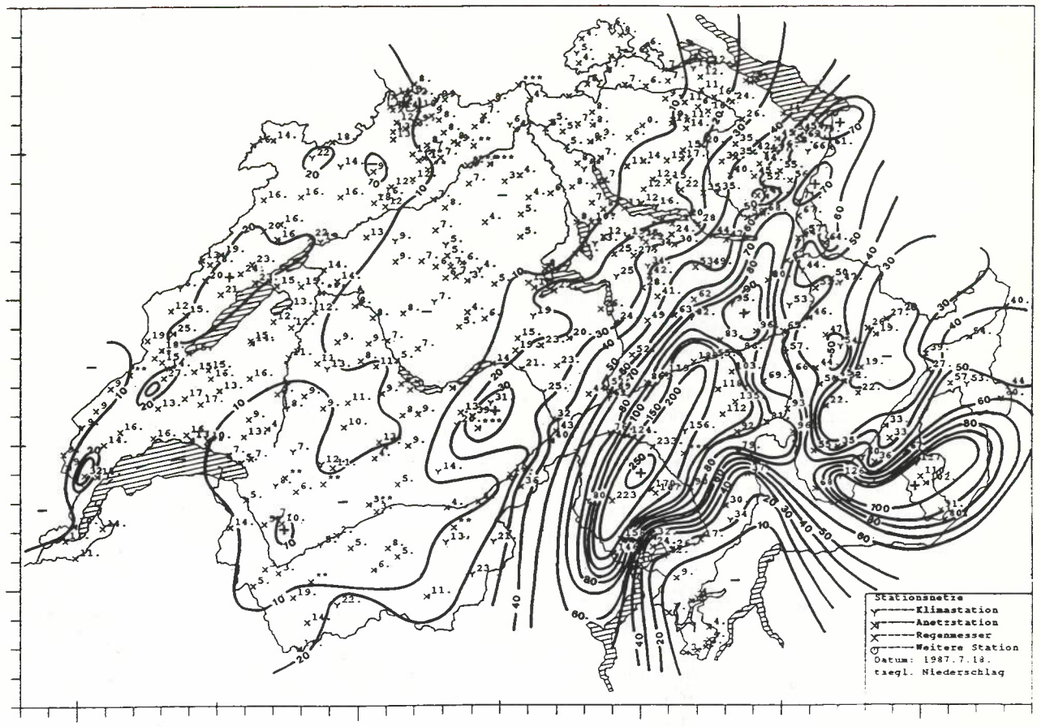


Abb. 7: Tagesniederschlag vom 18. Juli (06 UTC) bis 19. Juli (06 UTC) 1987.

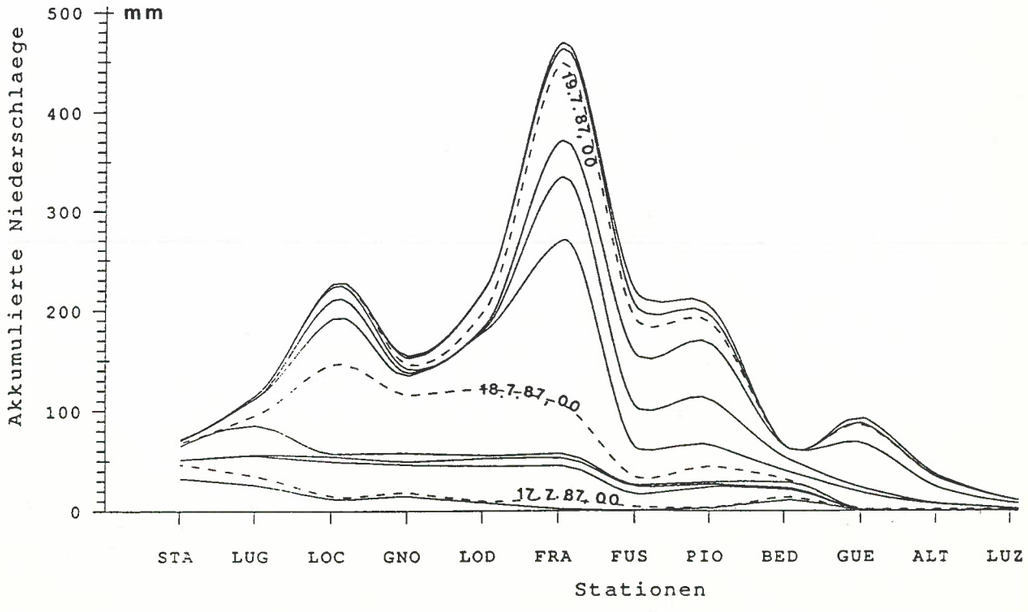


Abb. 8: Räumlicher Schnitt durch die sechsstündig akkumulierten Niederschläge vom 16. Juli (12 UTC) bis 19. Juli (12 UTC) 1987.
STA = Stabio, LUG = Lugano, LOC = Locarno, GNO = Gnosca, LOD = Lodrino, FRA = Frasco, FUS = Fusio, PIO = Piotta, BED = Bedretto, GUE = Gütsch, ALT = Altdorf, LUZ = Luzern.

(240 mm), Panix (145 mm), Vrin (182 mm), Vals (226 mm), Flims (152 mm), Safien (140 mm), Andeer (167 mm), Weisstannen (143 mm), Elm (154 mm) und Frasco (440 mm) gesetzt. Es fällt auf, dass im Tessin mit Niederschlagssummen zwischen 300 und 450 mm nur Frasco in der Rekordliste erscheint. Bei den anderen Messstellen wurden bereits früher höhere Werte gemessen.
Trotz der im Vergleich zum Maggiatal nur fast halb so gros-

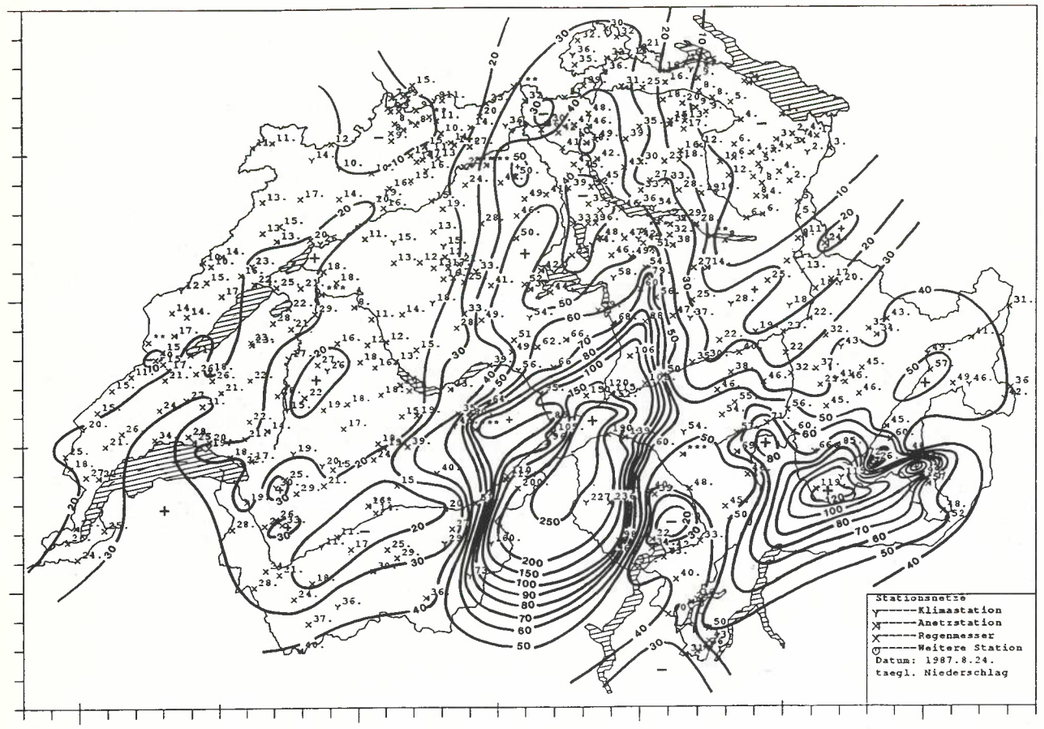


Abb. 9: Tagesniederschlag vom 24. August (06 UTC) bis 25. August (06 UTC), 1987.

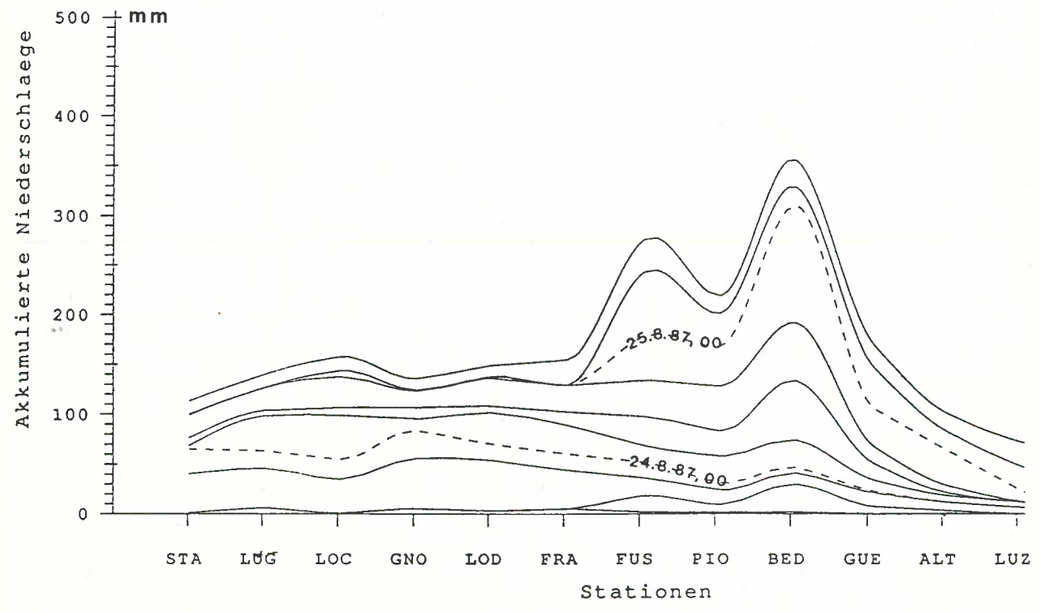


Abb. 10: Räumlicher Schnitt durch die sechsstündig akkumulierten Niederschläge vom 24. August (12 UTC) bis 25. August (12 UTC) 1987.
STA = Stabio, LUG = Lugano, LOC = Locarno, GNO = Gnosca, LOD = Lodrino, FRA = Frasco, FUS = Fusio, PIO = Piotta, BED = Bedretto, GUE = Gütsch, ALT = Altdorf, LUZ = Luzern.

sen Gesamtniederschläge im Vorderrheintal waren die entstandenen Schäden (vgl. Schadenkarte Abb. 2) wesentlich bedeutender. Auf die Tatsache, dass aus der absoluten Niederschlagsmenge nicht einfach auf den Abfluss und schon gar nicht auf den Schaden geschlossen werden kann, wird in der Folge noch mehrfach hingewiesen.
Die Niederschläge am 24/25. August waren, wie die Abbildungen 9 und 10 zeigen, in bezug auf Dauer und Niederschlagsumme geringer als die Juli-Ereignisse. Rekorde wurden nur bei den Eintageswerten auf der Göschener Alp (150 mm), in Binn (200 mm), und in Airolo (190 mm) gemessen.
Zur Beschreibung der Niederschläge, insbesondere in bezug auf ihre Abflusswirksamkeit, genügt aber die Angabe der gefallenen Menge nicht. Sie ist untrennbar mit den Parametern «Dauer» und «betroffene Fläche» verbunden. Tabelle 1 beschreibt die relative Häufigkeit der Ereignisse an Hand der Wiederkehrperiode (T) für eine Fläche von 800 km². Auf die Wahrscheinlichkeit von Punktniederschlägen wird nicht näher eingegangen, weil die auslösenden Wetterlagen durch grosse Ausdehnung und lange Dauer charakterisiert waren. Solche Lagen lassen sich besser durch flächenhafte Angaben als durch zahlreiche Einzelpunkte beschreiben.
In Abbildung 11 wird die Abhängigkeit der Niederschlagssumme von der Fläche und der Eintrittswahrscheinlichkeit am Beispiel eines 60stündigen Regens aufgezeigt.

Tabelle 1: Gebietsniederschlag (800 km²) und Eintrittswahrscheinlichkeit

Ereignis Dauer in Stunden	16.–19. Juli Menge in mm	16.–19. Juli Wiederkehrperiode in Jahren	24./25. August Menge in mm	24./25. August Wiederkehrperiode in Jahren
6 h	58	5	45	2
12 h	95	2	65	2
24 h	160	25	115	25
36 h	200	50	160	25
48 h	210	25	170	25
60 h	230	100	170	20
72 h	240	100		

Mit dem Begriff «Wiederkehrperiode» wird versucht, die Eintrittshäufigkeit durch Angabe des Zeitraumes, in dem sich ein Ereignis im Durchschnitt wiederholen kann, quantitativ zu beschreiben. Bei Wiederkehrperioden von mehr als 50 Jahren müssen die numerischen Angaben mit grosser Vorsicht betrachtet werden. Sie sind wegen der stets unzureichenden Datenlage für seltene Ereignisse praktisch nicht bestimmbar. Um den Schwierigkeiten der Definition,

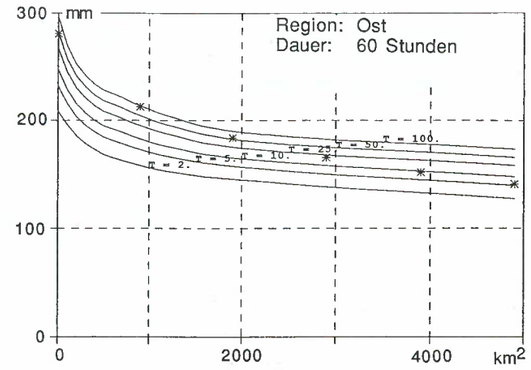


Abb. 11: Diagramm für 2-, 5-, 10-, 25-, 50-, 100jährliche Niederschläge für die Region Ost zur Dauer von 60 Stunden (Referenzperiode 1969–1988). Bei dieser Niederschlagsdauer weist das Ereignis(*) vom 16. Juli 1987, (22 UTC) bis 19. Juli 1987 (10 UTC) die grösste Intensität auf.

Bestimmbarkeit und Aussagegenauigkeit auszuweichen, werden in diesem Bericht für Wiederkehrperioden zwischen 10 und 25 Jahren die Begriffe «selten» für 25 bis 80 Jahre «sehr selten» und für noch grössere Wiederkehrperioden «extrem» verwendet.

Die Tabelle 1 zeigt, dass der Begriff «sehr selten» erst für eine Niederschlagsdauer von mehr als 24 Stunden anwendbar ist. Das Juli-Ereignis war vom Standpunkt der Niederschlagsstatistik das bedeutendere. Die Niederschläge sind aber keineswegs so selten, dass der Schadenverlauf allein durch die Niederschlagsmenge erklärbar wäre.

Zur Beschreibung eines Niederschlagsereignisses gehört auch dessen zeitlicher Verlauf. Die Abbildungen 12 und 13 zeigen den stündlichen Verlauf der Niederschlagsereignisse der Stationen Hinterrhein (Juli) und Bedretto (August). Es lassen sich zwei Charakteristiken feststellen:

– Das Juli-Ereignis beginnt mit hohen Intensitäten, während sich beim August-Ereignis die Intensität mit zunehmender Dauer steigert und zum Abschluss einen atypisch hohen Wert von 40 mm/h aufweist;
– Die Intensitäten im Juli scheinen generell etwas geringer.

Die Station Bedretto dürfte repräsentativ für das Urserental gewesen sein. Wirklich ausserordentlich war das Niederschlagsgeschehen in der Nacht vom 24. auf den 25. August. Nach einem Vorregen von 160 mm am gleichen Tag erhöhte sich um 20 Uhr die Niederschlagsintensität auf ca. 20 mm/h, um sich dann unmittelbar vor Mitternacht noch-

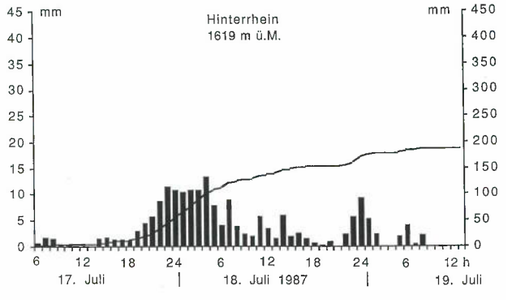


Abb. 12: Stündliche Niederschläge (linke Ordinate) und ihre Summenkurve (rechte Ordinate) der Station Hinterrhein vom 17. Juli bis 19. Juli 1987. Im Vergleich zum Augustereignis (Abb. 13) waren die höchsten Intensitäten eher am Anfang der Niederschlagsperiode zu beobachten.

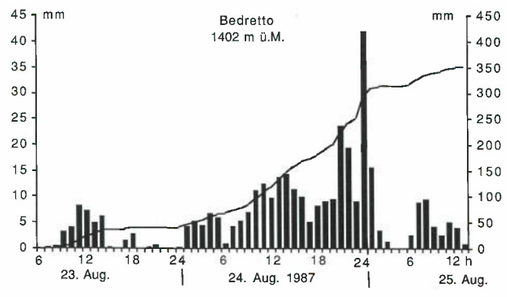


Abb. 13: Stündliche Niederschläge (linke Ordinate) und ihre Summenkurve (rechte Ordinate) der Station Bedretto vom 23. bis 25. August 1987. Entscheidend für den Verlauf der Abflüsse war die stark erhöhte Niederschlagsintensität am 24. August 1987 unmittelbar vor Mitternacht.



Bild 1: Die hochgehende Zarvraggia am 18. Juli 1987 um 16 Uhr.



Bild 2: Die Front des Murganges der Zarvraggia am 18. Juli 1987, nur 15 Minuten nach Bild 1 aufgenommen. Dieses sehr seltene Bild verdeutlicht die zerstörenden Kräfte eines derartigen Ereignisses. Der geschätzte Abfluss beträgt 600 m³/s, die Geschwindigkeit der Front 8 m/s.

mals auf 40 mm/h zu steigern. Derartige Intensitäten sind in grossräumigen Aufgleitvorgängen normalerweise nicht denkbar. Jedoch verursachte im spezifischen Fall das Einfliessen von Kaltluft über den Alpenhauptkamm ins Bedretto eine spontane Hebung der dort liegenden Warmluft.
Eine Niederschlagsintensität von 40 mm/h ist für sich allein betrachtet nicht sehr selten und kann in Andermatt alle 2, in Airolo alle 20 Jahre eintreten. Für die Abflussbildung war jedoch entscheidend, dass sie am Ende einer langen Vorregenperiode auftrat.

Fazit: Die aufgetretenen Niederschlagsummen in 48 bis 60 Stunden sind für Flächen grösser als 800 km² als selten bis sehr selten zu bezeichnen. Aus der Sicht der Niederschlagsstatistik war das Juli-Ereignis das seltenere. Innerhalb des August-Ereignisses zeigte sich in der Region um den Gotthard ein extrem ungünstiger Verlauf der stündlichen Intensitäten.

4.2 Die Abflüsse

4.2.1 Beobachtete Extremabflüsse

Bei der Analyse der Niederschläge wurde festgestellt, dass die Niederschläge in bezug auf die mehrtägige Summe und die beregnete Fläche ungewöhnlich hoch waren. Bei derartigen Niederschlagscharakteristiken wären eigentlich in den grösseren Flusseinzugsgebieten extreme Hochwasser zu erwarten. Dies war nur beim Rhein in Diepoldsau und bei der Reuss in Seedorf der Fall. Bei anderen grösseren Einzugsgebieten, wie beim Rhein in Felsberg, beim Ticino in Bellinzona, der Maggia in Locarno, beim Inn in Martinsbruck und der Rhône in Sion wurden zwar durchwegs hohe Abflüsse, aber keine Spitzenwerte erzielt.
Die hohen Abflüsse im Rheingebiet sind eine Folge der für dieses Einzugsgebiet sehr seltenen, hohen Niederschlagssummen. In der Rekordliste der Niederschläge in Abschnitt 4.1.3 figurieren fast ausschliesslich Stationen des Rheineinzugsgebietes. Trotzdem war der Abfluss des Vorderrheins bei Illanz schon zweimal höher als 1987 (Abb. 14).
Dass Inn und Rhône keine Abflussrekorde erzielten, erklärt sich aus ihrer Lage zum Niederschlagszentrum. Sie wurden nicht in ihrer Gesamtheit überregnet.
Überraschend ist die relativ geringe Bedeutung der Hochwasser für den Ticino in Bellinzona (Einzugsgebiet 1515 km²) und der Maggia in Locarno (Einzugsgebiet 592 km²), lag doch das Niederschlagszentrum in ihren Einzugsgebieten (vgl. Abb. 7 und Abb. 9). Eine Erklärung muss in mehreren Faktoren gesucht werden:

- Im Tessin werden grosse Niederschlagsummen und vor allem grössere Niederschlagsintensitäten häufig beobachtet. Daher sind auch grosse Abflussspitzen häufig und das Hochwasser Juli 1987 ist für den Ticino nicht ungewöhnlich;
- Die im Ereignis aufgetretenen stündlichen Intensitäten waren relativ klein und die zeitliche Verteilung günstig. So erreichte der Ticino in Bellinzona seine Spitze am Vormittag des 18. Juli. In den folgenden 24 Stunden, als die Niederschlagsintensität bereits abnahm, blieb der Abfluss hoch (zwischen 1400 und 1000 m³/s).

Diese Aussagen befriedigen nicht voll, da in einigen Teileinzugsgebieten, wie zum Beispiel im Brenno (Abb.15), bedeutende Hochwasser auftraten. Es zeigt sich, dass mit einfachen summarischen Parametern die Abflussbildung nicht ausreichend beschrieben werden kann.
Als extrem müssen die Abflüsse der Reuss bei Seedorf, aber auch verschiedener Teileinzugsgebiete des Rheins, der Rhône und des Ticino eingestuft werden. Tabelle 2 zeigt die Liste der Stationen, bei denen man ausgesprochen extreme Abflüsse (z. B. 20% über den bisher beobachteten Höchstwerten) feststellte. Zu den Stationen mit extremen Abflüssen sind auch die Messstellen Witenwasserenreuss, Realp und Bedretto zu zählen, die durch die Ereignisse zerstört wurden, sowie die Zuflüsse zu manchen Speicherseen (Lucendro, Orden, Albigna).

Tabelle 2: Extremwerte der Hochwasser 1987

Fluss/Station HHQ	Datum des Ereignisses	Fläche km²	mittl. Höhe m ü. M.	HQ 87 m³/s	vor 1987 m³/s
Somvixerrhein/ Somvix*	19. Juli	21,8	2450	89	68
Ferrerabach/Trun	19. Juli	12,5	2451	25	14
Hinterrhein/ Hinterrhein	19. Juli	53,7	2360	168	121
Brenno/Loderio*	19. Juli	397	1820	510	320
Berninabach/ Pontresina	19. Juli	107	2617	166	120
Poschiavino/La Rösa	19. Juli	14,1	2283	15	10
Ticino/Piotta*	25. Aug.	158	2060	210	130
R. d. Calneggia	25. Aug.	24	1996	104	70
Reuss/Seedorf*	25. Aug.	832	2010	735	560
Rhône/Reckingen*	25. Aug.	215	2306	182	144

*Stationen mit Beobachtungsreihen von über 50 Jahren. HQ87 ist die grösste im Jahre 1987 beobachtete Abflussspitze. Zum Vergleich wurde die grösste vor 1987 beobachtete Abflussmenge angegeben.

Gemeinsames Merkmal ist die grosse mittlere Höhe der Einzugsgebiete. Mit Ausnahme der Reuss in Seedorf und des Brenno in Loderio sind die Flächen der Einzugsgebiete relativ klein. Bei kleinen Einzugsgebieten erwartet man extreme Abflüsse bei Schauerniederschlägen, aber nicht wie 1987 bei Dauerniederschlägen.
Die extremen Abflüsse des August-Ereignisses wurden alle in einem Gebiet eng um den Gotthard beobachtet. Ein wesentlicher Faktor ist somit in der erwähnten Anomalie des Niederschlagsverlaufs in dieser Region zu suchen.

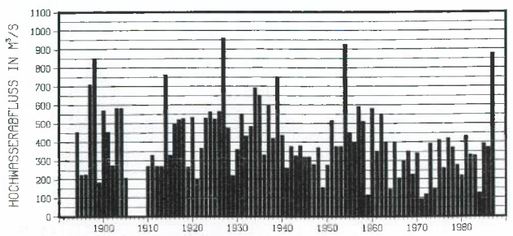


Abb. 14: Grösste beobachtete jährliche Hochwasser der Station Ilanz-Vorderrhein. Ohne die Rückhaltewirkung der Speicher wäre wahrscheinlich ein neuer Höchstwert gesetzt worden.

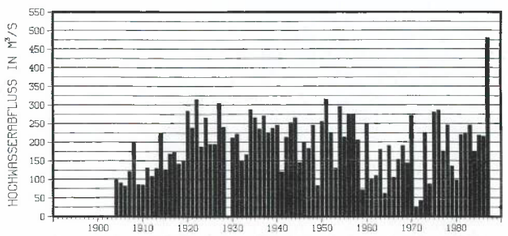


Abb. 15: Grösste beobachtete jährliche Hochwasser der Station Loderio-Brenno. Das Hochwasser 1987 überschreitet hier bei weitem alle bisherigen Messungen.

Dass Extremereignisse auch in der gleichen Region keineswegs immer parallel verlaufen, zeigt zum Beispiel der Vergleich Rosegbach-Berninabach in Tabelle 3, wo das Hochwasser 1987 in zwei angrenzenden Einzugsgebieten einmal im ersten und einmal im dritten Rang erscheint. Diese starken Unterschiede sind bei Gewitterregen angesichts des kleinräumigen Niederschlagsgeschehens normal. Bei relativ grossräumiger Niederschlagsentstehung, wie dies 1987 ausgeprägt der Fall war, sind in der Niederschlagsbelastung der Einzugsgebiete eher kleine lokale Unterschiede zu erwarten.

Tabelle 3: Rangliste der Hochwasser Berninabach-Rosseggbach

Berninabach Einzugsgebiet 107 km² Jahr	Spitzenabfluss	Rosseggbach Einzugsgebiet 66,5 km² Jahr	Spitzenabfluss
1954	115 m³/s	1987	166 m³/s
1956	67 m³/s	1954	130 m³/s
1987	55 m³/s	1956	92 m³/s

Die Schäden im schwer geprüften Puschlav sind weniger auf extreme Abflüsse, als auf extreme Geschiebezufuhr zurückzuführen. Diese führte zum Ausufern des Poschiavinos und in der Folge zu schweren Überschwemmungen im Ort.

Fazit: Das August-Ereignis erzeugte im Raum um den Gotthard extreme Hochwasser, die alle bisherigen Messungen übertrafen. Hier müssen die Niederschlagsbedingungen auf engem Raum eine wesentliche Rolle bei der Hochwasserbildung gespielt haben, da praktisch alle Stationen in diesem Gebiet Abflussrekorde aufzeichneten. Weniger klar ist die Situation bei den Juli-Ereignissen. Extreme Abflüsse wurden im Bleniotal, am Hinterrhein, im Sumvitg und im Raum Bernina beobachtet. In den übrigen vom Niederschlag betroffenen Gebieten wurden hohe und höchste Abflüsse festgestellt, die aber noch innerhalb des bisher erfassten Messbereichs liegen.

4.2.2 Die Abflussbildung am Beispiel Witenwasserenreuss

Die massgebenden Faktoren der Abflussbildung in hochalpinen Lagen werden am Beispiel der Witenwasserenreuss im Kanton Uri beschrieben. Die hochalpine Lage des Einzugsgebietes bedeutet:

- einen hohen Anteil an Fels und Gletscherflächen, auf denen das Wasser ohne jede Verzögerung abfliesst;
- meist steile Hänge mit geringen oberflächennahen Speichermöglichkeiten;
- generell tiefe Temperaturen und eine schüttere Pflanzendecke mit geringer Evapotranspiration;
- Speicherung des Niederschlags während eines Grossteils des Jahres als Schnee;
- hohe Abflüsse und hohe Bodensättigung während der Schneeschmelze.

Diese Faktoren sind stark höhenstufenabhängig. Für das Einzugsgebiet der Witenwasserenreuss mit einer mittleren Höhe von 2430 m ü. M. ist bei einem Jahresniederschlag von 2100 mm nur mit einer jährlichen Verdunstung von 100 mm zu rechnen. In den Höhenstufen zwischen 1450 und 1800 m ü. M., d. h. zwischen dem Urseren-Talboden und der potentiellen Waldgrenze, reduziert sich der Jahresniederschlag auf 1730 mm und erhöht sich die Verdunstung auf 310 mm (alpiner Rasen). Bei einer Fichtenwaldbestockung würde die Verdunstung sogar auf 560 mm im Jahr ansteigen.
Dieser Zahlenvergleich soll zeigen, dass der Niederschlag in den höchsten Gipfelregionen fast unvermindert zum Abfluss gelangt. Der Wasserrückhalt erfolgt meist als Speicherung in Form von Schnee. Dementsprechend ist in der langen Zeitspanne, in der die Temperaturen unter Null Grad liegen, die Hochwasserbildung gehemmt.
Das Einzugsgebiet der Witenwasserenreuss weist eine Fläche von 30.7 km² auf, wovon 14% vergletschert, 6% Fels, 25% Geröllhalden und 55% meist mit alpinem Rasen bewachsene Moränen sind.
Hochalpine Böden sind meist schwach entwickelt. Überraschenderweise zeigten die Bodenuntersuchungen im Urserental 80 bis 100 cm tiefe Moränenböden, die teilweise als Reliktböden eines Waldes gedeutet werden können. Dies, obwohl das Urserental sicher seit 200, höchstwahrscheinlich aber seit 500 Jahren waldfrei ist. Die Böden weisen eine gute Durchlässigkeit und ein hohes Wasserspeichervermögen (ca. 300 mm) auf.
Leider finden sich diese guten Böden nur in etwa 20% des Einzugsgebietes der Witenwasserenreuss. Angesichts der hochalpinen Lage können hier die natürlichen Speichermöglichkeiten dennoch als gut bezeichnet werden. Es fehlen jedoch die Pflanzen als Wasserverbraucher.
In der Zeit vom 23. bis 25. August fielen im Einzugsgebiet der Witenwasserenreuss etwa 270 mm Niederschlag. Abbildung 17 zeigt den Niederschlagsverlauf und die simulierte Abflussganglinie. Weil die Messstation beim Ereignis zerstört wurde, liegt keine Messung vor. Das Modell wurde aber auf Grund der Messungen in den vorangehenden 10 Jahren verifiziert. Man erkennt, dass die Abflussganglinie der Niederschlagsganglinie mit leichter Verzögerung folgt. Nach etwa 40 h Dauer – also kurz vor Mitternacht des 24. August 1987 – steigen sowohl die Regenintensität als auch der Abfluss stark an. Die Erklärung für den überproportionalen Anstieg des Abflusses ist einfach: In der Anfangsphase des Niederschlags konnte der Boden noch Wasser aufnehmen; zum Abfluss gelangte nur der Überschuss. Nach fast 200 mm Vorregen waren alle Speicherkapazitäten erschöpft. Dem einfachen Gesetz folgend «Ist ein Gefäss voll, führt jeder weitere Tropfen zum Überlaufen», musste jeder zusätzliche Niederschlag direkt abfliessen. Auch die relativ gut speichernden Böden des Urserentals waren unter diesen Bedingungen überfordert. Abbildung 16 zeigt, wie die ersten 50 mm des Niederschlags praktisch abflusslos im Boden gespeichert werden. Mit zunehmender Niederschlagsmenge nimmt die zurückgehaltene Wassermenge ab.
Wäre der hohe Niederschlag (40 mm/h) nicht am Ende, sondern am Anfang der Regenperiode gefallen, hätte die

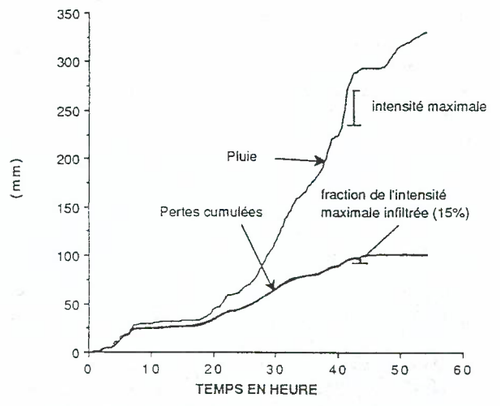


Abb. 16: Summenlinien von Niederschlag und Infiltration für das Ereignis vom 24./25. August 1987 in der Witenwasserenreuss. Man erkennt, wie am Beginn fast der gesamte Niederschlag versickert und wie gegen Ende des Regens die Aufnahmefähigkeit des Bodens weitgehend erschöpft ist.



Bild 3: Poschiavo, Brücke bei Cimavilla. Durch die grosse Geschiebebelastung des Poschiavino verstopfte sich der Durchlass der Brücke. Der Fluss uferte aus und suchte sich neue Wege.



Bild 4: Poschiavo La Rasiga. Hat das Wasser einmal sein Bett verlassen, werden seine Wege unberechenbar. Hier strömt es auf der Strasse und benützt sogar die Brücke über den Poschiavino.



Bild 5: Val Viale im Puschlav. Murgänge können an beliebigen Stellen am Schuttkegel zum Stillstand kommen. Hier geschah es zwischen zwei Brücken, wobei die gesamten Feststoffmassen offensichtlich die obere Brücke passieren konnten.



Bild 6: Poschiavo «La piazza comunale» am Tag danach. Der Murgang erreichte hier nicht die Ortschaft, wie z.B. in Münster: Die grossen Geschiebemengen wurden durch den ausufernden Poschiavino in die Ortschaft transportiert.

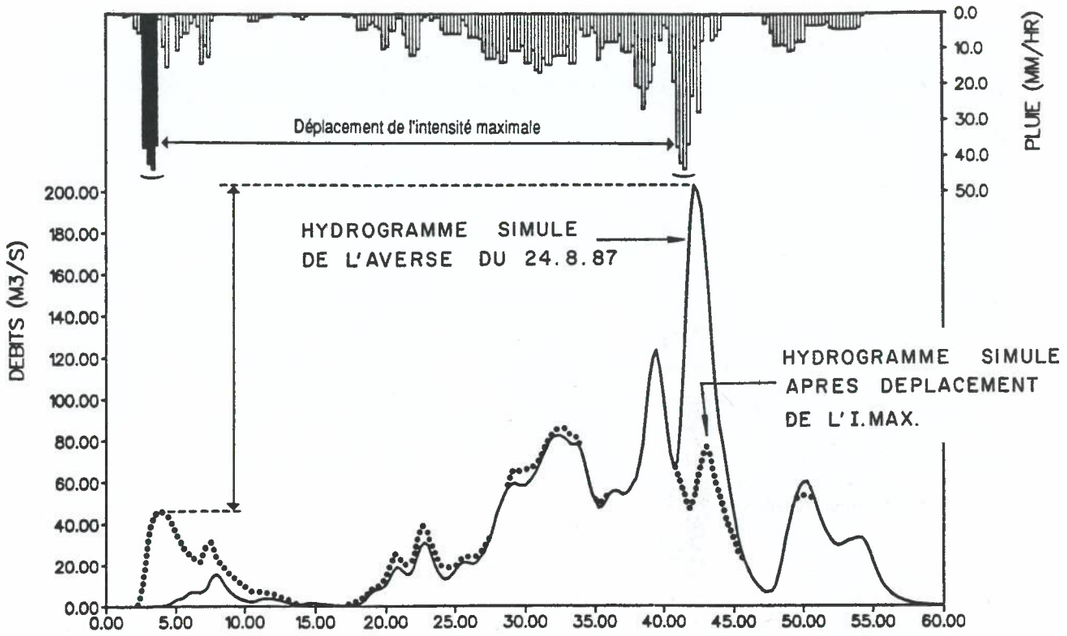


Abb. 17: Simulation des Ereignisses vom 24./25. August in der Witenwasserenreuss. Wäre die grösste Niederschlagsintensität nicht am Ende, sondern am Anfang des Ereignisses gefallen, hätte sie nur einen Abfluss von 50 m³/s statt 200 m³/s erzeugt.

gleiche Intensität des Niederschlages nicht einen Abfluss von 200 m³/s, sondern nur einen von ca. 50 m³/s erzeugt (punktierte Kurve in Abb. 17).

Dass kleine, steile Einzugsgebiete rasch auf Schwankungen der Regenintensität reagieren und dass die Vorgeschichte ein wesentliches Merkmal der Abflussbildung ist, sind bekannte Beobachtungen. Überraschend ist der quantitative Aspekt. Eine Niederschlagsintensität von 40 mm/h tritt am Gotthard etwa alle 2 Jahre (in Airolo allerdings nur etwa alle 20 Jahre) auf. Dass eine solch häufige Niederschlagsintensität ein derart extremes Hochwasser erzeugt, entspricht nicht den gängigen Modellvorstellungen. Es zeigt das Unvermögen einseitig parameterisierter Modelle, extreme Situationen richtig zu beschreiben. Nur das gleichzeitige Auftreten einer erhöhten Niederschlagsintensität, einer hohen Vorregensumme und einer hohen Nullgradgrenze führte am 24./25. August 1987 zu den Spitzenabflüssen. Auch wenn kein einzelner der drei Parameter für sich allein als selten bezeichnet werden kann, ist das gleichzeitige Eintreten in dieser Kombination sehr selten.

Abbildung 17 zeigt, dass bei den für grossflächige und langdauernde Ereignisse typischen stündlichen Intensitäten von 10 bis 20 mm/h der Abfluss 80 bis 110 m³/s erreicht hätte, also um 60–45 % unter den Maximalwerten geblieben wäre. Hätte die Niederschlagsintensität vor Mitternacht nur 20 statt 40 mm/h erreicht, so wäre der Abfluss um 50–60 m³/s kleiner gewesen. Dies, auch wenn die gesamte Regenmenge gleich geblieben wäre (Abb. 18).

Fazit: Eine hohe Vorregensumme führte im Gebiet der Witenwasserenreuss zu einer Sättigung der Böden. Als sich am Ende des Niederschlagsereignisses die Intensität noch auf 40 mm/h steigerte, waren alle Speichermöglichkeiten erschöpft und der Niederschlag gelangte unverzögert zum Abfluss. Hohe Gesamtniederschläge mit einer ungünstigen Verteilung innerhalb des Ereignisses bei gleichzeitig hoher Nullgradgrenze führten zu den Spitzenabflüssen.

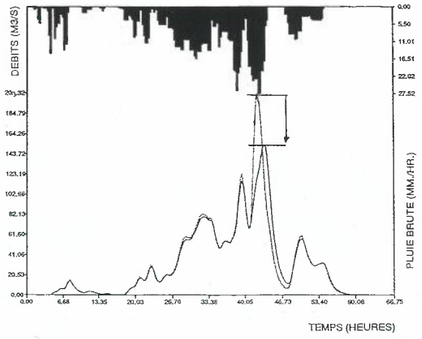


Abb. 18: Simulation des Ereignisses vom 24./25. August in der Witenwasserenreuss. Wären kurz vor Mitternacht 40 mm Niederschlag in zwei statt in einer Stunde gefallen, so wäre der Spitzenabfluss von 200 auf 150 m³/s zurückgegangen.

4.2.3 Die anderen Einzugsgebiete

Die für die Witenwasserenreuss geschilderten Zusammenhänge gelten weitgehend für das gesamte Gotthardgebiet. Als Verwitterungsprodukt des kristallinen Grundgesteins entstehen ähnliche, meist gut durchlässige Böden mit einem geringen Ton- und Schluffanteil. Die Speicherkapazität dieser Böden bestimmt den grossen Einfluss der Vorregensumme. So zeigten die Untersuchungen im Bedretto grundsätzlich ein gleiches Verhalten. Die Unterschiede beider Einzugsgebiete sind gering. Der Lärchen-Fichtenwald im Bedretto bildet eine weniger mächtige Rohhumusauflage als ein reiner, seit Jahrhunderten bestehender Fichtenwald, wie er z.B. im Bannwald von Andermatt im Urserental anzutreffen ist. Wegen der leicht geringeren Höhenlage ist die Verdunstung etwas grösser. Die Abflussimulationen zeigen gleichfalls, dass erst bedeutende Niederschlagsummen zu einer weitgehenden Sättigung des Bodens führen. Als sich nach diesen Vorregen die Niederschlagsintensität steigerte, traten Spitzenabflüsse auf.

Zu den Niederschlagsereignissen im Juli wurden keine detaillierten Abflussimulationen durchgeführt. Die Niederschlagsganglinie von Hinterrhein (Abb. 12) zeigt in Bezug auf die stündliche Intensitätsverteilung einen weitaus günstigeren Verlauf als jene des Bedrettos (Abb. 13). Somit wird auch erklärlich, dass trotz des höheren Gesamtniederschlags und trotz der wahrscheinlich ungünstigeren Vorbedingungen (unmittelbar nach der Schneeschmelze) nur eine begrenzte Anzahl von wirklich extremen Abflüssen in dem grossen betroffenen Gebiet festgestellt wurde. Ob, ähnlich wie in der Witenwasserenreuss, ein eingelagerter Schauerregen örtlich (zum Beispiel im Raum Trun–Somvix) für extreme Hochwasser verantwortlich war, kann wegen des grobmaschigen Netzes der registrierenden Niederschlagsstationen nicht ausgesagt werden.

Zum Geschehen im Bleniotal sind wir weitgehend auf Mutmassungen angewiesen. Die östliche Talflanke zeigte eine deutliche Murgang- und Wildbachaktivität. Der Brenno setzte in Loderio einen neuen Abflussrekord (Abb. 15), der das grosse Schadenhochwasser von 1978 deutlich übertraf. Aus meteorologischen Gesamtüberlegungen wäre auf der westlichen Talflanke mehr Niederschlag als auf der östlichen zu erwarten gewesen. Diese Talflanke zeigte aber sehr wenige Erosionsspuren und keine Murgangaktivität. Begehungen der Bäche zeigten viel transportfähiges Geschiebe, aber keine Spuren extremer Abflüsse. Mangels belegbarer Messungen auf beiden Talseiten ist das Feld für Hypothesen offen.

Einige besondere Anmerkungen sind zum Reusshochwasser in Seedorf angebracht. Der Mechanismus der Entstehung in den Einzugsgebieten oberhalb Andermatt und im Gebiet Göschener Alp wurde bereits geschildert. Das extreme Ereignis in Seedorf entstand durch eine Überlagerung zahlreicher Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet. Obwohl die Abflüsse in den einzelnen Zubringern jeweils nicht extrem waren, ergab sich aus deren Summation in Seedorf ein Abfluss, der um ca. 45 % über dem nächstgrösseren gemessenen Hochwasser (1917, 550 m³/s) lag. Die Dammbrüche in der Reussebene, durch die kurzfristig bis zu 400 m³/s aus dem Reussbett ausströmten, verkleinerten den Spitzenabfluss an der Pegelstelle von ca. 800 m³/s auf etwa 735 m³/s. Die Speicher Göschener Alp und in kleinerem Masse Lucendro verminderten durch einen Rückhalt von 7.3 Mio m³ den Spitzenabfluss um ca. 100–150 m³/s.

Fazit: Für die Hochwasser vom 24./25. August im Raume Gotthard war der Niederschlagsverlauf entscheidend. Die Datenlage erlaubt keine gleichwertige Analyse für die Hochwasser vom 16. bis 19. Juli, doch sind grundsätzlich die gleichen Prozesse anzunehmen. Lokale Faktoren können sehr leicht aus einem seltenen ein extremes Ereignis machen.

4.2.4 Was wäre, wenn...?

4.2.4.1 Was wäre, wenn das Einzugsgebiet mehr Wald aufweisen würde?

In hochgelegenen Alpentälern, wie beispielsweise im Urserental, kann der Waldanteil aus klimatischen Gründen einen bescheidenen Prozentsatz an der Gesamtfläche nicht überschreiten. In diesen Höhenlagen begrenzt die geringe Transpiration die entwässernde Wirkung der Vegetation. So erstaunt es wenig, dass für das Ereignis August 1987 das Abflussvolumen im Urserental auch bei maximal möglicher Bewaldung nur um 5 mm (d. h. von 132 auf 127 mm) vermindert würde. Im Bedrettotal würde eine Erhöhung des Waldanteils von derzeit 5 % auf die maximal möglichen 15 % bloss zu einer Abflussreduktion von 167 auf 160 mm führen. Mangels Wald und angesichts des geringen Einflusses, den selbst ein gesunder Wald in diesen Höhenlagen hätte, erübrigt sich die Diskussion um den Einfluss des Waldzustandes bzw. des Waldsterbens.



Abb. 19: Mittlere jährliche Wasserbilanzkomponenten (1978–1989) für den bewaldeten und unbewaldeten Zustand im Biembach.

Grössere Einflüsse des Waldes sind aber im Alpenvorland und im Mittelland zu erwarten. Deshalb wurde zusätzlich das Gebiet des Biembaches (Emmental, BE) untersucht. Hier verursachte am 1. Juli 1987 ein lokales Gewitter ein Hochwasser, das auch ein Todesopfer forderte. In diesem Gebiet mit einer mittleren Höhenlage von 788 m ü. M. beeinflusst die unterschiedliche Evapotranspiration von Wald (702 mm) und Wiese (452 mm) die Jahreswasserbilanz signifikant (Abb. 19). Niederschlag, Verdunstung und Tiefensickerung bestimmen den Verlauf des Sättigungsdefizites (Abb. 20). Dieses Defizit ist ein Mass des freien Porenvolumens. Je grösser es ist, um so mehr Niederschlag kann zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Boden gespeichert werden. Am 1. Juli fielen ca. 80 mm Niederschlag, davon ca. 60 mm in der Zeit von 13 bis 14 Uhr. Nach den Berechnungen betrug der Abfluss von Wiesenflächen 21 mm und von Waldflächen 18 mm. Wäre der Niederschlag nach einer Trockenperiode gefallen, hätte er vom Wald völlig aufgenommen werden können. Von Wiesenflächen wären noch 7 mm abgeflossen (dass wegen der kurzfristigen hohen Schauerintensität trotzdem noch ein Abfluss aufgetreten wäre, können diese auf Tagesbasis durchgeführten Berechnungen nicht zeigen).

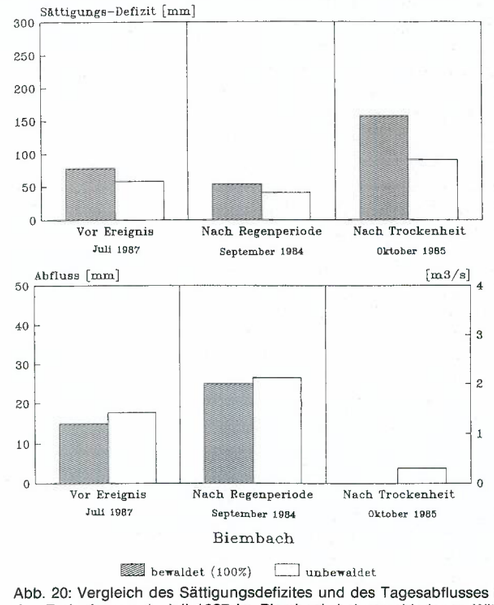


Abb. 20: Vergleich des Sättigungsdefizites und des Tagesabflusses für das Ereignis vom 1. Juli 1987 im Biembach bei verschiedenen Witterungslagen vor dem Ereignis.



Bild 7: Die Dämme der Rhône waren durch hohe Wasserstände, aber auch durch Erosion der luftseitigen Böschung infolge Durchsickerung stark gefährdet.



Bild 8: Die Überschwemmung in der Urner Reussebene. Was an der Rhône knapp vermieden werden konnte, trat in Uri ein – die Dämme brachen.



Bild 9: Durch den Murgang der Zarvraggia wurde der Rhein zurückgestaut und suchte sich temporär einen Abfluss durch den Tunnel der Rhätischen Bahn. Derartige Folgeschäden sind typisch für Murgänge, die den Vorfluter erreichen.



Bild 10: Rückstau kann nicht nur durch Geschiebe, sondern auch durch verstopfte Brücken verursacht werden. Oft ist es Holz, oft ist es Geschiebe, meist jedoch eine Kombination von beidem, die das Hindernis bildet.

Beim Wald traten in allen untersuchten Fällen kleinere Abflüsse als bei der Vergleichswiese auf. Es zeigte sich aber, dass der Einfluss der Vorgeschichte und des Bodens weit grösser ist, als der Unterschied durch die Vegetation. Die Böden im Biembach, im Urseren- und Bedrettotal sind alle gut durchlässig. Die Untersuchungen wurden daher noch um ein Einzugsgebiet mit schwer durchlässigen Böden erweitert. Der Erlenbach im Alpthal (SZ) liegt in der Flyschzone. Für die vier Einzugsgebiete wurde eine gleiche Vorgeschichte und ein gleicher dreitägiger Gesamtniederschlag von 267 mm (Ereignis August 1987 im Urserental) angenommen. In den drei erstgenannten Gebieten werden von der Gesamtmenge zwischen 130 und 160 mm Niederschlag zurückgehalten (Abb. 21); im Erlenbach trotz des hohen Waldanteils nur 40 mm. Die Ursache des hohen Abflusses im Erlenbach sind die ungünstigen Bodeneigenschaften, welche die positive Wirkung des Waldes überdekken. Da die guten Böden meist landwirtschaftlich bewirtschaftet werden und an den ungünstigeren Standorten der Wald belassen wird, ist der Beweis der positiven Waldwirkung an Hand von Naturbeobachtungen im Einzelfall nur schwierig zu erbringen. Eine zweiparametrige Darstellung «Abfluss – Wald» ist nur dann aussagekräftig, wenn die anderen Parameter (wie Niederschlag, Topographie und geologischer Untergrund) gleich sind.

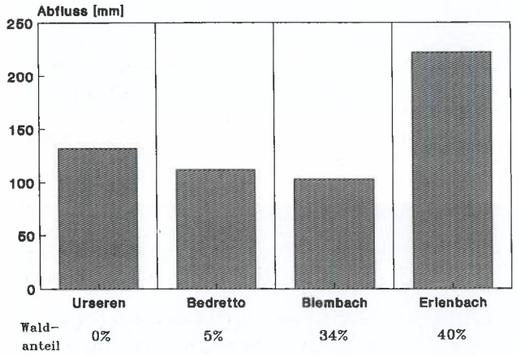


Abb. 21: 3tägige Abflussvolumina nach einem Niederschlag von 267 mm (Augustereignis 1987 im Urseren) in verschiedenen Einzugsgebieten.

Die bisherigen Aussagen gelten für die gesamte Abflussmenge und beruhen auf Simulationsrechnungen mit Zeitschritten von einem Tag. Für Aussagen zu den Spitzenabflüssen sind Berechnungen mit kürzeren Zeitschritten notwendig. Wie am Beispiel der Witenwasserenreuss in Abschnitt 4.2.2 gezeigt wurde, traten die grössten Niederschlagsintensitäten erst am Ende einer langen Vorregenperiode auf, zu einem Zeitpunkt, zu dem selbst die aufnahmefähigsten Böden praktisch gesättigt waren. Somit war unter den gegebenen Bedingungen vom Wald kein dämpfender Einfluss auf die Spitzenabflüsse zu erwarten, was auch die durchgeführten Berechnungen aufzeigten.

Fazit: In hochalpinen Lagen, wie sie den Kerngebieten der Unwetter 1987 entsprechen, ist aus klimatischen Gründen nur ein kleiner Teil überhaupt aufforstbar. Dementsprechend hätte auch eine maximal mögliche Bewaldung den Abfluss kaum verkleinert. In tieferen Lagen wird die grössere Entwässerungswirkung des Waldes im Vergleich zur Wiese immer deutlich. Der Einfluss der Vegetation ist aber im Vergleich zur Bedeutung der Witterungsvorgeschichte und den vom geologischen Substrat abhängigen Bodeneigenschaften verhältnismässig gering.

4.2.4.2 Was wäre, wenn weniger Flächen versiegelt, weniger Strassen gebaut und weniger Flüsse begradigt worden wären?

Dort, wo die Juli- und Augusthochwasser des Jahres 1987 entstanden, sind die direkt vom Menschen beeinflussten Flächen dermassen klein, dass die Frage umgekehrt gestellt werden musste. Es wurde untersucht, wie der Abfluss gestiegen wäre, hätte man einen «Skizirkus» oder eine ähnliche touristische Grosserschliessung eingerichtet. Die Untersuchungen zeigten, dass sich derartige Landschaftseingriffe auf die Hochwasser des Typus 1987 grossräumig praktisch nicht ausgewirkt hätten, denn:

- grosse Teile der Einzugsgebiete sind bereits natürlich versiegelt (Fels, Gletscher), so dass keine zusätzliche Abflussverstärkung denkbar ist;
- wesentliche Teile der Einzugsgebiete sind unwegsam oder von Schutthalden überdeckt und nicht nutzbar, so dass die verbleibenden beeinflussbaren Teilflächen keinen signifikanten Einfluss auf das Abflussgeschehen mehr haben können;
- die steilen alpinen Einzugsgebiete weisen von Natur aus nur einen sehr geringen oberflächlichen Rückhalt von Wasser auf. Beschleunigungen des Abflusses sind daher nur in begrenztem Masse möglich;
- das bereits mehrfach erwähnte Auftreten der grössten Niederschlagsintensität nach grossem Vorregen hatte alle natürlichen Speicher gefüllt.

Da im Mittelland die mögliche Beeinflussung des Naturraumes durch den Menschen wesentlich grösser ist, wurden Simulationsrechnungen für die Petite Glâne, ein 43.3 km² grosses Einzugsgebiet, durchgeführt. Zur Verdeutlichung der Effekte verschiedener Massnahmen wurde das Gesamtgebiet in 7 Teileinzugsgebiete mit Flächen zwischen 3.9 und 7.8 km² aufgeteilt. Als Niederschlagsereignis wurde jenes vom 25. September 1987 gewählt, als in 48 h 170 mm Regen fielen. Verschiedenste Eingriffe wie Aufforsten und Abholzen, Versiegelung, Strassenbau, Siedlungserweiterung und Gewässerregulierungen wurden simuliert. Die Auswirkungen auf den Spitzenabfluss des Gesamteinzugsgebietes blieben immer unter 10%. Auf dem Niveau der Teileinzugsgebiete wurden nur dann höhere Prozentsätze festgestellt, wenn diese Gebiete fundamental (d. h. zu 30 bis 50%) verändert wurden. Der relativ grösste Einfluss wurde bei Veränderungen der Gerinnedichte festgestellt (Abb. 22). Die Gründe für die relativ geringfügige Reaktion des Abflusses auf die simulierten Veränderungen liegen in der Natur von Extremereignissen. Ein extremes Niederschlagsereignis erzeugt in allen Fällen einen hohen Abfluss. Signifikante Erhöhungen der Abflussspitzen erfordern daher überproportionale Eingriffe in das Abflusssystem. Die Auswirkungen der menschlichen Veränderungen sind im Bereich der häufigen kleineren Hochwasser zu erwarten, deren Untersuchung aber nicht im Aufgabenbereich dieser Studie lag.
Aus der Schlussfolgerung, dass bei den untersuchten extremen Ereignissen menschliche Eingriffe keinen oder nur einen geringfügigen Einfluss auf das Naturereignis haben, darf aber keinesfalls geschlossen werden, dass Hochwassergrösse und -häufigkeit grundsätzlich nicht beeinflussbar sind. Die entscheidenden Prozesse können wie folgt beschrieben werden:

- Zum Auffüllen der vorhandenen natürlichen Speicher bedarf es grosser Niederschlagsmengen. Diese sind selten;
- Um hohe Abflussspitzen zu erzeugen, müssen zusätzlich Schauerniederschläge auf den gesättigten Boden fallen. Diese Kombination ist sehr selten;

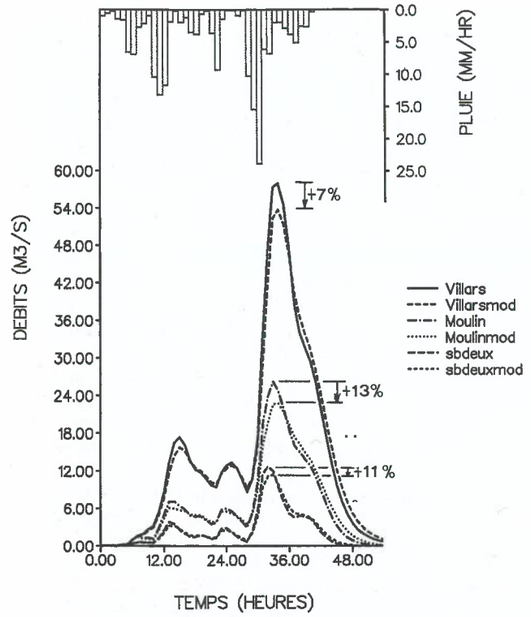


Abb. 22: Einfluss der seit Beginn des Jahrhunderts ausgeführten Gewässerregulierungen auf den Abfluss von Teileinzugsgebieten der Petite-Glâne.

- Wird der natürliche Speicherraum durch Entwaldung, Versiegelung oder Gewässerregulierung deutlich verringert, so ist der Sättigungszustand rascher erreicht und Schauerniederschläge wirken rascher abflussbildend: Dies führt zu einer grösseren Häufigkeit mittlerer Hochwasser. Weil die massgebenden Intensitäten des Niederschlags unabhängig vom Bodenzustand sind, müssen die Absolutwerte der Spitzenabflüsse nicht unbedingt auch ansteigen. Im bereits erwähnten Vergleich: Der Überlauf bei einem vollen Gefäss ist vor allem vom Zufluss, aber kaum von der Gefässgrösse abhängig. Ersterer ist entscheidend für die Überlaufmenge und letzterer für die Frage, ob das Gefäss überläuft.

Fazit: Die Bildung der Spitzenabflüsse der Hochwasser 1987 wurde durch menschliche Eingriffe in die Landschaft kaum beeinflusst. Dies, weil die betroffenen Räume grössere Eingriffe in das Abflussregime ohnehin ausschliessen oder die Niederschlagssumme und der Niederschlagsverlauf bei diesem Ereignis derart ungünstige Bedingungen schufen, dass weitere Einflüsse nicht mehr wirksam waren. Eingriffe, die zu einer substantiellen Verminderung der Speicherkapazitäten führen, können aber die Häufigkeit mittlerer Hochwasser erhöhen.

4.2.4.3 Was wäre, wenn die Speicher der Kraftwerke voll oder gar nicht vorhanden gewesen wären?

Der Nutzinhalt der Speicher im Schweizer Einzugsgebiet des Alpenrheins beträgt ca 620 Mio m³. Abbildung 23 zeigt den typischen Jahresgang der Füllungskurven. Die verzögerte Schneeschmelze führte bis Anfang Juni 1987 zu leicht unternormalen Wasserständen. Durch hohe Niederschläge und die einsetzende Schneeschmelze erfolgte im Juni ein rascher Anstieg. Als am 17. Juli 1987 die Starkniederschläge einsetzten, konnten die Speicher oft den gesamten Zufluss ihrer Teileinzugsgebiete aufnehmen. Gesamthaft wurden innert 48 Stunden rund 50 Mio m³ gespeichert, was einer Abflussmenge von ca. 300 m³/s entspricht. Ohne diese Speicherung wäre der Spitzenabfluss im Rhein oberhalb des Bodensees bei Diepoldsau von den gemessenen 2660 m³/s auf nahezu 3000 m³/s erhöht worden. Grosse Schäden dürften durch den Rückhalt auch im Valsertal und im Bergell verhindert worden sein. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Rückhaltewirkung einzelner Speicher.

Tabelle 4: Rückhaltewirkung einzelner Speicher vom 17. bis 19. Juli 1987

Speicher	zurückgehaltenes Volumen in Mio. m³	Abflussreduktion in m³/s	
		Durchschnitt in 48 Stunden	mögliche Spitzenreduktion
Albigna	8,2	50	120
Orden	1,7	10	80
Lago Bianco	2,5	15	35
Livigno	8	45	
Marmorera	1	6	40
Valle di Lei/Sufers	17	100	
Santa Maria	6,4	35	80
Nalps	5,2	30	70
Zervreila	15	86	120

Am 24./25. August konnten grosse Wassermengen von den Speichern aufgenommen werden. Im Oberhasli wurden 12 Mio m³ zurückgehalten, so dass sich der Spitzenabfluss der Aare bei Brienzwiler um mindestens 70 m³/s reduzierte.
Von entscheidender Bedeutung war der Speicherrückhalt im Einzugsgebiet der Rhône. In Mattmark, Gries und im Lac des Dix konnten 10 Mio m³ gespeichert werden, was einer mittleren Reduktion des Abflusses über 48 Stunden von 60 m³/s entsprach. Die Abminderung der Spitze dürfte über 100 m³/s betragen haben. Bedenkt man, dass der Spitzenabfluss der Rhône bei Brig 490 m³/s betrug und der Wasserspiegel stellenweise nur wenige Dezimeter unter der Krone der Hochwasserschutzdämme lag, lässt sich leicht vorstellen, dass ohne Kraftwerksspeicher ein Überströmen oder ein Bruch der infolge von Durchsickerungen bereits stark gefährdeten Dämme (Bild 7) die wahrscheinliche Folge gewesen wäre.
Detailliert untersucht wurden die Speicherwirkungen im Reusstal. Lucendro und Göschener Alp haben zusammen 7.3 Mio m³ zurückgehalten, was einem 48-Stundendurchschnitt von 42 m³/s entspricht. Auf Grund der vorhandenen Indizien und der hydrodynamischen Berechnungen liess sich aufzeigen, dass ohne den Speicher der Spitzenabfluss bei der Göschener Alp um 100 bis 150 m³/s höher gewesen wäre. Bedenkt man, wie knapp das Autobahnviadukt bei Wassen einem Einsturz entging, so hätte der Abfluss ohne die Rückhaltewirkung der Kraftwerksspeicher zu einem lange dauernden Unterbruch der Nationalstrasse und zu

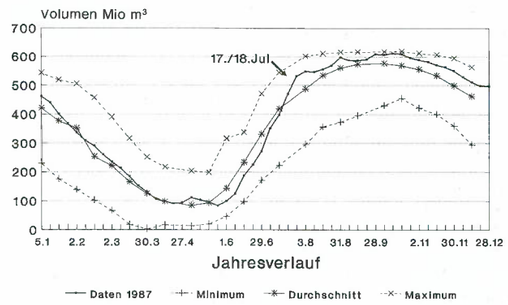


Abb. 23: Verlauf der Speicherfüllung im Rheineinzugsgebiet. Es werden der Mittelwert und die Extremwerte der Periode 1963–1989 sowie die wöchentlichen Werte des Jahres 1987 aufgezeigt. Die Ordinate gibt die Summe der Inhalte aller Speicher oberhalb von Chur.

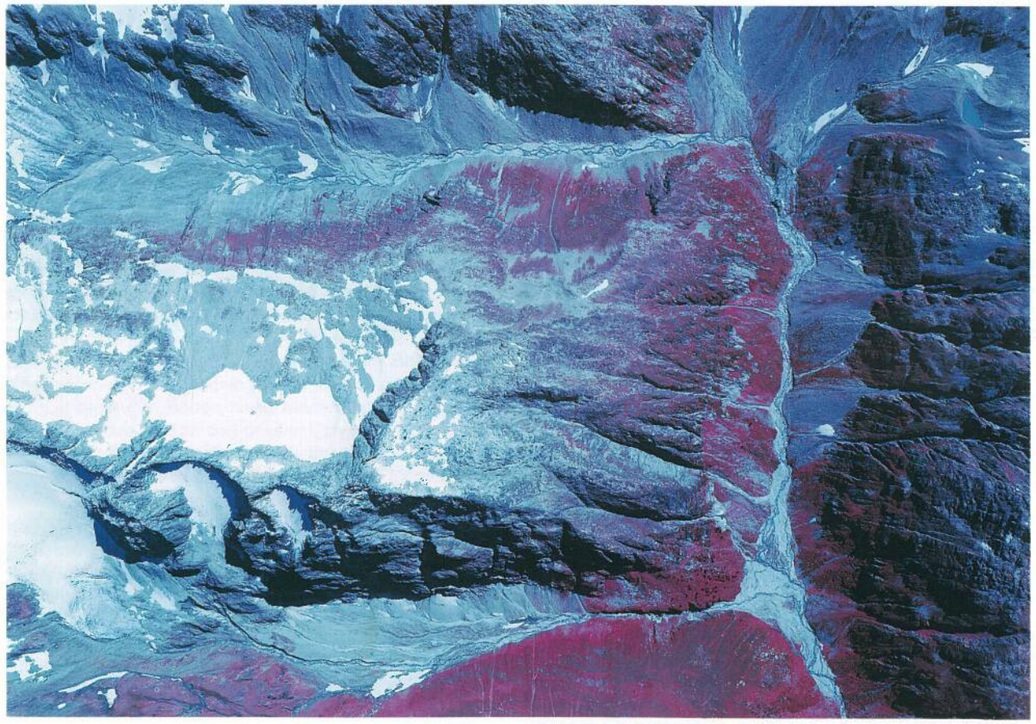


Bild 11: Ausschnitt des Gerentals (Obergoms, VS) aus einem Infrarotbild. Erkennbar sind die Murgangspuren im hinteren Gerental sowie im Saastal, einem Seitental.

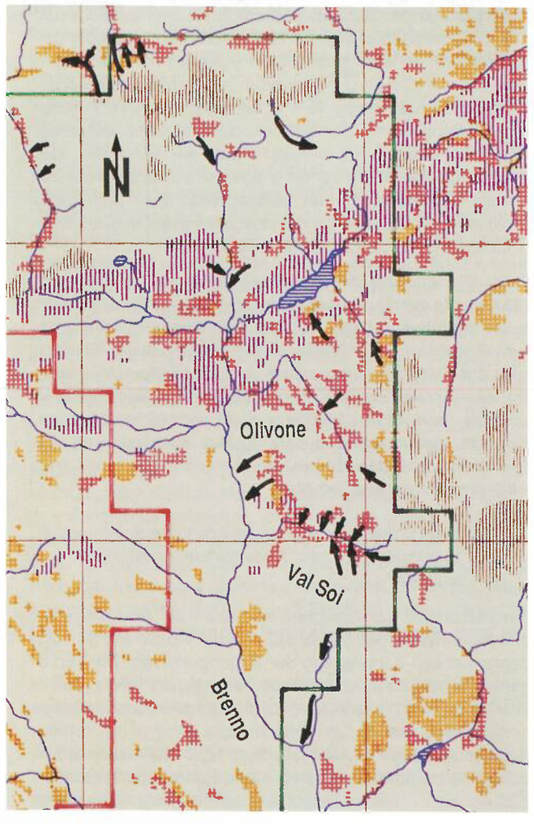


Bild 12: Farbkarte als Resultat der Datenbankanalyse, gebildet durch Verschneidung der Hangneigungsgebiete 26–45° mit verschiedenen geotechnischen Einheiten. Der Ausschnitt zeigt das Val Blenio in der Umgebung von Olivone.

Legende der Signaturen:

schwarze Pfeile = Murgänge am 18./19. Juli 1987

Grenzen der Niederschlagsintensitäten: westlich der grünen Linie > 25 mm/3 h, westlich der roten Linie > 35 mm/3 h

Schraffuren: blau = Gewässer

schwarz = Gletscher

orange = Moränen

rot = Bergsturzmaterial/Gehängeschutt/Gehängelehme (Lockermaterial)

violett = Phyllite/Schiefer (Festgesteine).



Bild 13: Anrisszone des Murganges der Varuna (rinnenförmiger Typ). Man erkennt am Bildrand die Spuren älterer Murgänge. Das Phänomen der Verflüssigung ist eher häufig, aber selten werden so grosse Massenumsätze wie 1987 erreicht. Die Auslösung erfolgte am oberen Ende der Schutthalde.



Bild 14: Murganganrisse in der Witenwasserenreuss (Typ muschelförmiger Anbruch). Im Unterschied zu Bild 13 wird ein Beginn des Murganges am unteren Ende der Anbruchstelle vermutet. Durch Nachbrechen werden grosse Volumina freigesetzt.



Bild 15: Der Murgang von Münster. Dieser Murgang war einer der wenigen, bei denen in historischer Zeit von keinen vergleichbaren Ereignissen berichtet wird.

einer zeitweilig vollständigen Isolierung des Urserentals führen können.
Es sei aber festgehalten, dass die Wirkung der Speicher sehr stark vom Füllungszustand abhängt. Frühe Hochwasser im Juni/Juli treffen fast mit Sicherheit auf leere Speicher, so dass diese die Wassermassen auffangen können. Im September und Oktober sind meist nur kleine Restvolumina frei, da Energie für den kommenden Winter gespeichert werden soll. In hochalpinen Lagen treten jedoch extreme Hochwasser eher im Frühherbst als im Frühsommer auf. Da selbst volle Speicher – zumindest für mehrere Stunden – noch Wasser zurückhalten können, gelingt es auch in solchen Fällen, im Nahbereich den Spitzenabfluss zu mildern. Der Einfluss dieses kurzfristigen Wasserrückhalts verliert sich jedoch über lange Fliessstrecken.

Fazit: Der Wasserrückhalt der Kraftwerksspeicher hat sowohl beim Juli- als auch beim August-Ereignis des Jahres 1987 entscheidend zur Verminderung der Abflussspitzen und zur Verhütung noch grösserer Schäden beigetragen. Diese Schutzwirkung ist im Frühjahr und im Sommer gross. Sofern nicht ein besonderer Hochwasserschutzraum freigehalten wird, nimmt sie gegen den Spätherbst wegen der zunehmenden Füllung der Speicher ab.

4.3 Die Ursachen der Feststoffmobilisierung

4.3.1 Murgänge

4.3.1.1 Grundsätzliches

Murgänge, im Volksmund auch als «Rüfen» bezeichnet, werden vielleicht am treffendsten durch das Wort «Feststofflawinen» gekennzeichnet. Sie sind ein Gemisch aus Sand, Steinen und Wasser, wobei der Feststoffanteil zwischen 30 und 60 % schwanken kann. Eine eindeutige Definition gibt es jedoch nicht. Wie die Lawinen sind sie an steile Hänge gebunden. So wie sich Schneebretter jeden Winter lösen, treten kleinere Murgänge in den Schutthängen der Alpen jeden Sommer auf. So wie grosse Tallawinen selten und an gewisse Standorte gebunden sind, treten auch grosse Murgänge selten und meist in den gleichen Gebieten auf. Nur wenn sie den Talboden erreichen, werden wir ihrer gewahr. Die Unwetter 1987 waren gekennzeichnet durch eine grosse Anzahl von Murgängen. Dieses sonst vereinzelt auftretende Phänomen konnte im Zuge der Analyse flächenhaft und mit statistischen Methoden untersucht werden. Abbildung 24 zeigt das Hauptverbreitungsgebiet der Murgänge 1987, wobei die östliche Schweiz (Rhein- und Bleniotal) von den Juli-Ereignissen und das Gotthardgebiet von den August-Ereignissen heimgesucht wurde.

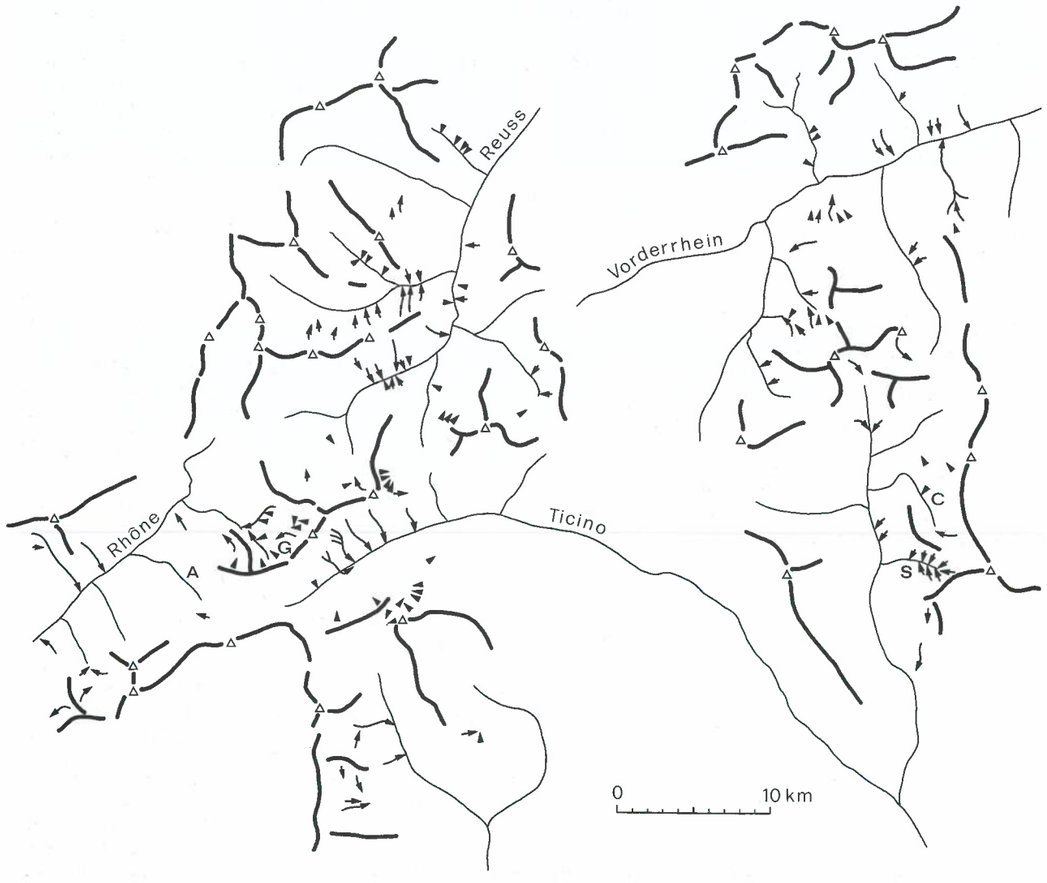


Abb. 24: Räumliche Verteilung der Murgangereignisse im Lukmanier (Juli-Ereignis) und im Gotthardgebiet (August-Ereignis). Die Pfeile zeigen einzelne grössere Ereignisse oder eine Anzahl kleinerer Murgänge. Auffallend ist die Häufung von Ereignissen in einigen Tälern, während Nachbargebiete praktisch unbetroffen blieben.

Die Abgrenzung zwischen Murgang und Hochwasser mit Feststofftransport ist schwierig, da in der Regel beide Prozesse in wechselnder Reihenfolge auftreten. So konnten meist mehrere Murgangschübe beobachtet werden, zwischen denen Materialumlagerungen durch hohe Wasserführung erfolgten. Allen Murgängen gemeinsam ist:
- ein ausserordentlich hoher Feststoffanteil und wallartige Ablagerungen an der Seite oder an der Front (Murkopf) mit sehr grossen Blöcken;
- ein extrem rascher Anstieg der Hochwasserwelle, mitunter mit Ausbildung einer Front;
- sehr hohe Abflussspitzen, die Hochwasserabflüsse um ein Vielfaches übertreffen können.

Bei den ausgewerteten Ereignissen konnten folgende typische Grenzwerte und Bereiche festgestellt werden:

Fliessgeschwindigkeiten	2–15 m/s (55 km/h)
Abflusstiefen	1–6 m
Maximalabfluss	10–900 m^3/s
Feststoffvolumina	100–200 000 m^3
Max. Erosionstiefe	17 m (Plaunca)
Max. Erosionsleistung	650 m^3/m (Varuna)
Auslaufdistanzen	100 bis 800 m (am Kegel bei Ereignissen mit Ablagerungen von über 1000 m^3)
Dauer des Murganges	Sekunden bis Minuten

Voraussetzung für die Bildung von Murgängen ist das Vorhandensein von Lockermaterial, Wasser und Gefälle. In den Schutthalden, Endmoränen und Bachläufen wird durch die Verwitterung ständig Material abgelagert, wobei sich Geländeneigungen an der Grenze der natürlichen Stabilität ausbilden. Solche Geschiebeherde sind in den Alpen in grosser Zahl vorhanden. Bei der Murgangbildung können je nach Ursprung des Geschiebeherdes zwei Hauptfälle unterschieden werden:

4.3.1.2 Murgänge aus Schutthalden

Wird eine Schuttmasse mit einem Böschungswinkel nahe der Grenzstabilität mit Wasser gesättigt, kann sich diese Schicht verflüssigen und als Wasser-Feststoffgemisch plötzlich in Bewegung setzen. Zum Erreichen dieses Grenzzustandes ist einerseits eine ausreichende Gesamtmenge an Niederschlag und andererseits eine ausreichende Niederschlagsintensität notwendig. Menge und Intensität sind abhängig von den Materialeigenschaften. Die Schutthalden, aus denen sich die Murgänge lösten, weisen einen geringen Schluffanteil und viel Sand auf. Die Hangneigungen in den Anrisszonen liegen zwischen 50 und 80 % (Abb. 25). Sieht man von einigen Permafrostlinsen ab, konnten bei den Abbruchstellen keine wasserstauenden Horizonte festgestellt werden. Es ist jedoch durchaus wahrscheinlich, dass lokale Ungleichförmigkeiten im Meter- und Dezimeterbereich einen temporären Stau und dadurch eine Sättigung der obersten Schicht bewirkten, wodurch die Voraussetzung für die Auslösung des Murganges geschaffen wurde.

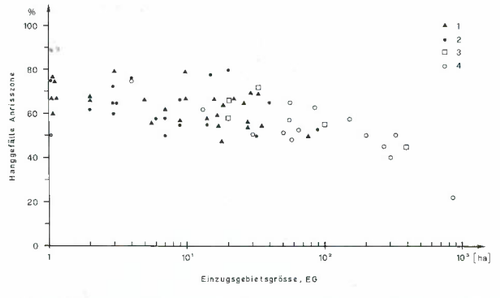


Abb. 25: Einzugsgebietsgrösse und Hanggefälle der Anrisszonen. Bei den Gerinnetypen (offene Symbole) zeigt sich ein Trend, dass mit zunehmender Einzugsgebietsgrösse (und damit zunehmendem Wasserabfluss) kleinere Gefälle am Ort der Murgangentstehung auftreten. Die Hangtypen (geschlossene Symbole) weisen nur einen schwachen Trend auf.

Bei den Juli-Ereignissen sorgte die vorangehende Schneeschmelze für eine Durchfeuchtung der Schuttkörper. Analysiert man die Niederschlagssumme und die aufgetretene Niederschlagsintensität, so findet man, dass Murgänge nur in Gebieten auftraten, in denen eine Gesamtmenge von 120–170 mm und eine Intensität von 25–35 mm/h überschritten wurde (siehe Bild 12). Ein Bezug des Auftretenszeitpunktes des Murganges zu einer kritischen Niederschlagsintensität oder Vorregenmenge konnte nicht gefunden werden.
Beim August-Ereignis (Gotthardgebiet) traten Regensummen von 150–300 mm auf und die Murgangaktivität konzentrierte sich auf das Ende der 40stündigen Regenperiode, als während einer Stunde Niederschlagsintensitäten von 40 mm/h erreicht wurden. Dass beim August-Ereignis grössere Niederschläge zur Auslösung der Murgänge notwendig waren, könnte mit der Austrocknung durch die vorangehende Schönwetterperiode erklärt werden.
Die Beobachtung, dass die meisten Schutthalden von Spuren kleinerer Murgänge (die kaum über das Ende der Schutthalde hinausgehen) zerfurcht sind, zeigt, dass die Bedingungen zur Sättigung und anschliessenden Verflüssigung relativ häufig erreicht werden. Grosse Murgänge lösen sich nur, wenn bei grossen Gesamtniederschlagsmengen eine mächtigere Schicht gesättigt wird. Somit erscheint die Niederschlagssumme im Vergleich zur Niederschlagsintensität als der wichtigere der auslösenden Faktoren.
Es konnten zwei Formen von Anbrüchen festgestellt werden:
- Rinnenförmige Anbrüche, häufig am Fusse einer Felswand, mit relativ kleinem Startvolumen und einer deutlichen Wallbildung an den Seiten (Bild 13). Die Entstehung wird in einer relativ gleichförmigen Sättigung der obersten Schicht vermutet. Die Auslösung ist von lokalen Faktoren abhängig;
- Muschelförmige Anbrüche mit sehr grossem Startvolumen (Bild 14). Hier werden tieferliegende Diskontinuitäten, die zu einem lokalen Grundwasserstau und in der Folge zu einem mehrere Meter tiefen Ausbruch führen, als Ursache vermutet. So konnten bei einigen dieser Anbrüche (Witenwasserental, Gerental) Linsen von Permafrost beobachtet werden, die lokal als Grundwasserstauer wirkten.

4.3.1.3 Murgänge aus Gerinnen

Das Ausräumen von umfangreichen Zwischendeponien (Zavraggia, Plaunca, Rabiusa, Seitenbäche Urserental) oder schuttgefüllten schluchtartigen Felsrinnen (Münster, Saastal, Val Plattas, Cambrena) war der Grund für zahlreiche Murgänge. Murgänge aus Gerinnen waren meist wasserreich (Bild 2), erfolgt doch die Nachlieferung nicht nur durch den direkten Niederschlag, sondern auch durch den Zufluss aus dem weiteren Einzugsgebiet. Je mehr Wasser vorhanden ist, desto geringer kann das zur Auslösung erforderliche Gefälle sein. Abbildung 25 zeigt, dass mit zunehmender Einzugsgebietsgrösse das Hanggefälle in den Anrisszonen abnimmt, wobei das kleinste beobachtete Gefälle bei 23 % lag. Auch beim Pauschalgefälle zeigt sich eine Abhängigkeit von der Grösse des Einzugsgebietes (Abb. 26).

Bild 16: Reuss bei Göschenen. Die Verbreiterung des Flusslaufes auf über das Doppelte der ursprünglichen Breite führte zu massiven Uferabbrüchen und damit zu extremen Geschiebeeinträgen in das Reussgerinne. Zunehmende Gerinneaufweitung und Geschiebeeinträge förderten die Mäanderbildung, welche zur «Konzentration» der Erosionen an den Kurvenaussenseiten führte.



Bild 17: Seitenerosion der Reuss bei Gurtnellen. Häufig werden Hochwasser- und Überschwemmungsgefahr als gleichwertige Begriffe gebraucht. Das Pfarrhaus in Gurtnellen stürzte aber in den Fluss, weil dieser die Fundamente untergrub.



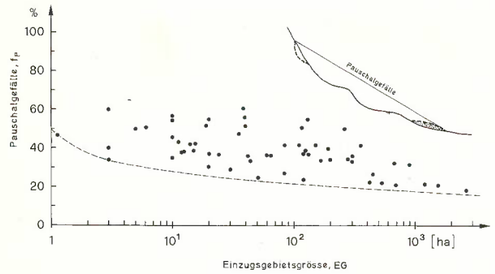


Abb. 26: Pauschalgefälle in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse beim Kegel. Das Pauschalgefälle entspricht dem Gefälle zwischen dem obersten Anrisspunkt und der untersten Ablagerungsstelle.

Eine Bestimmung der auslösenden Bedingungen ist wegen der starken Variabilität der Lockermaterialeigenschaften und der Wassermengen noch schwieriger als bei den Murgängen aus Schutthalden. Nicht selten ist eine kurzfristige Blockierung des Gerinnes durch einen seitlichen Erdrutsch oder einen Murgang das auslösende Ereignis. Häufiger führt massive Sohlenerosion (Plaunca, Sinzera) zum Abgleiten der Flanken und somit zu reichlicher Geschiebenachlieferung.
Auch Sonderfälle müssen bei der Beurteilung des Murgangrisikos berücksichtigt werden. So führte beim Minstigerbach eine Verlegung des Gletscherausflusses in eine normalerweise nicht durchflossene Felsrinne zum Murgang.
Die beiden vom Massenumsatz her grössten Ereignisse im Val Plaunca und in der Varuna sind nicht im Lockermaterial, sondern im anstehenden, wenn auch stark zermürbten und versackten Fels aufgetreten. In beiden Fällen war das Startvolumen im Lockermaterial relativ klein. Die Massenbildung erfolgte durch massive Sohlenerosion in der Schluchtstrecke, was darauf hinweist, dass bei der Beurteilung des Murgangrisikos nicht nur auf die auslösenden Bedingungen in den obersten Einzugsgebieten, sondern vor allem auf das Erosionspotential in der folgenden Schluchtstrecke geachtet werden muss.

Fazit: Die in den Hochalpen reichlich vorhandenen Geschiebeherde wurden durch die grossen Niederschlagssummen oberflächlich gesättigt. Wo die Grenzstabilität überschritten wurde, setzte sich ein Feststoff-Wassergemisch plötzlich in Bewegung. Durch Erosion auf der Fliessstrecke konnten sich die Massen noch beträchtlich vergrössern. Mit Ausnahme des Minstigerbaches und der Plaunca waren ähnliche Ereignisse in allen betroffenen Gebieten schon beobachtet worden. Da zwischen den Grossereignissen die den Talboden erreichen meist mehrere Jahrzehnte liegen, werden wir von diesen ausserordentlichen Schadenereignissen immer wieder aufs neue überrascht.

4.3.2 Erosionsprozesse in den Einzugsgebieten

4.3.2.1 Flächenhafte Erosion

Bei den Unwettern 1977 im Schächental und auch 1990 am Gantrisch konnte flächenhaft ein Abplatzen der Grasnarbe und eine Vielzahl kleiner Erdrutsche beobachtet werden. Überraschend bei den Unwettern 1987 war, dass dieses Phänomen trotz der grossen betroffenen Fläche nicht eintrat. Eine detaillierte Kartierung im Bedretto zeigte, dass es sich bei den aktiven Erosionsstellen meist um offene Flächen handelte, die bereits seit Jahren bestanden. Der Grund für die Stabilität muss mit grösster Wahrscheinlichkeit in der hohen Durchlässigkeit der Böden gesucht werden, die sich auf dem Kristallin der Zentralalpen bilden.

4.3.2.2 Erosionsformen der Wildbäche

Die bedeutendsten Feststoffverlagerungen in den Wildbächen erfolgten durch Murgänge. Bezogen auf die aktive Gerinnelänge sind die Massenverlagerungen durch fliessendes Wasser vergleichsweise kleiner (Abb. 27). Diese Aussage ist jedoch auf einzelne Wildbäche zu beschränken, waren doch die Massenumsätze durch fluviatilen Transport in den grossen Flusseinzugsgebieten bedeutend. So wurden in der Reussebene unterhalb Amsteg und im Urnersee Ablagerungen zwischen 700000 und 1000000 m³ und im Speicher von Solis (Hinterrhein) eine Auflandung von 250000 m³ festgestellt. Die Bedeutung der Murgänge in den einzelnen Wildbächen liegt vor allem in der zeitlich und örtlich extrem hohen Belastung des Vorfluters mit Feststoffen.

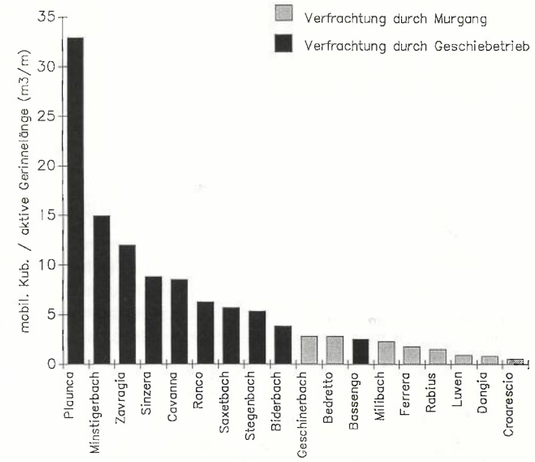


Abb. 27: Art der hauptsächlichsten Feststoffverlagerungen in den untersuchten Wildbächen.

Die detaillierte Kartierung der Geschiebeherde einzelner Wildbäche zeigte, dass das bewegte Material zu 83% aus der Gerinnesohle oder den Böschungen stammt (Abb. 28). Die Nachlieferung aus Runsen und anderen eher flächenhaften Prozessen spielte keine wesentliche Rolle. Für Wildbäche im Altschutt (Moränen, alte fluviatile Deponien) entspricht diese Beobachtung der gängigen Modellvorstel-

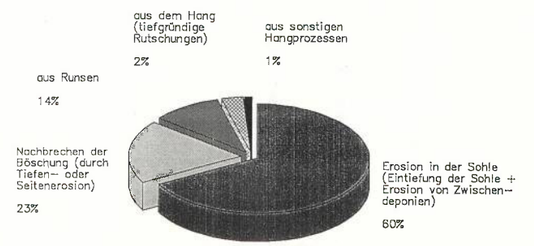


Abb. 28: Herkunft und Art der mobilisierten Feststoffe, gewichtet nach der pro Bach mobilisierten Kubatur während der Unwetterereignisse 1987 (ohne Plaunca).

lung, dass alte Deponien vorwiegend während einzelner extremer Ereignisse abgebaut werden. Bei Wildbächen im Jungschutt, bei denen die Geschiebenachlieferung durch die langsam ablaufende Verwitterung erfolgt, wäre ein höherer Beitrag aus seitlichen Hängen und Runsen zu erwarten gewesen, findet doch die Verwitterung als flächenhafter Prozess eher in den unzähligen kleinen Runsen statt. Eine gewisse Unterschätzung dieses Anteils kann nicht ausgeschlossen werden, da eine diffuse Erosion schwer kartierbar ist.

Überraschend war jedoch festzustellen, dass auch in den Jungschuttbächen ein bis zwei Jahre nach dem Ereignis, meist nahezu gleichviel Material zum Abtransport bereitlag, wie während des Hochwassers 1987 erodiert worden ist (Abb. 29). Dies widerspricht – zumindest auf den ersten Blick – der gängigen «Jackpottheorie». Diese besagt, dass sich die Gerinne in den Jahren zwischen einzelnen Hochwasserereignissen langsam mit Schutt füllen, der dann periodisch – je nach Menge des angesammelten Materials und Grösse des Hochwassers – abtransportiert wird. Nach dieser Vorstellung müssten zumindest die Jungschuttbäche jetzt ausgeräumt sein, was aber keineswegs der Fall ist. Somit ist das Gefahrenpotential – trotz der bedeutenden Materialverlagerungen – auch temporär nicht signifikant verringert. Der scheinbare Widerspruch zwischen der langsamen Materialnachlieferung, dem schubweisen Abtransport und dem trotzdem noch vorhandenen Feststoffpotential löst sich auf, wenn man den Wildbach nicht als Ganzes, sondern in Abschnitten betrachtet. Es zeigte sich nämlich, dass zwischen 30 und 70 % (im Extrem 0 bis 100 %, Abb. 30) der mobilisierten Kubatur den Schuttkegel nicht erreichten, sondern auf relativen Flachstrecken zwischengelagert wurden. Diese nur umgelagerten Massen können bei einem zukünftigen Hochwasser erneut bewegt werden. Der hohe Anteil an Sohl- und Ufererosion muss daher auch in Jungschuttbächen nicht mit Geschiebeneubildung erklärt werden, sondern ergibt sich aus der mehrfachen Geschiebeumlagerung.

Fazit: Die grössten Massenumsätze wurden durch Murgänge erzeugt. Die Geschiebemobilisierung in den Wildbächen erfolgte zu mehr als 80 % durch Tiefenerosion der Sohle und nachbrechende Uferpartien. Durch die Erosion wurden bedeutende Massen umgelagert. Die Wildbäche wurden in der Regel aber nicht ausgeräumt, so dass nach den Unwettern von 1987 weiterhin ein hohes Gefährdungspotential besteht.

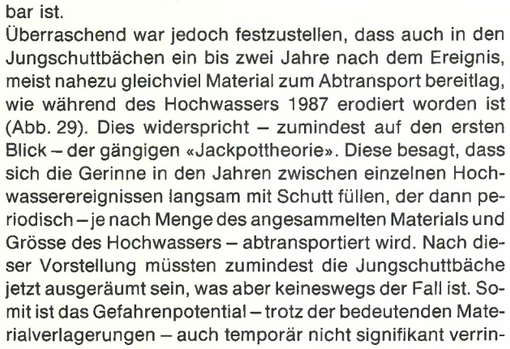


Abb. 29: Erosion 1987 (punktierte Säulen) und das nach den Ereignissen noch vorhandene Feststoffpotential (schwarze Säulen) in den Untersuchungsgebieten. Ein gleichartiges Ereignis könnte daher in den meisten Fällen schon morgen wieder eintreten.

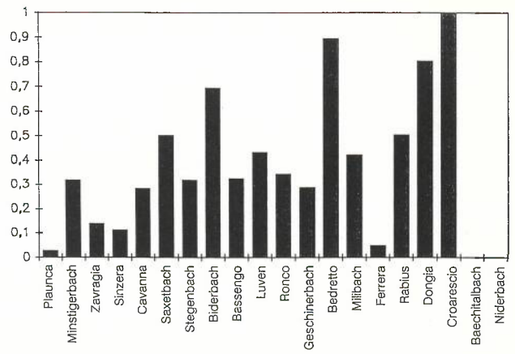


Abb. 30: Anteil der oberhalb des Schuttkegels abgelagerten Feststoffmassen im Verhältnis zum gesamten mobilisierten Volumen.

4.3.3 Flussmorphologie

Das Feststoff-Transportvermögen eines Flusses hängt von der Wassermenge, dem Gefälle und der Gerinnegeometrie ab. Die Sohle steiler Gebirgsflüsse ist häufig durch Residualblöcke vergangener Hochwasser «gepflästert» und kann so über Jahrzehnte «stabil» sein. Werden nun bei einem ausserordentlichen Hochwasser die historischen Abflussmengen überschritten, so kommt das Flussbett in Bewegung. Der Fluss vergrössert seine aktive Breite und neigt zur Mäanderbildung. In bildhafter Deutlichkeit zeigten sich diese Prozesse an der Reuss zwischen Göschenen und Amsteg (Bild 16).

Wie der Fluss sein Bett verändert, hängt vom Verhältnis zwischen der Geschiebenachlieferung und dem Transportvermögen ab. Wird durch lokalen Geschiebeeintrag (Murgänge sind besonders reichliche Geschiebelieferanten) das Transportvermögen überschritten, kommt es zu einem Aufstau, Ausufern und unkontrolliertem Abfluss. Das klassische Schadenbild ist jenes von Poschiavo (Bild 3). Hier überlastete der Murgang der Varuna den Poschiavino derart mit Geschiebe, dass dieser bei der Brücke von Cimavilla ausuferte und durch Poschiavo floss, obwohl das eigentliche Flussbett genügend hydraulische Kapazität hatte.

Wird zuwenig Geschiebe zugeführt, erodiert der Fluss Sohle und Ufer. Ufererosion ist auch dann ein gefährlicher Schadenprozess, wenn der Fluss durch Laufverlegung oder Begradigung an seiner Mäandertendenz gehindert wird. Die Erosion der Autobahn-Böschungen bei Göschenen ist auf diese Ursache zurückzuführen. Dadurch wurden lokal 150000 m³ Material zugeführt, was zu einer extremen Geschiebeüberlastung und sofortigen Ablagerungen führte. Da sich Gefälle und Gerinnegeometrie auf engem Raum ändern, kommt es zu einem ständigen Wechsel von Erosion und Ablagerungen (Abb. 31).

Dieses Umlagern ist jedoch ein langsamer Vorgang. Berechnungen an der Reuss zwischen dem Urnerloch und Amsteg zeigten dies deutlich: Bei einem Gesamteintrag von ca. 400000 m³ Geschiebe (Material mit grösserem Durchmesser als 5 mm) haben im Verlaufe der 30 Stunden mit den höchsten Abflüssen nur etwa 10 % des Geschiebes diesen Flussabschnitt verlassen. Solange die Geschiebezufuhr grösser ist als das Transportvermögen der Reuss im Raum Amsteg, ist die in die Reussebene transportierte Geschiebemenge weitgehend unabhängig vom Gesamteintrag. Dies bedeutet, dass auch wenn die Geschiebebilanz der Reuss durch erodierte Strassen und Bahndämme von 255000 m³ auf 406000 m³ erhöht wurde, dies nicht zu einer höheren Geschiebeführung in der Reussebene führte.

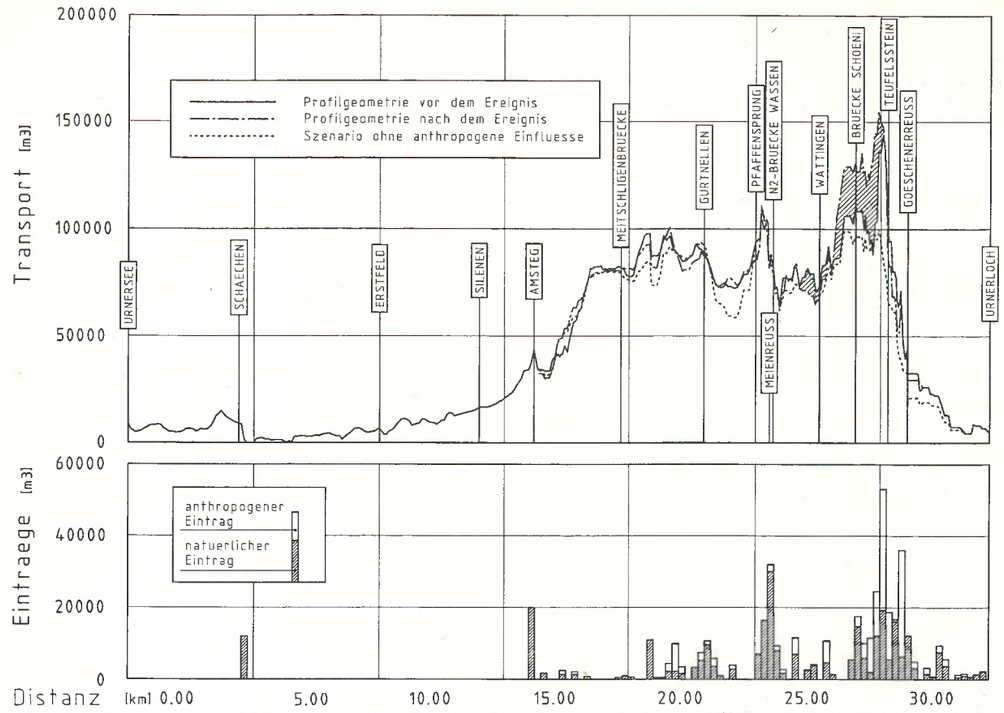


Abb. 31: Transportdiagramm des Reussabschnittes Urnerloch–Seedorf für die Zeit vom 24. August 1.00 Uhr bis zum 25. August 6.30 Uhr. Als anthropogener Eintrag wurden die Kubaturen der erodierten Strassen und Bahnböschungen gerechnet.

Da jedoch zwischen 25 und 45 % der erodierten Materialien kleiner als 5 mm sind und als Schwebstoffe nur in geringem Ausmass zwischengelagert werden, ist für Ablagerungen von Sand und Silt die Gesamtmenge der Erosion von entscheidender Bedeutung. Die Gesamtmenge der auf vergleichbare natürliche Lagerungsdichte umgerechneten Ablagerungen in der Reussebene, im Delta und im See ergab ein geschätztes Volumen von 700000 bis 1000000 m³.

Die gleichen Prozesse wie an der Reuss zeigten sich auch an verschiedenen anderen Flüssen, zum Beispiel am Poschiavino, am Inn, am Brenno und an der Rovana.

Fazit: Die ausserordentlich hohe Wasserführung bewirkte tiefgreifende Bettumgestaltungen bei den Gebirgsflüssen. Beim Geschiebe handelte es sich vorwiegend um Umlagerungen über relativ kurze Distanzen. Die in Seen und überschwemmte Talböden transportierten Schwebstoffmengen waren bedeutend.

4.4 Die Ursachen der Schäden

4.4.1 Schadenpotential

Hochwasser als Teil des natürlichen Ökosystems waren und sind wesentlich an der Landschaftsbildung beteiligt. Schaden entsteht erst im Konflikt mit der Nutzung des vom Hochwasser betroffenen Raumes durch den Menschen. Da wir das Naturereignis Hochwasser in der Regel nur bewusst wahrnehmen wenn es Schaden verursacht, wird fälschlicherweise Schadenhöhe und -häufigkeit mit Hochwassergrösse und -häufigkeit gleichgesetzt. Es muss jedoch streng zwischen den Ursachen des Hochwassers und den damit verbundenen geomorphologischen Prozessen sowie den Ursachen der Schäden unterschieden werden.

Die Ursachen der Hochwasser liegen – wie in den Abschnitten 4.1 bis 4.3 beschrieben – in den Niederschlägen, dem Relief und dem Rückhaltevermögen des Bodens in den Entstehungsgebieten. Unsere Nutzungen – und damit die Schäden – konzentrieren sich aber auf die Talräume. Dort haben wir Häuser, Strassen und Bahnen gebaut und die Böden versiegelt. Diese Eingriffe sind Ursache des Schadens, aber nicht die Ursache der Hochwasser, zumindest nicht jener des Jahres 1987.

Unmittelbar nach den Hochwassern, d. h. im Oktober 1987, wurden die entstandenen Sachschäden geschätzt (Tabelle 5). Die Problematik dieser Schätzung lag vor allem darin,

Tabelle 5: Unwetterschäden 1987 (5 Kantone und ganze Schweiz).

	Uri	Tessin	Wallis	Graubünden	St. Gallen	Schweiz
Todesopfer			1	4		8
Sachschäden in Mio Fr.						
öffentliche Hand	419	246	61	150	5	1010
Private	61	20	14	50	1	200
Gesamt	480	266	75	200	6	1210
Flussbau	64	66	29	52	5	296
Strassen und Brücken	250	117	0	48	0	422
Land und Kulturen	10	27	17	31	0	114
Gebäude und Fahrhabe	61	20	14	50	1	211
Bahnen, PTT usw.	95	36	15	19	0	167
Gesamt	480	266	75	200	6	1210
Schaden pro Einwohner in Fr.	14166*	1004	343	1215	15	188

* bei Abzug der Schäden an Nationalstrasse und SBB reduziert sich der Pro-Kopf-Schaden in Uri auf etwa 4000 Fr./Einwohner.

dass bei den Schäden an der öffentlichen Infrastruktur (Strasse, Bahn und Flussbau) meist eine komplette Neuerstellung der Werke notwendig war, die aber nicht in gleicher Form erfolgen, sondern höhere Sicherheit gewährleisten sollte. Diese, als Folgeprojekte bezeichneten Bauten, stellen versicherungstechnisch keinen direkten Schaden dar. Ihre Abgrenzung gegenüber der Wiederherstellung ist aber äusserst schwierig. Für die Schätzung des Finanzierungsbedarfes, der damals im Vordergrund stand, ist die Unterscheidung jedoch unwesentlich.

Der Vergleich mit anderen früher oder anderswo festgestellten Schäden ist wegen der Unterschiede der jeweils betroffenen Gebiete oder wegen der Dynamik bei der Nutzungsentwicklung problematisch. Als beispielsweise 1977 ein Hochwasser des Schächen den Urner Talboden überschwemmte, gab es dort noch keine Autobahn, also auch keine Schäden daran. Veränderungen des Geldwertes, der Nutzung oder der gesellschaftlichen Präferenzen und deren Bewertung bilden weitere Probleme, wie die Gegenüberstellung der Schäden von 1987 und jenen des vergleichbaren Hochwassers von 1868 zeigt (Abb. 32).

In den letzten 100 Jahren hat sich die Bevölkerung der Schweiz mehr als verdoppelt. Diese Bevölkerungszunahme zeigt aber starke regionale Unterschiede, auch innerhalb eines kleinen Kantons wie Uri. Wie aus Abbildung 33 ersichtlich ist, konzentrierte sich die Bevölkerungszunahme

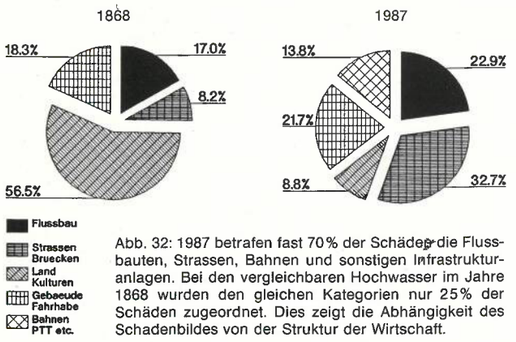


Abb. 32: 1987 betrafen fast 70% der Schäden die Flussbauten, Strassen, Bahnen und sonstigen Infrastrukturanlagen. Bei den vergleichbaren Hochwasser im Jahre 1868 wurden den gleichen Kategorien nur 25% der Schäden zugeordnet. Dies zeigt die Abhängigkeit des Schadenbildes von der Struktur der Wirtschaft.

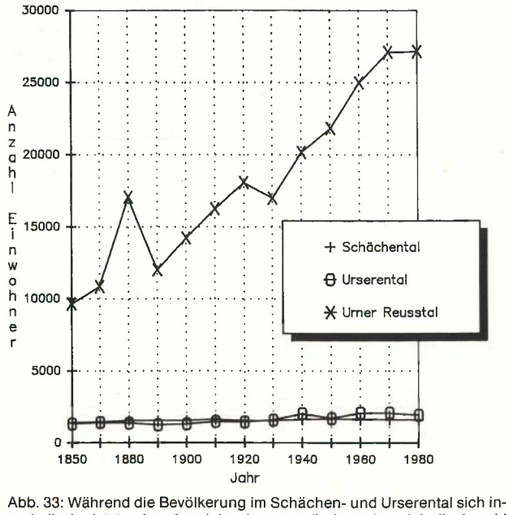


Abb. 33: Während die Bevölkerung im Schächen- und Urserental sich innerhalb der letzten hundert Jahre kaum veränderte, hat sich die Anzahl der Einwohner im Reusstal fast verdreifacht. Entsprechend schwer sind heute die Folgen einer Überschwemmung.

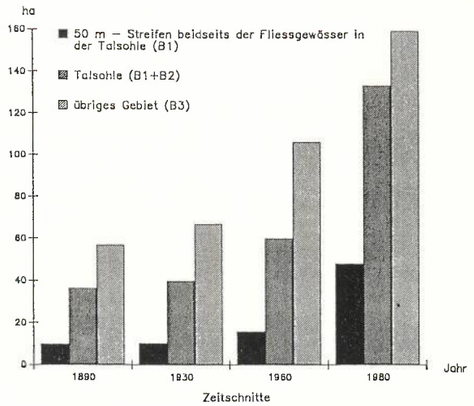


Abb. 34: Zunahme der Strassenflächen im Kanton Uri. Mehr als 50% liegen in den Talböden und somit im Gefährdungsbereich durch die Gewässer.

auf das Reusstal, während die Bevölkerung im Urserental oder im Schächental konstant blieb. Zwischen 1947 und 1980 hat sich die Zahl der Wohngebäude von 3500 auf 6800 erhöht, also fast verdoppelt! Fast 2000 Gebäude sind in den Gemeinden Altdorf, Attinghausen, Erstfeld, Flüelen, Seedorf und Schattdorf – also im Bereich der Reussebene – seit 1947 entstanden. Parallel zum Siedlungswachstum erhöhte sich der Flächenbedarf für Strassen (Abb. 34). Markant ist die Flächenzunahme zwischen 1960 und 1980 auf Grund des Autobahnbaues. Besonders deutlich ist aber die Zunahme in unmittelbarer Gewässernähe (innerhalb 50 m vom Ufer) und im Talboden, also in den besonders gefährdeten Bereichen. Ohne Zweifel erhöht all dies das Schadenpotential. Der Bereich der Talböden umfasst zwar nur 3% der Kantonsfläche, auf diesen 3% liegen aber 45% der Strassenfläche oder 36% der Strassenlänge.

Die Eingriffe des Menschen im übrigen Kantonsgebiet sind weitaus kleiner und wie die seit der Jahrhundertwende forcierte Wald-Weideausscheidung sowie die intensivierte Aufforstung nicht durchwegs negativ zu bewerten. Verschiedentlich geäusserte Bedenken über den Einfluss der Alpbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt lassen sich zeitlich und räumlich nicht zahlenmässig belegen . Die wesentlichen Schäden in diesen Gebieten betrafen die Zerstörung von forstlichen und alpwirtschaftlichen Erschliessungsstrassen.

Bei der Beurteilung von Schäden spielt die Grösse des Hochwassers eine Rolle. Bei einer Gesamtschadensumme von ca. 3 Mia. Fr. seit 1975 (Abb. 35) stammen rund zwei Drittel aus den Grossereignissen 1977, 1978 und 1987. Auffallend an den Schäden von 1987 ist der hohe Anteil an Infrastruktur (Abb. 32). Nationalstrassen, Bahnen und Flussbauten sind normalerweise gegen häufige Hochwasser geschützt. Werden sie aber bei den seltenen extremen Hochwassern beschädigt, steigt dieser Schadenanteil sprunghaft an.

Eine oft gehörte Feststellung ist, dass Neubauten fahrlässig in gefährdeten Zonen errichtet werden, so dass das Schadenpotential überproportional erhöht wird. Dies mag in vielen Einzelfällen zutreffen. Die schwersten Schäden der Hochwasser 1987 traten aber in den alten Ortskernen von Poschiavo und Münster auf. Eine Analyse von 500 im Kanton Uri betroffenen Häusern nach Erstellungsjahr zeigte, dass rund 45% nach 1950 und etwa 20% vor 1900 errichtet

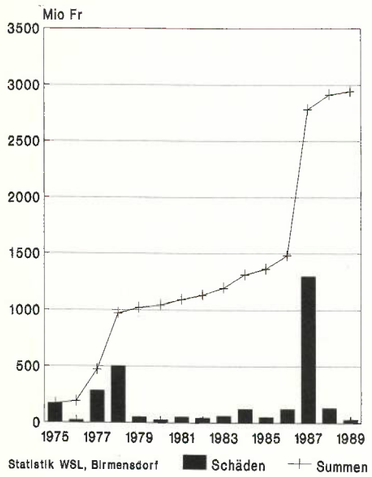


Abb. 35: Schadensumme und jährliche Hochwasserschäden nach der Statistik des WSL, Birmensdorf. Es sind die wenigen Grossereignisse, die den durchschnittlichen Schadensverlauf bestimmen.

worden sind. Diese Verteilung entspricht ziemlich genau der durchschnittlichen Altersverteilung aller Gebäude in den betroffenen Gemeinden. Es liegt somit keine überproportionale Schädigung neuerer Bauten vor. Dies erscheint für extreme Ereignisse plausibel, wurden doch die Siedlungen bereits in früheren Zeiten von Hochwassern heimgesucht. Das Risiko, in Zeiträumen von 100 oder mehr Jahren durch Hochwasser geschädigt zu werden, wurde bei vielen alten Siedlungsstandorten offensichtlich akzeptiert. Entweder, weil andere Standorte noch höhere Naturrisiken aufwiesen, oder weil es im Vergleich mit anderen Risiken des täglichen Lebens als tragbar eingestuft wurde. Ob sich diese Einstufung bei den heutigen Wertkonzentrationen und der Gefahr von Folgeschäden – sei es durch wassergefährdende Stoffe oder wirtschaftliche Schäden infolge Unterbruchs der Infrastruktur (Strasse, Bahn, Energieversorgung) – noch rechtfertigen lässt, ist ein anderes Problem. Unbedingt erwähnt werden muss, dass es im Kanton Uri trotz der grossen betroffenen Fläche und trotz der ungünstigen Bedingungen (Hochwasserspitze um Mitternacht) keine Todesopfer gab. Dies ist dem vorzüglichen Einsatz der lokalen Hilfsorganisationen zu verdanken.

Fazit: Der steigende Lebensstandard und die Investitionen in die Infrastruktur haben das Schadenpotential erhöht. Dieses Potential steigt auch bei gleichbleibender Gefährdung. Den grössten Schaden erlitten 1987 die Infrastrukturanlagen (Strassen, Bahnen). In Siedlungsgebieten konnte keine überproportionale Schädigung der Neubauten festgestellt werden.

4.4.2 Schadenprozesse

Hochwassergefahren werden meist mit Ausufern des Flusses und tiefer, grossflächiger Überschwemmung in Verbindung gebracht. Dies ist aber nur bei Flüssen in den Talböden der Fall.

Der klassische Fall der grossflächigen Überschwemmung war im Urserental sowie durch Dammbrüche in der Reussebene zwischen Attinghausen und Seedorf aufgetreten (Bild 8). Der Grund war ein Überschreiten der Abflusskapazität des Gerinnes. Die Dämme waren jedoch bereits in einem Zustand, dass ein Bruch auch ohne längeres Überströmen denkbar gewesen wäre. Bei der Rotten im Oberwallis lagen die maximalen Wasserspiegel nur knapp unter der Dammkrone, so dass eine ähnliche Katastrophe nur knapp verhindert werden konnte. Gleichfalls bestanden Probleme der Durchsickerung der Dämme (Bild 7).

Für die während der Hochwasser 1987 aufgetretenen Schäden waren mehrheitlich andere Schadenprozesse massgebend:

Überschwemmungen verbunden mit starker Strömung, jedoch mit geringerer Wassertiefe waren in Poschiavo und bei verschiedenen Gewitterregen im Juli (z.B. Biembach, BE) massgebend. Unterspülungen führten mitten im geschlossenen Siedlungsgebiet von Poschiavo zur Gefährdung und zum späteren Abbruch einzelner Häuser.

Stark von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist die Menge und Korngrösse der mitgeführten Feststoffe. Deren Ablagerung in Keller- und Erdgeschossen verursachte besondere Schwierigkeiten bei den Räumungsarbeiten. Ablagerungen von Kies und Steinen führten zur Schädigung von Kulturland und mussten künstlich geräumt werden. Sand- und Schluffablagerungen konnten hingegen mit einfachen Mitteln begrünt werden.

Murgänge überführten zahlreiche Verkehrswege und brachten meterdicke Kiesablagerungen auf die Schuttkegel (Bilder 15, 6, 3, 5). Wegen der Schnelligkeit des Ablaufs und dem Ausmass der beteiligten Massen ist dies der gefährlichste Schadenprozess. Wo der Murgang den Vorfluter erreichte, bewirkte er durch einen Aufstau zahlreiche Folgeschäden (Poschiavo, Zarvraggia [Bild 9], Plaunca).

Erosion der Ufer führte zur Unterbrechung der Gotthardlinie der SBB und zahlreicher Strassen (Bild 17). Erosion war verantwortlich für den Einsturz einzelner Häuser (Gurtnellen, Aquarossa) und den kostenmässig vielleicht grössten Einzelschaden, die Unterspülung des Pfeilers der Nationalstrasse beim Viadukt in Wassen. In Bezug auf Häufigkeit und Schadenhöhe war Ufererosion der wichtigste Schadenprozess.

Verstopfung von Durchlässen und Brücken durch Schwemmholz verursachte zahlreiche Einzelschäden. Als grössere Schadenfälle sind die SBB-Brücke über die Göschener Reuss (Bild 10), die Wehre bei Airolo, Fiesch und Mörel sowie die Brücke bei Oberwald zu erwähnen.

Vegetation im Gerinne vermindert die Abflusskapazität bei engen, tiefen Gerinneformen. Bei breiten Gerinnen wird diese Verminderung häufig überschätzt. Nicht die Vegetation an sich, sondern das Ausmass im Verhältnis zur freien Querschnittsfläche und die Anordnung im Querschnitt sind entscheidend. Der Vegetationseinfluss auf den Schadenverlauf ist vielschichtig: Einerseits kann durch die Vegetation das Ufer geschützt und Schwemmholz zurückgehalten werden, anderseits wird die Abflusskapazität herabgesetzt. Bei Uferanbrüchen entsteht Schwemmholz und bei Dämmen kann die Stabilität herabgesetzt werden. Im Zusammenhang mit den Hochwasserereignissen 1987 sind jedoch keine grösseren Schäden auf übermässiges Verwachsen der Gerinne zurückzuführen.

Tiefgreifende Rutschungen infolge geologischer Instabilitäten, die durch langandauernde Durchfeuchtung in Bewegung gerieten, waren im Frühjahr 1987 zahlreich (Turbachtal, Läuflingen, Zulg, Balsthal, u.a.). Diese Prozesse bildeten jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Ursachenanalyse.

Fazit: Ungenügende hydraulische Gerinnekapazität und damit verbundenes Ausufern war in der Urner Reussebene die Ursache der Überschwemmungen. Die meisten Schäden entstanden jedoch entweder durch Erosionsprozesse, durch Geschiebeüberlastung oder durch Murgänge.

5. Die Hochwasser 1987 im historischen Vergleich

Hochwasserschäden waren und sind häufig. Seit dem 16. Jahrhundert konnten in den vier hauptbetroffenen Kantonen (GR, UR, VS, TI) gesamthaft 680 Jahre mit Schadenmeldungen identifiziert werden (Abb. 36). Das 19. Jahrhundert ist dabei das schadenreichste. Die dichtere Besiedlung und die verbesserte Quellenlage führte in den letzten beiden Jahrhunderten zu einer Häufung von Meldungen, weshalb nur Aussagen über die Schadenhäufigkeit, nicht aber über die Ereignishäufigkeit erlaubt sind. Über grosse Unglücksfälle wurde zu allen Zeiten ausführlich berichtet, weshalb sich immer zahlreiche Quellen über schwere und katastrophale Hochwasser finden. Die Wahrscheinlichkeit, dass eines der sehr grossen Hochwasser nicht erfasst wurde, ist äusserst gering. Auf Grund der Interpretation der Schadenberichte sind im Zentralalpenraum in den Jahren 1342, 1480, 1511, 1566, 1570, 1640, 1834, 1839, 1868 und 1987 vergleichbare Hochwasser aufgetreten (Abb. 37).

Jenes des Jahres 1342 muss als das mit Abstand grösste Hochwasser dieses Jahrtausends eingestuft werden. In Zürich reichte das Wasser bis zur Pforte des Fraumünsters und in der Luzerner Barfüsserkirche bis zum Hochaltar. Im Dom zu Mainz sollen die Fluten 3 m hoch gestanden sein. In den Sedimenten des Urnersees fanden sich Ablagerungen aus der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts, die etwa viermal so mächtig sind wie jene des Jahres 1987. Zudem ist ein deutlich grösserer Korndurchmesser erkennbar, der auf eine grössere Wasserführung hinweist.

Erst seit dem 19. Jahrhundert sind die Berichte über die Hochwasser so ausreichend detailliert, dass Abschätzungen über die Wasserführung gewagt werden können. Das Hochwasser von 1868 wird im St. Gallischen Rheintal auf 2500–3000 m³/s geschätzt, also gleich oder grösser als 1987. Im Urner Reusstal werden die Spitzenabflüsse der Hochwasser des 19. Jahrhunderts (1834, 1839, 1868) im Vergleich mit 1987 eher niedriger eingestuft (Abb. 38). Nimmt man die Auswertung von Uri als Grundlage, muss dem Hochwasser 1987 eine Eintretenswahrscheinlichkeit von einmal in ca. 200 Jahren zugeordnet werden; stellt man auf die historischen Quellen ab, so erhält man 70 bis 100 Jahre. Dies ist kein Widerspruch, da sich die Auswertung nach Abbildung 38 auf einen eindeutigen Ort, den Pegel Seedorf an der Reuss und auf den Spitzenabfluss bezieht. Die Ermittlung der Wiederkehrperiode aus den historischen Quellen bezieht sich demgegenüber primär auf den Schaden und auf die räumlichen Muster der Schadenmeldungen. Der Aussagewert der Wiederkehrperiode von Extremereignissen ist insofern relativ, als sowohl im 16. als auch im 19. Jahrhundert je drei solche «Jahrhundertereignisse» auftraten, je zwei davon sogar nur in einem Abstand von 5 Jahren. Hingegen lag zwischen den Ereignissen von 1640 und 1834 eine relativ ruhige Periode von nahezu 200 Jahren.

Bezüglich der saisonalen Verteilung der katastrophalen Hochwasser zeigte sich ein deutliches Maximum in den Monaten August und September (Abb. 39). Dies steht im Einklang mit den Überlegungen zu den Prozessen im Kapitel 4.1, die besagen, dass zum Schmelzen der mächtigen winterlichen Schneedecken eine längerdauernde Wärmezufuhr notwendig ist; eine Voraussetzung, die in den Hochalpen meist erst ab August gegeben ist.

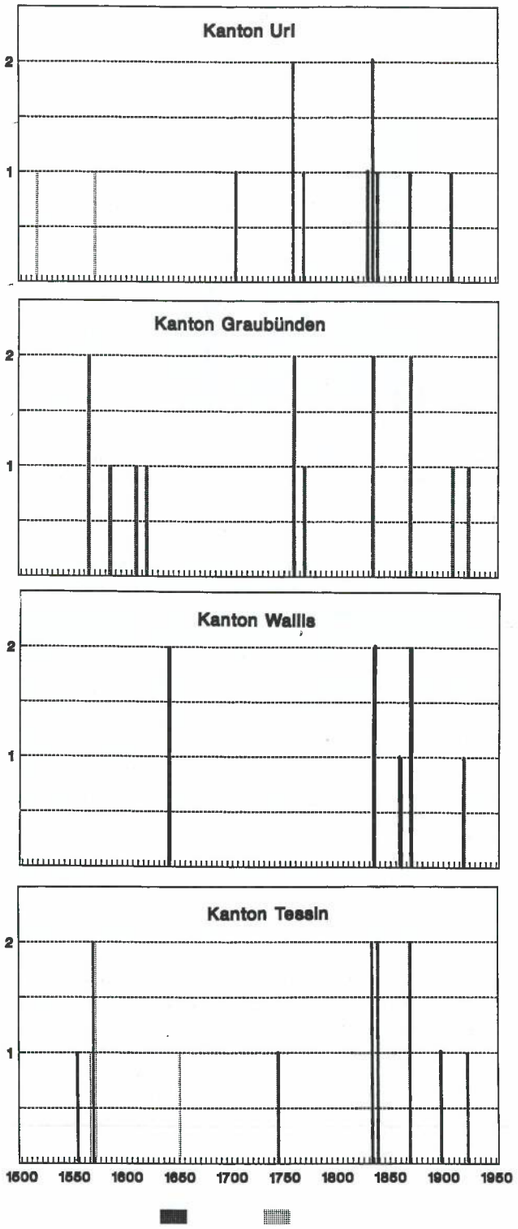


Abb. 37: Schwere (1) und katastrophale (2) Hochwasser von 1500 bis 1950.

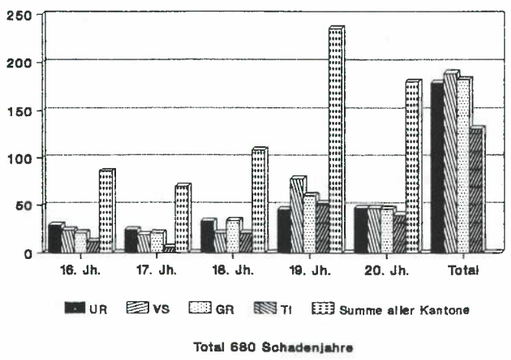


Abb. 36: Erfasste Jahre mit Schadenmeldungen in den Kantonen Uri, Wallis, Tessin und Graubünden.

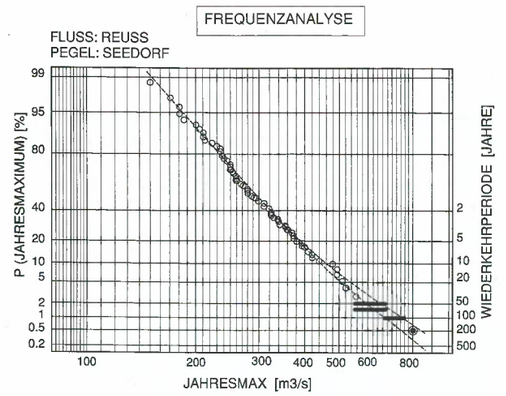


Abb. 38: Frequenzdiagramm der Abflüsse der Reuss bei Seedorf für den Spitzenabfluss. Die rekonstruierten historischen Hochwasser sind als Bereiche eingetragen. Angegeben sind zwei denkbare Ausgleichskurven. Das Hochwasser 1987 hat danach eine Jährlichkeit zwischen 150 und 300 Jahren.

Die erwähnten katastrophalen Hochwasser liegen vor der Periode der industriellen Revolution. Zudem war vor dem 19. Jahrhundert in vielen Regionen noch kein starker Bevölkerungsdruck auf das Land vorhanden, so dass bei diesen Ereignissen Veränderungen des Hochwasserregimes durch zivilisatorische Eingriffe ausgeschlossen werden können. Auch zeigte die mittlere Sedimentationsrate im Urnersee in den letzten 1000 Jahren keine signifikante Änderung. Es besteht somit kein Anzeichen, dass wichtige Änderungen im Erosionsprozess und im damit verbundenen Hochwasserregime eingetreten sind. Hingegen hat sich die Belastbarkeit des Lebensraumes in den Alpen verändert. Dabei sind zwei gegenläufige Prozesse zu erwähnen:

- Die Veränderungen in der Besiedlungsdichte und damit die Erhöhung des Schadenpotentials, welche die Belastbarkeit herabsetzt (vgl. Kapitel 4.4.1);
- Die seit der Mitte des letzten Jahrhunderts konsequent betriebene Aufforstung und die Errichtung von Hochwasserschutzbauten, die der Gefährdung entgegenwirken.

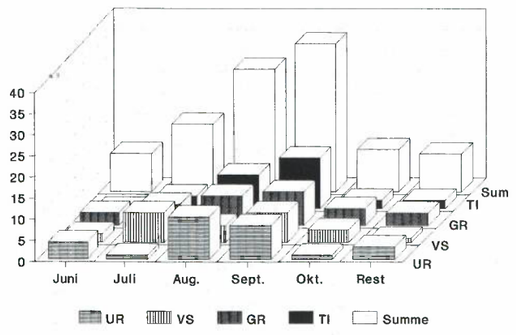


Abb. 39: Saisonale Verteilung mittlerer bis katastrophaler Hochwasser in den vier untersuchten Kantonen im Zeitraum von 1500 bis 1950.

Wie weit sich beide Prozesse gegenseitig ausgleichen, ist regional sehr verschieden. Sicher ist, dass es im Bereich der Flusstäler gelang, durch Schutzbauten schwere Schäden zu verhindern. Ob die ausgeführten Massnahmen bei einem noch grösseren Hochwasser, etwa jenem wie 1342, Schutz gewähren würden, ist zweifelhaft. In den höher gelegenen Einzugsgebieten ist das Gefährdungspotential trotz aller Massnahmen noch beträchtlich.

Fazit: Auf Grund von Quellenstudien lässt sich nachweisen, dass der Alpenraum in den Jahren 1987, 1868, 1839, 1834, 1640, 1570, 1566, 1511, 1480 und 1342 von vergleichbaren Hochwasserkatastrophen schwerstens betroffen wurde. Besonders das Hochwasser von 1342, das ganz Mitteleuropa heimsuchte, muss als wesentlich schwerer als jenes des Jahres 1987 eingestuft werden. Eine Erhöhung der Hochwassergefahr seit der industriellen Revolution lässt sich also nicht nachweisen.

6. Mögliche Entwicklungen

6.1 Wirtschaftswachstum

Veränderungen der Kulturlandschaft sind eine Folge der Veränderungen unserer Gesellschaft. Die schon in Kapitel 4.4.1 aufgezeigte Entwicklung im Schadenpotential wird sich fortsetzen. Dabei sind folgende Tendenzen erkennbar:

- Eine nur schwach zunehmende Bevölkerungszahl stellt immer höhere Ansprüche an den Wohnkomfort. Dies bedingt einen steigenden Flächenbedarf für Wohnbauten und notwendige Versorgungsanlagen (Zufahrt, Wasser- und Energieversorgung, Abwasserentsorgung). Die bestehenden Raumordnungskonzepte versuchen den Siedlungsraum zu konzentrieren. Dem steht der Anspruch auf Naherholungsgebiete gegenüber, der neben anderem in den letzten Jahrzehnten zu einer Abnahme der Wohnbevölkerung in den grossen Zentren und zu einer Ausdehnung der Siedlungsfläche führte;
- Die steigende Mobilität bedingt einen Ausbau der Verkehrsträger. Strassen und Bahnen müssen als Linienstrukturen zwangsläufig gefährdete Gebiete durchqueren. Die Konzentration des Verkehrs auf Hauptachsen (Nationalstrassen, Bahn 2000, NEAT) erhöht das Risiko von zusätzlichen Folgekosten bei Schäden an diesen Hauptverkehrsträgern. So betrugen die Kosten für Umleitung und Ersatzverkehr während des 3wöchigen Unterbruchs der SBB-Gotthardlinie allein 50 Mio Franken. In einer Wirtschaft, die bei knappem Geld die Kosten der Vorratshaltung minimiert und sich auf eine sichere Versorgung verlässt, können die indirekten Schäden ein Vielfaches der direkten Schäden betragen;
- Die Einzelrisiken nehmen zu. So zeigte der Beinahe-Einsturz des Nationalstrassenviadukts bei Wassen und 1990 der Unterbruch der Inntal-Autobahn bei Kufstein (Österreich) durch einen abgesenkten Brückenpfeiler, dass mancherorts ein «Klumpenrisiko» besteht. Das heisst, dass durch das gleiche Ereignis mehrere an sich unabhängige Hauptverkehrsträger gefährdet werden können, ohne dass wir uns dessen genügend bewusst sind.
  Einzelrisiken bestehen insbesondere auch bei Industrieanlagen, Kernkraftwerken und Talsperren. Hier ist man sich jedoch in der Regel des Risikos bewusst. Ein wirksamer Schutz dieser Anlagen ist möglich, wenn die Grösse der Gefahr richtig eingeschätzt wird. Die Sicherheitsaspekte sind immer wieder neu zu prüfen. Ein ungünstig gewählter Standort, wie er sich etwa bei langsam gewachsenen Industriebetrieben finden lässt, ist oft nur sehr schwer gegen grosse Hochwasser zu schützen;
- Die Tendenz, immer unwegsameres Gelände durch forst- und alpwirtschaftliche Strassen zu erschliessen, trägt zu einer überproportionalen Erhöhung des Schadenpotentials an den Strassen bei. Die dadurch zu erwartenden Schäden werden die mittlere Schadenerwartung zwar erhöhen, jedoch kaum katastrophale Ausmasse annehmen. Ähnliches gilt für die Intensivierung der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen.

Fazit: Die mittlere Schadenerwartung in unserem begrenzten Raum wird auf Grund der laufenden Investitionen steigen. Die Abhängigkeiten der Gesellschaft von der sie versorgenden Infrastruktur führt zu einem Anstieg der Sicherheitsanforderungen an die wirtschaftlichen Hauptschlagadern (Verkehr, Energieversorgung). Diese sind als Linienstrukturen, die zwangsläufig auch durch gefährdete Gebiete führen müssen, besonders empfindlich.

6.2 Klimaveränderungen

Bis vor kurzem haben wir unseren Naturraum als «stationäres System» betrachtet. Das heisst, dass die in der Vergangenheit gemachten Beobachtungen auch für die Zukunft als gültig angesehen wurden. Als Ausnahme wurden einzig direkte Eingriffe des Menschen in den Wasserhaushalt – wie Entnahmen, Speicherbewirtschaftung und dergleichen – für Prognosen berücksichtigt. Das System wurde als im natürlichen Gleichgewicht betrachtet. Dabei wurde aber allzuoft übersehen, dass das Gleichgewichtsdenken menschlichem Wunschdenken – in einem Umfeld leben, das bekannt und berechenbar ist – entspricht. Die Natur ist aber seit jeher ein dynamisches System, das sich meist langsam, zeitweise auch rasch und manchmal sogar abrupt verändert. Der Gleichgewichtsgedanke entspringt der Beobachtung, dass bei abrupten Änderungen gegenläufige Prozesse einsetzen, die der Änderung entgegenwirken. Das kurze menschliche Gedächtnis interpretiert dies als Gleichgewicht.
Unsere Landschaft ist das Ergebnis langsamer Veränderungen in der Lithosphäre und der Einwirkung atmosphärischer Prozesse. Der beängstigend rasche Anstieg der Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre lässt eine substantielle Veränderung unseres Klimas und damit der Gesamtheit unserer Lebensbedingungen erwarten. Auch wenn das Klima nie stationär war, ist die Furcht vor der Veränderung aus zwei Gründen berechtigt:

- Wir befinden uns bereits in der relativ wärmsten Periode seit mindestens zehntausend Jahren. Eine weitere Erwärmung bringt uns in einen Zustand, für den wir auch aus Hinweisen über die vorgeschichtliche Zeit keine vergleichbaren Lebensbedingungen kennen. Die Zukunft führt also ins Ungewisse;
- Die Änderungen könnten derart rasch erfolgen, dass der Mensch keine Zeit mehr hat, sich anzupassen. Die Natur wird überleben; wie und vor allem ob in einer für den Menschen verträglichen Form, ist ungewiss.

Anlass zur Hoffnung gibt höchstens die bereits erwähnte Eigenschaft der Natur, auf Änderungen mit gegenläufigen Prozessen zu reagieren, also die Änderung zu verzögern und zu mildern.
Nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse müssen wir weltweit mit einer Erwärmung um ca. 2 bis 5 Grad in den nächsten 100 Jahren rechnen. Die Erwärmung wird sich in den höheren Breiten eher stärker als in Äquatornähe auswirken. Damit enden gegenwärtig die auf physikalischen Überlegungen beruhenden Prognosen. Weitere Aussagen, insbesonders jene über regionale Auswirkungen, sind Hypothesen, die auf einer Abschätzung der mit der Temperaturerhöhung verbundenen Prozesse beruhen.
Nimmt man einmal an, dass für den Schweizer Alpenraum Verdunstung und Niederschlag in etwa gleichem Masse zunehmen, so wird der Abfluss im Mittel gleich bleiben. Die höhere Lage der Nullgradgrenze verlängert den Zeitraum, in dem im Hochgebirge der Niederschlag in flüssiger Form fällt und erhöht so die Hochwasserwahrscheinlickeit pro Jahr. Ob die Starkregenereignisse an Intensität oder Menge zunehmen, ist unbekannt. Mit einer Erhöhung der Abflussspitzen ist daher nicht zwangsläufig zu rechnen, doch erscheint die Annahme berechtigt, dass sich auf Grund der verlängerten Hochwassersaison auch ungünstigere Faktorenkombinationen ausbilden können.
Mit dem Anstieg der Nullgradgrenze werden die Gletscher weiter abschmelzen und die Permafrostzonen zurückgehen. Dadurch wird unkonsolidiertes Moränenmaterial freigelegt, so dass die Murgangintensität steigen könnte. Entscheidend wird vor allem die Entwicklung der Böden und die Anpassung der Vegetation an die geänderten Bedingungen sein. Ein Anstieg der Waldgrenze und eine verstärkte Bewaldung der Hochlagen könnte verschiedene negative Faktoren kompensieren. Aber auch das Gegenteil – eine Intensivierung des Waldsterbens mangels Anpassung an die geänderten Klimabedingungen – ist denkbar. Da Wald und Bodenbildung langsam ablaufende Prozesse sind, ist die Schnelligkeit der erwarteten Klimaveränderungen entscheidend für die Ausbildung angepasster Vegetationsformen.

Fazit: Bei der vorhergesagten Erwärmung ist eine Erhöhung des Hochwasserrisikos und der Intensität von Murgängen möglich. Klimaänderung und Erhöhung des Schadenpotentials durch menschliche Nutzung wirken gleichsinnig und beschleunigen den Bedarf nach Schutzmassnahmen.

7. Lehren und Konsequenzen

7.1 Sicherheitsplanung

Leben ohne Risiko ist nicht möglich! Der Wunsch, die Risiken so klein wie möglich zu halten ist einer der Urtriebe des Menschen. Die Risikoaversion wird dort besonders deutlich, wo der Mensch die Gefahr nicht erkennen kann (z.B. Strahlungsschäden) oder wo er sie nicht beeinflussen kann (z.B. Naturgefahren). Andere Risiken (z.B. Autofahren, Bergsteigen) werden bewusst eingegangen, obwohl die Gefährdung des Lebens – objektiv betrachtet – oft ein Vielfaches der Gefährdung durch Naturgefahren beträgt, die man nicht bereit ist, auf sich zu nehmen. «Sicherheit», besonders bei seltenen Risiken, ist daher nur ein Gefühl.
Sicherheit ist aber auch ein Kostenpunkt. Der Preis dafür besteht nicht nur in Geld, sondern auch in Land, Landschaft und Natur. Der Entscheid, was angemessene Sicherheit ist, muss von jenen getragen werden, die der Gefährdung ausgesetzt sind und die den Preis zu zahlen haben. Dies ist primär die betroffene Bevölkerung. Einerseits können Bund und Kantone durch Subventionen die finanziellen Lasten mildern, andererseits dürfen aber den Bewohnern, auch nicht im Interesse einer möglichst weitgehenden Erhaltung einer Naturlandschaft, übermässige Risiken überbunden werden. Da im Entscheidungsprozess nicht nur materielle Werte (Kosten und Schaden) sondern vor allem auch ethische Werte (Schutz von Menschenleben) oder schwer abwägbare immaterielle Werte (Schutz der Natur) zu berücksichtigen sind und es immer schwieriger wird, einen Konsens zu finden, ist es notwendig, Schutzziele zu definieren.
Bei den möglichen Massnahmen sind zu unterscheiden:

Aktive Massnahmen: Dies sind Massnahmen, die aktiv in das Naturereignis eingreifen, um die Gefahr zu verringern. Sie können in technische Massnahmen (z.B. Sperren in Wildbächen, Hochwasserschutzdämme) und biologische Massnahmen (z.B. Aufforstungen, biologischer Hangverbau) unterteilt werden.

Passive Massnahmen: Diese Massnahmen sollen zu einer Reduktion des Schadens führen, ohne den Ablauf des Naturereignisses aktiv zu beeinflussen. Sie können vorbeugend ergriffen werden (z.B. Bauverbote und Nutzungsplanung gefährdeter Zonen, Objektschutz) oder während und nach dem Ereignis zur Schadenminderung beitragen (z.B. Rettungsmassnahmen, Versicherungen).
Jedes Projekt muss individuell nach den Gefährdungen und Möglichkeiten von Schutzmassnahmen beurteilt werden. So muss die Frage des angemessenen Hochwasserschutzes für jedes Projekt neu beantwortet werden, denn das Wort «angemessen» verlangt ein Abwägen des Gewinns an Sicherheit mit dem dafür zu bezahlenden Preis. Die Planung muss integral alle Gefahren (nicht nur Naturgefahren) und keinenfalls nur einseitig das Hochwasserrisiko berücksichtigen. Sie muss die verschiedenen Massnahmen gleichwertig einsetzen.

Fazit: Hochwasserschutz ist integral zu planen. Neben technischen Massnahmen sollten vermehrt auch passive Massnahmen eingesetzt werden.

7.2 Schutzziele

Schutz vor häufigen Überschwemmungen in der Absicht, dem Fluss Kulturland abzuringen, war lange Zeit das Ziel des Hochwasserschutzes und hat den Flussbau und die Bemessungsgrundsätze geprägt. Zu den Lehren, die wir aus dem Erlebnis der Hochwasser 1987 ziehen müssen, zählt, dass es die seltenen extremen Hochwasser sind, die unsere Existenz bedrohen.

Ein Umdenken von der Schadenverhütung zum Katastrophenschutz ist erforderlich.

Kleine und zum Teil auch mittlere Schäden sollten toleriert werden, bzw. deren Beseitigung ist von wirtschaftlichen Kriterien abhängig zu machen. Die Anstrengungen müssen sich auf die Schadenminderung während Extremereignissen konzentrieren.
Da jedes Projekt individuell nach den Gefährdungen und Möglichkeiten von Schutzmassnahmen beurteilt werden muss, sollten die Schutzziele nur als Grundsätze formuliert werden. Deren Umsetzbarkeit ist an Hand verschiedener Projekte in Zusammenarbeit mit den Kantonen zu überprüfen und eine anschliessende Formulierung von Richtlinien vorzusehen.

Schutzmassnahmen haben zum Ziel, eine hohe Sicherheit zu einem vertretbaren Preis zu erreichen. Bei Gefährdung von Menschenleben ist eine möglichst hohe Schutzwirkung anzustreben.

Der Preis drückt sich nicht nur in Geldwerten, sondern auch in Verlust an Land und Landschaft aus. Bei der Gefährdung von Menschenleben und sehr hohen Sachwerten sollen wünschenswerte Mindestschutzziele vorgegeben werden. Dort, wo mit geringem Aufwand eine höhere Schutzwirkung erreicht werden kann, sollen diese zusätzlichen Investitionen getätigt werden.

Eine Interessenabwägung ist vorzunehmen. Die gewählten Schutziele sind angesichts der entstehenden Umweltbelastung und der Kosten zu rechtfertigen.

Hochwasserschutz heisst nicht ein Ausufern des Gewässers zu verhindern, sondern schweren Schaden zu verhüten. Angesichts der Umweltbelastung und der Kosten von Schutzbauten muss ein angemessenes Verhältnis zur gewonnenen Sicherheit bestehen.

Geschlossene Siedlungen sollen gegen das hundertjährliche Hochwasser oder das grösste beobachtete Hochwasser geschützt werden.

Im Sinne der bisherigen Praxis sollen Siedlungen gegen ein Hochwasser, das im langjährigen Mittel einmal in hundert Jahren auftritt, geschützt werden. Wo mit vertretbaren Mitteln möglich, sind höhere Sicherheiten anzustreben.

Wird das dem Projekt zu Grunde liegende Naturereignis überschritten, soll kein zusätzlicher Personenkreis gefährdet werden.

Der Bruch von Dämmen und Hochwasserrückhaltebecken darf beim Überschreiten des Bemessungsereignisses nicht zu wesentlich höheren Schäden führen, als dies ohne diese Bauwerke der Fall wäre. Die Untersuchung darf nicht beim Projekthochwasser aufhören, sondern muss mögliche Schäden bei grösseren Hochwassern miteinbeziehen.

Es darf zu keiner Verlagerung des Risikos in Zonen ausserhalb des Projektgebietes kommen.

Schutz einer Fläche bedeutet Ausschaltung von vorhandenen Retentionsräumen (Wasser und Geschiebe). Dies kann eine Verlagerung der Hochwassergefahr flussabwärts bedeuten. Der Einfluss der Massnahmen muss daher ausreichend weit flussabwärts untersucht werden.

Bestehende Ausuferungsräume sind weitgehend zu erhalten.

Ausuferungen, die im Mittel alle 2 bis 5 Jahre zu erwarten sind, sollen nach Möglichkeit toleriert werden. Dies nicht nur um flussabwärts eine Erhöhung der Hochwasser zu vermeiden, sondern auch um an häufige Überschwemmungen angepasste Standorte (z.B. Feuchtwiesen, Auenwälder) zu erhalten.

Fazit: Von der Bemessungspraxis, dass bis zur Projektwassermenge kein Schaden entstehen darf und Zustände bei grösseren Wasserführungen gar nicht untersucht werden, muss abgegangen werden. Eine grössere Toleranz gegenüber Kleinschäden im Interesse einer Schadenminderung bei Extremereignissen ist anzustreben.

7.3 Raumnutzung und Raumordnung

Das sicher sinnvollste Mittel gegen Hochwassergefahren ist, den gefährdeten Räumen auszuweichen. Nur darf man sich nicht der Illusion hingeben, dass dies immer möglich ist. Bei einer Fläche von 41293 km² und 6400000 Einwohnern verbleiben pro Kopf der Bevölkerung 6600 m², was etwa der Grösse eines Fussballfeldes entspricht. Davon sind Gewässer (4%), Ödland (18%), Wald (25%) und Weide (21%) nicht bewohnbar. Es verbleiben 28% Kulturland und 4% Siedlungsfläche. Unser Lebensraum umfasst pro Einwohner nur ein Drittel eines Fussballfeldes. Auf diesem engen Raum muss der Intressenkonflikt zwischen Siedlungsgebiet, Fruchtfolgeflächen, Verkehrsflächen, Naherholungsraum und anderen Nutzungsarten ausgetragen werden.
Die Kenntnis der Gefahr ist Voraussetzung für jedes Risikomanagement. Eine Kartierung der Hochwassergefahren, so wie sie für Lawinen schon weitgehend besteht, muss daher umgehend an die Hand genommen werden.

Im Bericht an den Bundesrat über die Massnahmen zur Raumordnungspolitik ist vorgesehen, Empfehlungen zur Behandlung des Gefahrenpotentials des Wassers auszuarbeiten.

Die Umsetzung der durch den Naturwissenschaftler aufgezeigten Gefahren in konkrete Massnahmen ist eine der anspruchsvollsten raumplanerischen Aufgaben, da alle Gefahren und Chancen in einem Raum mit begrenzten Alternativen gegeneinander abzuwägen sind.
Vor einem einfachen Denkschema – Gefahrenzone gleich Bauverbot – muss gewarnt werden, so wünschenswert dieser Ansatz auch ist. Zu verschieden sind die naturräumlichen Gegenheiten. Der Lebensraum soll nicht nur möglichst frei von Gefahren aller Art sein; er muss auch eine Lebens- und Erwerbsgrundlage in Zeiten vor und nach einer Naturkatastrophe bieten.
Auch ein gewisses Mass an subjektiver Freiheit in der Risikoabwägung muss gewahrt bleiben, so wie Schiller in Wilhelm Tell dessen Sohn Walter sagen lässt:

> «Vater, es wird mir eng im weiten Land,
> da wohn' ich lieber unter den Lawinen.»

Damit wird gezeigt, dass aus den verschiedensten Gründen ein Risiko in Kauf genommen werden kann und die Gesamtheit aller Chancen und Risiken beurteilt werden muss. Neben den Naturgefahren bestehen in unserem Lebensraum, insbesondere in der Grossstadt, noch andere Gefahren, die oft ein höheres Risiko darstellen als eine Naturgefahr, vor der man geschützt sein will. Dort, wo wir uns aber auf die Freiheit berufen und bewusst ein Risiko auf uns nehmen, verwirken wir den Anspruch auf Hilfe im Schadenfall.
Da der Nichtfachmann die Naturgefahr oft nicht erkennen kann, ist ohne Gefahrenkarten ein sinnvolles Eindämmen von Bauten in gefährdeten Zonen nicht möglich. Selbst die Ablehnung von Ansprüchen ist schwierig, da ja für die Nutzung meist Bewilligungen erteilt wurden. Das Aufzeigen der Gefährdung ist für jede Art von Massnahmen, auch bei der Abwälzung der Verantwortung, notwendig.

Ein anderes Raumproblem ergibt sich bei der Realisierung aktiver Schutzmassnahmen. Über Jahrzehnte hat man Gewässer im Interesse der Gewinnung von Kultur- und Bauland eingeengt und eingedolt. Allzuoft wurde auch der Fluss durch Verkehrswege verdrängt. Gerade im Falle von Extremereignissen braucht der Fluss jedoch Platz für Wasser und Geschiebe. Hier treffen sich die Forderungen des Gewässerschutzes mit jenen des Wasserbaus, denn ein natürlich gestaltetes Gewässer braucht gleichfalls Raum. Der heutige Zustand ist das Ergebnis oft einseitiger Zielsetzungen sowie der Minimierung des Landbedarfs und der Unterhaltskosten von Hochwasserschutzbauten. Die bisher ausgeführten Schutzmassnahmen bewirkten mancherorts eine erhöhte Wertkonzentration in Gewässernähe, die nun ihrerseits erhöhte Schutzanforderungen stellt. Um dieser Spirale Einhalt zu gebieten, erscheinen Nutzungsbeschränkungen im Gewässernahbereich notwendig.

Raumordnungs- und Grundeigentumsprobleme sind die politisch sensibelsten Probleme des Hochwasserschutzes. Ihre Lösung hat auf zwei Ebenen zu erfolgen:

- auf der gesetzgeberischen Ebene, um eine Eskalation der als nachteilig erkannten Zustände zu verhindern und den verantwortlichen Stellen Möglichkeiten zur Realisierung angemessener Massnahmen zu geben;
- auf der Projektebene. Die Praxis zeigt, dass auf dieser Ebene Probleme eher lösbar sind, dienen die geplanten Massnahmen doch den Anstössern und der lokalen Bevölkerung, womit die Grundlage für einen Kompromiss gegeben sein kann. Zu oft erschweren aber Einzelinteressen Gesamtlösungen, so dass die bestehende Situation keineswegs als ideal bezeichnet werden kann. Projekte entstehen jedoch nur, wenn ein Problem bereits besteht. Dabei wäre es besser, dessen Entstehung zu verhindern, wozu jedoch eine vorsorgende gesetzliche Grundlage erforderlich ist. Im dichtbesiedelten Gebiet ist vorsorgliche Freihaltung heute allerdings kaum realisierbar.

Fazit: Die Erstellung von Gefahrenkarten für alle natürlichen und technischen Gefahren ist Voraussetzung für eine Minimierung technischer Massnahmen und deren Ersatz durch raumplanerische Massnahmen. Lebensraum – auch für die Gewässer – ermöglicht eine naturnahe Gestaltung und schafft die Voraussetzungen für Hochwasserschutzmassnahmen im Hinblick auf extreme Ereignisse.

7.4 Bauliche Massnahmen

Die Wegleitung «Hochwasserschutz an Fliessgewässern» des Bundesamtes für Wasserwirtschaft hat sich bereits im Jahre 1982 auf naturnahen Wasserbau festgelegt. Der Entwurf für ein neues Wasserbaugesetz sieht vor, dass der Hochwasserschutz, soweit möglich, durch Unterhalt und planerische Massnahmen zu gewährleisten ist. Aktive bauliche Massnahmen sollen erst ergriffen werden, wenn andere Vorkehrungen nicht ausreichen.

Wird dieses in der parlamentarischen Beratung stehende Gesetz so verabschiedet, ist der künftige Rahmen vorgegeben.

Trotzdem bleiben noch Probleme zu lösen. Die der Tradition entsprechende Bemessung nach hydraulischen Kriterien ist unzureichend. Die Analyse der flussbaulichen Schäden von 1987 zeigt, dass der Grossteil der Schäden auf Ufererosion und Murgänge zurückzuführen ist.

Auch wenn man sich bewusst ist, dass unsere Kenntnisse besonders bei Murgängen unzureichend sind und wir auch hinsichtlich Erosionswiderständen und flussmorphologischen Prozessen nur über begrenztes Wissen verfügen, darf dies nicht dazu führen, dass nur das berechnet wird, was wir berechnen können. Das hiesse dem Problem ausweichen. Überschwemmungen, Erosion, und Murgänge sind verschiedene Schadenprozesse, die verschiedene Massnahmen verlangen. Dies führt zur Forderung:

Die Bemessung von Schutzmassnahmen muss der Art des Schadenprozesses angepasst werden.

Die grossen Flusskorrektionen des letzten Jahrhunderts mussten die Auflandungstendenz und damit das unkontrollierte Ausufern verhindern. Damals beschäftigte man sich sehr intensiv mit der Geschiebetheorie. Inzwischen sind zahlreiche Wildbäche verbaut und Geschieberückhaltebecken angelegt worden. Es besteht das Risiko einer Eintiefung unserer Flussläufe. Das Geschiebetransportvermögen muss daher gesamthaft für den Flusslauf untersucht werden, um unerwünschte Ablagerung oder Erosion zu vermeiden. Die grössten Probleme entstehen dort, wo der Fluss sein Bett verändert. Deshalb muss folgende Forderung erfüllt werden:

Zur Gewährleistung eines dauerhaften Schutzes ist ein ausgewogener Geschiebehaushalt erforderlich.

Eine der wichtigsten fachlichen Erkenntnisse war die Feststellung, dass der Geschiebetransport vor allem durch grosse Umlagerungen auf sehr kurzen Strecken erfolgt. Ausuferungen beim Oberlieger bedeuten meist Schutz des Unterliegers. Durch zu enge Betrachtung eines Projektabschnittes kann eine Verlagerung des Schadens in unten liegende intensiver genutzte Gebiete erfolgen. Daraus folgt:

Bestehende Retentionsräume für Wasser und Geschiebe sind weitmöglichst zu erhalten.

Nochmals muss wiederholt werden, dass auch Schutzbauten einen Landbedarf haben. Es ist auch mit den aufwendigsten technischen Mitteln nicht möglich, grosse Mengen an Geschiebe und Wasser schadlos durch Engstellen abzuleiten. Eine grosszüge Gestaltung des Profils erlaubt in Zeiten von Normalabflüssen eine natürliche Entwicklung von Fauna und Flora und bietet bei Extremereignissen Sicherheit.

Fazit: Erosion und Murgänge sind genauso in das Konzept von Massnahmen einzubeziehen, wie grosse Hochwasserabflüsse. Die Planung soll integral erfolgen und sich nicht auf eine Wiederherstellung des Zustandes gemäss Grundbuch beschränken.

7.5 Andere Massnahmen

Der Schwerpunkt der begleitenden Massnahmen liegt in der Schadenminderung und nicht in der Schadenverhütung. Wichtig wenn nicht gar unverzichtbar sind Hilfsmassnahmen von Polizei, Feuerwehr, Zivilschutz und Armee. Wie alle Brandverhütungsmassnahmen nicht die Feuerwehr ersetzen können, macht auch der Hochwasserschutz die **Katastrophenhilfe** nicht entbehrlich. Diese Hilfe setzt ein, wenn eine Katastrophe, allen Vorsichtsmassnahmen zum Trotz, eben doch eintritt. Auf Bundesebene sind verschiedene Bestrebungen zur Verbesserung der Katastrophenhilfe, insbesonders des stärkeren Einbezugs des Zivilschutzes im Gange. Eine Katastrophe muss jedoch primär von innen, d.h. von der betroffenen Bevölkerung, bewältigt werden. Nur sie hat die Ortskenntnis, kennt die Vorgeschichte und ist am Ort des Geschehens. Vorbereitung ist aber unerlässlich. Sensible Punkte müssen identifiziert und Einsatzdispositive entwickelt werden. Das Modell des Kantons Uri hat sich bereits zwei Mal, nämlich 1977 und 1987, hervorragend bewährt. Auf Bundesebene können im wesentlichen nur Ressourcen und generelle Handlungskonzepte bereitgestellt werden, da die Verantwortung auf der lokalen Ebene liegt.

Hilfe im Katastrophenfall ist notwendig. Sie muss vorbereitet sein!

Rechtzeitige **Warnung** ist eine weitere wichtige Möglichkeit, Schäden zu mindern. Sie ist aber nur sinnvoll im Zusammenhang mit einer Organisation, welche die Warnung entgegennimmt und in konkrete Massnahmen umsetzt. Dies in Kenntnis der möglichen Warnzeiten und der Unsicherheiten der Vorhersage. Eine besondere Problematik der Warnung ist, dass die Systeme oft über lange Zeit nicht benötigt und dadurch eventuell funktionsuntüchtig werden oder versehentlich Alarm auslösen. Die Reaktion der Öffentlichkeit auf eine Warnung ist unvorhersehbar. Oft begeben sich Schaulustige auf Grund einer Warnung ins Gefahrengebiet und behindern so die Rettungsmassnahmen.

Warnung kann Rettungsmassnahmen erleichtern.

Objektschutz ist ein an sich problemfreies Mittel, da es gezielt Schaden dort zu verhindern sucht, wo das Potential am grössten ist. Das Naturgeschehen wird dadurch wenig oder gar nicht beeinflusst. Die Begründung für den seltenen Einsatz muss teils im Perfektionismus (der lieber das Schadenereignis als Ganzes verhindern will, anstatt sich nur auf Schadenminderung zu beschränken) und teils in Finanzierungsproblemen gesucht werden. Zudem besteht eine enge Verknüpfung mit den Versicherungsbedingungen, denn solange der Schaden versicherungstechnisch gedeckt wird, besteht oft wenig Anreiz zur Vorbeugung. Objektschutz ist auch eng im Zusammenhang mit raumplanerischen Massnahmen zu sehen, kann doch dadurch ein bestehendes Risiko verringert werden. Voraussetzung ist aber auch hier eine Kenntnis der bestehenden Bedrohung.

Objektschutz sollte häufiger verwirklicht werden.

Versicherungen sind ein wichtiges Mittel, um einen materiellen Schaden auszugleichen und einen Neuanfang nach dem Ereignis zu ermöglichen. Die Belastung eines Grundstückes durch eine der Gefährdung und dem Nutzwert angepasste Prämie hätte unter den denkbaren Modellen zur Raumnutzungssteuerung den Vorteil, dass der Urheber des Schadenpotentials direkt belastet würde. Es stellen sich jedoch Probleme der Prämienermittlung, der versicherbaren Höchstsummen und der verbleibenden Gefährdung des Lebens. Die öffentliche Hand ist im Normalfall nicht versichert und versucht entweder durch Schutzbauten am Gewässer oder durch entsprechende Gestaltung der Bauten Schadenvorsorge zu betreiben.

Der Einbezug von Versicherungen in Schutz- und Nutzungskonzepte ist zu prüfen.

Spenden und Hilfsgelder sind im Falle der Hochwasser 1987 in reichem Masse geflossen. Damit konnte man Schäden abgelten, für deren Vergütung weder eine versicherungstechnische Deckung noch eine gesetzliche Grundlage zur Hilfe bestand. Mit dem Bundesbeschluss über ausserordentliche Massnahmen zur Behebung der Unwetterschäden 1987 hat auch der Bund, angesichts der ausserordentlich hohen Schäden, einen Beitrag zur Sofort-

hilfe geleistet. Diese einmalige Hilfeleistung hatte Ausnahmecharakter und sollte nicht zur Regel werden, da sonst der Bund die Rolle eines Elementarschadenversicherers übernehmen würde.

Spontane Hilfe ist oft die einzige Möglichkeit, unverschuldete Not zu lindern.

Fazit: Neben wasserbaupolizeilichen und raumplanerischen Massnahmen stehen mit Katastrophenhilfe, Alarmorganisation, Objektschutz und Versicherung noch weitere Hilfsmittel zur Schadenminderung zur Verfügung.

7.6 Grundlagenbeschaffung

Materielle Schäden wurden umfangreich dokumentiert. Die Dokumentation des Naturereignisses in Bezug auf Niederschlagsverlauf, Wasserstände, Erosionen ist jedoch sehr unvollständig. Auch nach dem Ereignis durchgeführte photogrammetrische Aufnahmen beschränkten sich vornehmlich auf die Schadengebiete und erfassten nicht die höher gelegenen Einzugsgebiete. Dieser Mangel ist leicht verständlich, da im Moment des Ereignisses die verantwortlichen Behörden voll mit den Aufgaben der Rettung beschäftigt waren. Die Einrichtung einer Stelle, welche die Möglichkeit hat, Überfliegungen anzufordern und unabhängig Messungen und Bestandesaufnahmen durchzuführen, könnte diese Lücke schliessen.

Die Dokumentation von Ereignissen muss verbessert werden.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die im Zuge dieser Arbeiten gewonnen wurden, sind besonders auf den Gebieten der Murgangentstehung, der Flussmorphologie, der Abflussbildung, der Schwemmholzbildung und der Klima- und Umweltgeschichte wichtig. Ziel dieser Ursachenanalyse war es nicht, Grundlagenforschung zu betreiben, sondern es sollte geprüft werden, ob die beobachteten Phänomene mittels bekannter Theorien erklärt werden können. Besonders auf den Fachgebieten Niederschlagsverteilung, Murgangentstehung und -dynamik sowie der Feststoffbildung konnten die Phänomene nicht ausreichend geklärt werden. Das sich in Vorbereitung befindliche Nationale Forschungsprogramm «Prévisions des catastrophes naturelles et changements du climat (NFP31)» bietet eine Möglichkeit, fehlende Grundsatzuntersuchungen anzuregen.

Die notwendige Erforschung der grundlegenden Prozesse soll im Rahmen des Nationalfonds gefördert werden.

Neben der Grundlagenforschung sind angewandte Untersuchungen, besonders zur systematischen Erfassung der gefährdeten Gebiete und zur Gestaltung von Schutzbauwerken sowie Schaffung geeigneter Bemessungsgrundlagen erforderlich. Letzteres umfasst im besonderen

- die Vervollständigung und Verbesserung der Beziehung von Flächen, Dauer und Wahrscheinlichkeit von Niederschlagsfeldern;
- die Methodik zur Bestimmung von Bemessungswassermengen;
- Schaffung von Dimensionierungsgrundlagen bei Murgangrisiko;
- die Erarbeitung von flussmorphologischen Konzepten zur Verhinderung der Ufererosion.

Zur Verwirklichung angemessener Schutzmassnahmen ist eine Verstärkung der Ressortforschung notwendig.

Ein weiterer Aufgabenkreis ergibt sich aus der Umsetzung der erzielten Erkenntnisse. Diese Umsetzung muss im Rahmen der Hochschulausbildung und vor allem durch Weiterbildung der in der Praxis tätigen Ingenieure und Naturwissenschaftler erfolgen.

Ohne Weiterbildung der in der Praxis Tätigen bleiben selbst die besten Forschungsergebnisse wirkungslos.

Ein verstärktes Verständnis der Oeffentlichkeit für die ablaufenden Naturprozesse und ihre Schwankungsbreiten ist zu wecken. So darf vor allem nicht das Auftreten kleinerer Schäden sofort zur Forderung nach umfassenden Verbauungsmassnahmen führen. Dies widerspricht zwar unserem Sinn nach perfekter Ordnung, entspricht aber den Naturgesetzen. Der Schutzanspruch ist nur dort berechtigt, wo wesentliche Interessen gefährdet werden.

Öffentlichkeitsarbeit ist notwendig.

Fazit: Die erforderliche interdisziplinäre Forschung soll durch das NFP31 sichergestellt werden. Die Dokumentation über stattgefundene Ereignisse, die Ressortforschung und eine praxisnahe Umsetzung der Ergebnisse muss verstärkt werden.

8. Schlussfolgerungen

8.1 Beantwortung der Fragen

Die eingangs gestellten Fragen können auf Grund des bisher Gesagten wie folgt beantwortet werden:

Frage 1:

Waren die Niederschläge in Bezug auf Menge und Intensität derart selten, dass die dadurch entstandenen Hochwasserabflüsse und Erdbewegungen als natürlich zu betrachten sind?
Die Niederschläge waren in ihrer Faktorenkombination (Vorgeschichte, Temperaturverlauf, Eintrittszeitpunkt des Intensitätsmaximums, Flächenausdehnung) als sehr selten einzustufen. Für sich allein kann keiner der einzelnen Faktoren als ausserordentlich bezeichnet werden. Die Disposition des betroffenen Raums ist von Natur aus empfindlich. Verbesserungen sind durch Aufforsten und Schutzbauten nur in begrenztem Masse möglich, so dass trotz aller Anstrengungen auch in Zukunft mit vergleichbaren Ereignissen gerechnet werden muss.

Frage 2:

Ist auf Grund der durch die Zunahme der Treibhausgase erwarteten Klimaveränderung in Zukunft häufiger mit gleichen oder noch stärkeren Hochwassern zu rechnen?
Vorhersagen sind grundsätzlich nur im nachhinein zu beweisen; diese Frage kann heute nicht eindeutig beantwortet werden. Aus der Logik der vorhersehbaren Veränderungen und der Kenntnis der Prozesse ist jedoch die Sorge berechtigt, dass unser Lebensraum vermehrt durch Hochwasser gefährdet sein könnte.

Frage 3:

Wurde durch natürliche und/oder menschliche Veränderungen die Abflussbereitschaft derart erhöht, dass die Abflussmengen bisher bekannte Relationen zwischen Niederschlag und Abfluss überschritten haben?
Dort, wo die Hochwasser entstanden sind, ist keine signifikante menschliche Tätigkeit nachweisbar, die das Abflussgeschehen negativ hätte beeinflussen können.

Frage 4:

Wurde durch natürliche und/oder menschliche Veränderungen die Mobilisierung von Feststoffen gefördert?
Die Einengung und Verlegung von Flüssen führte zu zahlreichen Ufererosionen. Die Feststoffverlagerung wurde auch durch die Erosion von künstlichen Böschungen erhöht. Hingegen haben verschiedentlich Geschieberückhaltesperren den Eintrag von Geschiebe in den Hauptfluss vermindert. Da der Fluss entsprechend seinem Transportvermögen Geschiebe aufnimmt oder ablagert, haben diese Veränderungen nur einen lokalen Einfluss. Für die angefallenen Schwebstoffmengen dürfte jedoch durch die Erosion von künstlichen Böschungen eine Erhöhung der gesamten verlagerten Menge eingetreten sein.

Frage 5:

Haben wir durch intensive Nutzung unseren Lebensraum so verändert, dass bei seltenen Hochwasserabflüssen bereits unverhältnismässig grosse Sachschäden eintreten?
Extreme Hochwasser haben schon immer Siedlungen gefährdet. 1987 wurden neben neueren Gebäuden auch alte Ortskerne (z.B. Poschiavo, Münster) betroffen. Die zunehmende Flächenbeanspruchung lässt jedoch eine zunehmende Gefährdung, vor allem im Bereich der kleineren und mittleren Hochwasser, erwarten. Im Vergleich zu den grossen historischen Hochwassern waren die Schäden an der Infrastruktur (Bahn, Strasse) unverhältnismässig hoch, was mit den seither erfolgten Investitionen in die Infrastruktur erklärt werden kann.

8.2 Zusammenfassung

Eine für Umweltfragen sensibilisierte Oeffentlichkeit hat im Gefolge der Hochwasser 1987 die Frage nach den Ursachen aufgeworfen, namentlich mit Blick auf die Belastung des Naturraums durch den Menschen (z.B. durch Bodenverdichtung oder Planierung von Skipisten). In den Kommentaren der ersten Stunde wurden primär anthropogene Einflüsse als Ursache der Ereignisse gesucht. Dies ist nur allzu verständlich, da man das Unbekannte (vergleichbare Hochwasserkatastrophen liegen fast 120 Jahre zurück) mit den mit Sorge beobachteten Veränderungen in der Natur zu erklären versucht.
Auf Grund von Quellenstudien lässt sich jedoch nachweisen, dass der Alpenraum in den Jahren 1868, 1839, 1834, 1640, 1570, 1566, 1511, 1480 und 1342 von durchaus vergleichbaren Hochwasserkatastrophen betroffen wurde. Insbesondere das Hochwasser von 1342 muss nach allen Quellenlagen als wesentlich schwerer als jenes des Jahres 1987 eingestuft werden. Vor dem 19. Jahrhundert war meist noch kein starker Bevölkerungsdruck auf das Land vorhanden, so dass wesentliche Veränderungen des Naturereignisses Hochwasser durch zivilisatorische Eingriffe für die historischen Ereignisse ausgeschlossen werden können.
Die physikalischen Ursachen für die Hochwasser 1987 liegen in den grossen Niederschlagsummen, der hohen Nullgradgrenze, der grossen Reliefenergie in den steilen Einzugsgebieten und dem grossen Geschiebepotential in den betroffenen Gebirgsregionen. Sie zählen zu den sehr seltenen extremen Ereignissen, können aber in Zukunft durchaus übertroffen werden.
Die Ursachen der Schäden liegen in der intensiven Nutzung unseres Lebensraumes, besonders der Talböden. In Geldwert ausgedrückt, wurde ein nie dagewesenes Schadenausmass erreicht. Bezieht man aber die Schadensumme auf das Volkseinkommen, so hat zum Beispiel das Hochwasserereignis von 1868 das Schweizer Volk schwerer getroffen als jenes im Jahre 1987. Veränderungen in der Besiedlungsdichte und damit im Schadenpotential haben die Belastbarkeit des Siedlungsraumes in den Alpen bei Hochwasser herabgesetzt. Die seit Mitte des letzten Jahrhunderts konsequent betriebene Aufforstung und die Errichtung von Hochwasserschutzbauten wirkten dieser Gefährdung entgegen.

Was der Geologe Albert Heim 1932 über Bergstürze sagt –

> «Unser Leben ist kurz. Das Gedächtnis der Menschen als Ganzes schwach. Die wenigen Bergstürze, die wir miterlebten, haben den Eindruck hinterlassen, die Bergstürze seien ganz ungewöhnliche, ausserordentliche Erscheinungen. Allein, es ist nicht so. Im Gebirge, besonders im Hochgebirge, haben sie ihr Heimatrecht. Sie müssen helfen am Modellieren und am endlichen Schleifen der Gebirge, welche Formungsvorgänge unabänderlich, rücksichtslos und stetig fortarbeiten. Im Gebirge haben wir von Zeit zu Zeit, von Ort zu Ort Bergstürze zu erwarten.»

– gilt Wort für Wort auch für Hochwasserkatastrophen.

Fazit: Der Prozess der Landschaftsbildung ist noch nicht abgeschlossen. Der Mensch ist nur Gast in der alpinen Landschaft und muss mit ihren Gesetzen leben.

9. Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

Aschwanden H., Schädler B.; 1988; Hochwasserereignisse im Jahre 1987 in der Schweiz; Landeshydrologie und -geologie, Mitteilung Nr. 10. Bern EDMZ.

Bundesamt für Wasserwirtschaft; 1990; Ursachenanalyse der Hochwasser 1987; Ergebnisse der Untersuchungen; Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 4, Bern, EDMZ.

Götz A., Petraschek A., Zeller J.; 1988; Vorläufige Analyse der Elementarkatastrophen des Jahres 1987 in der Schweiz; Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 40, Nr. 5/6, S.141–149.

Kafur; 1989; Die Hilfeleistungen anlässlich der Hochwasserkatastrophe in Uri vom 24./25. August 1987; Bericht des zivilen Führungsstabes des Kantons Uri (Kafur); Gamma Druck + Verlag AG, 6420 Altdorf.

Petraschek A.; 1989; Die Hochwasser 1868 und 1987, ein Vergleich; Wasser, Energie, Luft; 81. Jg., H.1–3, S.1–8.

Schweizerisches Bundesblatt; 1869; Berichte der Expertenkommissionen über die Ursachen und der Betrag des durch die Überschwemmungen im Jahre 1868 angerichteten Schäden; Bundesblatt 21. Jg., H. 9, S. 277–403.

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich; 1989; Capacité du Rhône; Etude mandatée par le Conseil d'Etat du Canton du Valais.

Versuchsanstalt für Wasser, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich; 1990; Schnee, Eis und Wasser in einer wärmeren Athmosphäre Mitteilung Nr. 108 der VAW ETH Zürich.

Zanetti, B.; Valle di Poschiavo, L'alluvione 1987, la Solidarietà Poschiavina; Tipografia Menghini, Poschiavo.

Zeller J., Röthlisberger G.; 1988; Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1987; Wasser, Energie, Luft, 80. Jahrg., Nr. 1/2, S.29–42.

9.2 Bildernachweis

T. Venzin, Truns; Bild Nr. 1, 2, 9.
B. Zanetti, R. Pedrussio, A. Riedo, Poschiavo; Bild 3, 4, 5, 6 (diese Bilder wurden durch den Verlag Menghini, Poschiavo, zur Verfügung gestellt).
Commune de Fully: Bild Nr. 7.
Kantonales Bauamt Uri: Bild Nr. 8, 10, 16, 17.
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich; Bild Nr. 13, 14, 15.