



Hochwasser 2000 – Les crues 2000

Ereignisanalyse / Fallbeispiele – Analyse des événements / Cas exemplaires

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, Série Eaux – Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque
Nr. 2 – Bern 2002



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation
Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti,
dell'energia e delle comunicazioni

Hochwasser 2000 – Les crues 2000

Ereignisanalyse / Fallbeispiele – Analyse des événements / Cas exemplaires

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, Série Eaux – Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque
Nr. 2 – Bern 2002

In Zusammenarbeit mit: Bureau d'ingénieurs Tissière, Martigny; BSAP Ingenieure und Partner, Brig; Département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie, Canton du Valais, Sion; Département Transports, Equipment et Environnement, Canton du Valais, Sion; Geo7 AG, Bern; Geoplan, Steg; Hunziker, Zarn & Partner, Aarau; Institut für Atmosphäre und Klima ETHZ, Zürich; Jäggi Flussbau und Flussmorphologie, Ebmatingen; Meteodat GmbH, Zürich; MétéoSuisse, Genève; Idéalp, Sion; KBM, Sion; Odilo Schmid, Büro für beratende Geologie, Brig-Glis; Pronat AG, Brig; Staubli, Kurath & Partner, Davos-Dorf; Teyseire & Candolfi, Visp; Wasser Schnee Lawinen, Brig-Glis.

Zu beziehen unter Art. 804.502d bei BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen
En vente à l'OFCL, Diffusion publications, 3003 Berne, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Art. no 804.502d
Sämtliche Kartenausschnitte: Reproduziert mit der Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (BM012073).



Eidg. Forschungsanstalt WSL
Institut fédéral de recherches WSL
Istituto federale di ricerca WSL
Swiss Federal Research Institute WSL



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

Projektleitung

Dr. Armin Petrascheck, BWG; Dr. Christoph Hegg, WSL

Redaktion

Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf
Dr. Christoph Hegg, Franziska Schmid, Eva Frick

Wissenschaftliche Bearbeitung

Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf
Alexandre Badoux, Alessia Bassi, Stéphanie Besson, François Dufour (Sion), Christoph Graf, Dr. Christoph Hegg, Dr. Marcel Hürlimann, Dr. Daniel Näf, Dr. Dieter Rickenmann, Franziska Schmid

Bundesamt für Wasser und Geologie, 3003 Bern, 2501 Biel
Dr. Hugo Aschwanden, Dr. Jean-Pierre Jordan,
Dr. Armin Petrascheck, Henri Pougatsch

BSAP Ingenieure und Berater, Furkastrasse 3, 3900 Brig
Martin Bodenmann

Bureau d'ingénieurs Tissière, rue des Près-de-la-Scie 2,
1920 Martigny
François Xavier Marquis, Nicole Schaffter

Département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie,
Canton du Valais, Service des forces hydrauliques, 1950 Sion
Dr. Pierre-Benoît Raboud

Département Transports, Equipment et Environnement,
Canton du Valais, Service des routes et des cours d'eau, 1950 Sion
Tony Arborino, Dr. Dominique Bérod, Jean-Daniel Roullier

Geo7 AG, Neufeldstrasse 3, 3012 Bern
Dr. Markus Zimmermann

Geoplan, Fussweg, 3940 Steg
Jules Seiler

Hunziker, Zarn & Partner, Schachenallee 29, 5000 Aarau
Dr. Benno Zarn

Idéalp, Ingenieurs sàrl, rue de la Majorie 8, 1950 Sion
Philippe Bianco, François Genolet

Institut für Atmosphäre und Klima ETHZ, Winterthurerstrasse 190,
8057 Zürich
Dr. Dietmar Grebner

Jäggi Flussbau und Flussmorphologie, 8123 Ebmatingen
PD Dr. Martin Jäggi

KBM Bureau d'ingénieurs civils SA, Rue de Lausanne 39, 1950 Sion
Blaise Dussex, Xavier Mittaz, Alfred Squaratti

Meteodat GmbH, Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich
Daniela Lorenzini, Christian Noetzli, Dr. Mario B. Rohrer,
Urs Steinegger

MétéoSuisse, 1211 Genève
Didier Ulrich

Odilo Schmid, Büro für beratende Geologie SIA, Bahnhofstrasse 11,
3900 Brig-Glis
Charles-Louis Joris

Pronat AG, Rhonesandstrasse 15, 3900 Brig
Ernst Abgottspon

Staubli, Kurath & Partner, Brämabüelstrasse 15, 7270 Davos-Dorf
Beatrice Herzog

Teyssaire & Candolfi AG, Terbinderstrasse 18, 3930 Visp
Urs Nigg, Philippe Teyssaire

Wasser Schnee Lawinen, Sebastianplatz 1, 3900 Brig-Glis
André Burkard

Vorwort

Nach 1987 und 1993 wurden der Kanton Wallis und Teile des Kantons Tessin im Oktober 2000 das dritte Mal innerhalb weniger Jahre von einer schweren Hochwasserkatastrophe heimgesucht. 16 Todesopfer waren die traurige Bilanz dieses Ereignisses. Ein Drittel des Walliser Dorfes Gondo wurde durch Wasser, Erde und Geröll zerstört. Der Lago Maggiore übertraf den Hochstand von 1993 um 34 cm. Enorm war auch das Ausmass der Zerstörungen, welche Schäden in der Höhe von 670 Millionen Schweizer Franken verursachten. Die Analyse zeigt, dass dieses Ereignis in einem solchen Ausmass kaum vorhersehbar war. Extreme Dauerregen, wie sie zwischen dem 10. und 16. Oktober 2000 den südlichen Alpenraum vom Piemont bis in das Tessin mit einem Niederschlagszentrum im Gebiet des Simplonpasses niedergingen, sind einerseits nicht steuerbar und andererseits in ihren lokalen Auswirkungen kaum prognostizierbar. Zusätzlich zu den Hochwasserschäden haben Murgänge und Rutschungen das Ausmass der Schäden verstärkt. Die Niederschlagsmengen hätten das Potenzial zu einer weit grösseren Katastrophe gehabt, doch vor allem dank Massnahmen, die nach den Unwettern von 1993 ergriffen wurden, geschah nicht noch grösseres Unheil. Es wurde deutlich, dass man mit der nach 1987 entwickelten Konzeption des Hochwasserschutzes auf dem richtigen Weg ist: Nur bei einem gemeinsamen Vorgehen aller Betroffenen können die Schäden in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden. Ganz vermeiden lassen sie sich jedoch auch in Zukunft nicht. Der Umgang mit diesem Restrisiko wird deshalb eine der zukünftigen Herausforderungen im Hochwasserschutz sein.

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Wasser und Geologie, zahlreichen privaten Ingenieurbüros, der ETH Zürich (IAC), Fachstellen des Kantons Wallis (Département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie; Département Transports, Equipment et Environnement), der MétéoSuisse, Genève und der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, die auch die Projektleitung und die Gesamtreaktion wahrnahm. Allen, die zum Gelingen des Berichtes beitrugen, sei an dieser Stelle für die interdisziplinäre und interinstitutionale Zusammenarbeit gedankt.

Bundesamt für Wasser und Geologie

Der Direktor



Dr. Chr. Furrer

Avant propos

En octobre 2000, le canton du Valais et en partie le canton du Tessin, ont été victimes pour la troisième fois en l'espace de quelques années, après 1987 et 1993, d'une grave catastrophe due à des crues. Le triste bilan fait état de 16 morts. Un tiers du village valaisan de Gondo a été détruit par les eaux, les déblais et les éboulis rocheux. Le lac Majeur a dépassé son niveau maximum de 1993 de 34 cm. L'étendue des destructions a été d'une telle ampleur qu'il en résulte des dommages de 670 millions de francs. L'analyse démontre qu'un événement d'une telle ampleur était quasiment impossible à prévoir. Des pluies extrêmes de longue durée, telles que celles tombées entre le 10 et le 16 octobre 2000 sur le sud des Alpes du Piémont au Tessin, avec des précipitations centrées sur la région du col du Simplon, ne peuvent ni être influencées ni être prévues quant à leurs effets régionaux. Les laves torrentielles et les glissements de terrain ont aggravés l'ampleur des dégâts dus aux crues. Mais, les quantités de précipitations étaient telles qu'elles auraient pu avoir des conséquences bien plus désastreuses encore. Grâce essentiellement aux mesures qui ont été prises suite aux intempéries de 1993, une plus grande catastrophe a pu être évitée. Il est établi qu'avec la nouvelle conception de protection contre les crues, développée après 1987, la bonne voie est prise: Seules des actions communes de toutes les parties concernées permettent de limiter les dégâts à un niveau acceptable. Pourtant, dans le futur, ils ne pourront jamais être totalement évités. La gestion du risque résiduel sera donc un des futurs défis de la protection contre les crues.

Ce rapport est le résultat d'une collaboration entre l'Office fédéral des eaux et de la géologie, de nombreux bureaux d'ingénieur privés, de l'école polytechnique fédérale de Zurich (IAC), des services spécialisés du canton du Valais (département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie; département des transports, de l'équipement et de l'environnement), de MétéoSuisse, Genève et de l'institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage de Birmensdorf (Eidg. Forschungsanstalt WSL). C'est cet institut qui a assumé la direction du projet et qui a supervisé la rédaction du présent rapport. Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué, par leur collaboration interdisciplinaire et interinstitutionnelle, à l'élaboration de ce document.

Office fédéral des eaux et de la géologie

Le directeur

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'furrer', with a stylized, flowing script.

Dr. Chr. Furrer

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	3	4.4	Bewertung und Einordnung	89
	Avant propos	4	5	Die Schadenprozesse	92
	Inhaltsverzeichnis	5	5.1	Prozessarten und Schadenzentren	92
1	Zusammenfassung und		5.2	Les inondations dans la plaine du Rhône	95
	Schlussfolgerungen	7	5.2.1	Contexte	95
	Résumé et conclusions	15	5.2.2	Surfaces touchées et processus	95
2	Meteorologie	23	5.2.3	Interventions en crue	102
2.1	Situation Météorologique	23	5.2.4	Mesures réalisées avant les intempéries	
2.1.1	Synoptique	23		et ayant eu des effets positifs sur	
2.1.2	Températures	23		les inondations de plaine	103
2.1.3	Conclusion	24	5.2.5	Parallèle avec le projet de correction	
2.2	Niederschlagsleistung			du Rhône	103
	und Ereignisvergleich	25	5.2.6	Suite des études et travaux.	105
2.2.1	Datengrundlage	25	5.3	Die Wirkung von Geschiebe	
2.2.2	Die Starkniederschläge			und Schwebstoffen bei den Unwettern	
	vom Oktober 2000	26		vom 14./15 Oktober im Wallis	106
2.2.3	Die Starkniederschläge		5.3.1	Fluviale Geschiebeumlagerungen	106
	vom September 1993	31	5.3.2	Vorgänge auf Schwemmkegeln	108
2.2.4	Niederschlagsvergleich der Ereignisse		5.3.3	Vorgänge in Bachunterläufen	110
	von 1993 und 2000	33	5.3.4	Mureinstösse in Talflüsse	111
2.2.5	Wahrscheinlichkeiten		5.3.5	Morphologische Veränderungen	112
	von Punktniederschlägen	35	5.3.6	Schwebstoffe	112
2.2.6	Einordnung der Gebietsniederschläge		5.4	Wildbäche und Murgänge	113
	vom Oktober 2000	39	5.4.1	Murgangaktivität	113
2.3	Temperaturverlauf und Schneefallgrenze	42	5.4.2	Fluviale Wildbachprozesse	117
2.3.1	Einleitung	42	5.5	Instabilités de terrain	118
2.3.2	Temperaturverlauf im Wallis		6	Analyse de l'effet des ouvrages	
	vom 10. bis 16. Oktober 2000	42		d'accumulation	122
2.3.3	Analyse der Schneedeckenbildung		6.1	Généralités	122
	am morgen des 15. Oktobers 2000	44	6.2	Etudes des crues 1987 et 1993	122
2.4	Wetterlagen mit süd- und inneralpinen		6.3	Crue d'octobre 2000	122
	Starkniederschlägen	46	6.3.1	Généralités	122
2.4.1	Atmosphärische Eigenschaften		6.3.2	Cas des barrages valaisans	123
	zur Entstehung von Starkniederschlägen	46	6.3.3	Cas des barrages tessinois	128
3	Die Abflüsse	50	6.4	Conclusions	129
3.1	Analyse der Beobachtungen		7	Literaturverzeichnis	131
	des BWG / LH-Messnetzes	50		Figurenverzeichnis	134
3.1.1	Überblick	50		Tabellenverzeichnis	136
3.1.2	Wallis	50	8	Anhang	137
3.1.3	Tessin	56	8.1	Gebietsniederschläge	137
3.1.4	Datenqualität	58	8.2	Schneehöhen bei den IMIS-Stationen vom	
3.2	Analyse des hydrogrammes des crues			13.-17. Oktober 2000	142
	1987, 1993 et 2000	59	8.3	Tägliche Abflussvolumen im September	
3.3	Statistische Einordnung	63		1993 und Oktober 2000	146
3.4	Analyse der Spitzenabflüsse		8.4	Zones inondées lors de crues	
	im Einzugsgebiet der Rhone	68		d'octobre 2000 en valais	147
3.5	Einfluss der Schneefallgrenze			Fallbeispiele	149
	auf die Abflussbildung	74			
3.5.1	Analyse der Abflussspitzen	74			
3.5.2	Analyse der Abflussvolumen	77			
4	Die Schäden	80			
4.1	Wallis	80			
4.2	Tessin	87			
4.3	Schäden in den Kantonen Waadt und Bern.	88			

1 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Armin Petrascheck, Christoph Hegg, Franziska Schmid

Einleitung

Am Wochenende vom 14./15. Oktober 2000 traten zahlreiche Flüsse und Bäche im Kanton Wallis, in der Region von Bex (Waadt) und vereinzelt im Berner Oberland über die Ufer. Weite Gebiete wurden überschwemmt, mit Geschiebe überführt, Murgänge und Rutschungen rissen Häuser und Strassen mit, Kulturen wurden zerstört oder beschädigt. Die Ereignisse forderten im Wallis sechzehn Todesopfer, tausende von Personen mussten evakuiert werden. Grossräumig gesehen lag aber der Schwerpunkt der Niederschläge auf der Alpensüdseite, insbesondere im Piemont mit grossen Hochwassern im Aostatal und in der Poebene. Im Tessin waren besonders das Gebiet von Locarno – Ascona und die Magadinoebene von Überschwemmungen durch den Lago Maggiore betroffen. Ziel des vorliegenden Berichtes ist es, die Ursachen und Einflussfaktoren dieses aussergewöhnlich grossräumigen Ereignisses zu analysieren, um für die Planung von Schutzmassnahmen geeignete Grundlagen bereit zu stellen. Die Folge von schweren Unwettern im Kanton Wallis – 1987, 1993 und nun 2000, jedes für sich wurde als Jahrhundertereignis eingestuft – verlangte eine vertiefte Auseinandersetzung mit den meteorologischen Grundlagen. Insbesondere sind Vergleiche mit dem Ereignis vom September 1993 notwendig, das sowohl in hydrologischer und meteorologischer Hinsicht als auch vom Schadenbild her dem Unwetter 2000 recht ähnlich ist. Die im Rahmen von CONSECRU und der Dritten Rhonekorrektur geplanten Massnahmen waren, entsprechend den Erfahrungen bei diesem bisher schwersten Hochwasser des 20. Jahrhunderts, zu überprüfen.

Was ist geschehen?

Die Schäden

Das Unwetter verursachte gemäss den Ende 2000 ausgeführten Schätzungen direkte Schäden von 670 Millionen CHF. Aus finanzieller Sicht liegt das Ereignis in der Grössenordnung der nordalpinen Hochwasser vom Mai 1999 (580 Mio. CHF) oder der Ereignisse vom September 1993 (Wallis 650 Mio., Tessin 200 Mio. CHF) und ist daher gesamtschweizerisch als selten, aber nicht als aussergewöhnlich einzustufen. Aussergewöhnlich hoch für ein Hochwasserereignis ist dagegen die Anzahl Todesopfer. Während dem Ereignis kamen im Wallis 16 Menschen ums Leben. Man muss bis ins Jahr 1927 zurückgehen, um ein Hochwasserereignis zu finden, das eine ähnlich hohe Anzahl von Menschenleben gefordert hat. Damals

kamen bei einem Hochwasser im Kanton Graubünden zwölf Personen ums Leben.

Rund $\frac{1}{4}$ der totalen Schadenssumme, ca. 170 Mio. CHF, entfallen auf den Kanton Tessin. Der Lago Maggiore stieg in fünf Tagen um nahezu vier Meter an. Das ist sehr rasch für den Lago Maggiore, aber eine sehr viel kürzere Zeitdimension gilt für die spontan auftretenden Murgänge (z. B. Neubrück), bzw. für die Rutschung mit anschliessender Hangmure in Gondo, welche Häuser in Minutenschnelle zerstörten. So bestand am Lago Maggiore keine Personengefährdung. Die materiellen Schäden beschränkten sich auf die überschwemmten Gebiete entlang des Seeufers und auf die Magadinoebene. Da die Schäden eindeutig dem Prozess der Überflutung durch den Lago Maggiore zugeordnet werden können, wurde auf eine detaillierte Prozessanalyse verzichtet.

Im Wallis belief sich das finanzielle Ausmass der Schäden auf 470 Millionen CHF, das heisst auf 70% der Gesamtschäden. Die verbleibenden 30 Mio. CHF verteilen sich auf die Kantone Waadt und Bern. Betroffen war praktisch das ganze Kantonsgebiet, mit den zwei Schadenzentren Region Brig – Visp – Simplon und Raum Martigny. Beim weitaus schwersten Ereignis, in Gondo, löste sich oberhalb der Ortschaft eine Rutschmasse und staute sich hinter einer Schutzmauer gegen Steinschlag. Diese hielt dem grossen Druck nicht stand und brach. Das in der Folge herabstürzende Gemisch aus Wasser, Erde, Geröll und Teilen des Schutzwalles zerstörte zehn Gebäude, also etwa einen Drittel des Dorfes. Hier waren 13 Todesopfer zu beklagen, neben materiellen Schäden in der Grössenordnung von 60 Mio. CHF. Beim Murgang von Neubrück/Stalden gab es zwei weitere Todesopfer und vier Häuser wurden zerstört. Der Baltschiederbach überführte die gleichnamige Ortschaft mit Geschiebeablagerungen von mehreren Metern Höhe. Die zerstörte Infrastruktur (Strom, Wasserversorgung, Kanalisation) bedingte, dass die Einwohner nicht nur unmittelbar während des Ereignisses, sondern wesentlich länger evakuiert werden mussten. Im Bereich der Gemeinde Chamoson, im Unterwallis, brach der rechtsufrige Rhonedamm auf einer Länge von 100 m. Höchste Explosionsgefahr bestand kurzfristig, wegen der im Damm verlegten Gasleitung, die plötzlich freigespült wurde. Das aus der Bresche strömende Wasser überschwemmte weite Teile der Rhoneebene. Im Raum Martigny waren die Schäden durch Murgänge und den hohen Geschiebetrieb der Drance geprägt. Ein Murgang erfasste ein Auto, dessen Lenkerin dabei zu Tode kam. In der Stadt Martigny und weiteren Gemeinden entlang der Rhone mussten tausende von Personen evakuiert werden, durch Sofortmassnahmen konnten aber Schäden weitgehend verhindert werden.

Dennoch kam es in verschiedenen Gebieten zu Überschwemmungen (Evionnaz, St. Maurice).

Der grundsätzliche Unterschied in der Art der Hochwasserprozesse beim Ereignis vom Oktober 2000 zwischen dem Wallis und dem Tessin zeigt sich auch deutlich bei den Schäden der öffentlichen Hand. Im Tessin stieg der Lago Maggiore vergleichsweise langsam und zerstörte keine Infrastrukturanlagen. Mit 10 Mio. CHF oder rund 7% der Gesamtschadenssumme ist der Anteil klein. Es gab auch keine nennenswerten Mengen von in den See ausgelaufenem Öl, welches 1993 die Schadenbilanz stark belastete. Im Wallis haben die dynamischen Prozesse – hauptsächlich Geschiebetrieb und Murgänge – zur Zerstörung von Strassen, Wasser- und Abwasserleitungen sowie Hochwasserschutzbauten geführt. Die Schäden der öffentlichen Hand sind mit 290 Mio. CHF oder 62% markant höher als bei den Überschwemmungen des Lago Maggiore.

Nicht eingetretene Schäden

An dieser Stelle müssen auch einige jener Schäden angeführt werden, die dank der nach dem Unwetter von 1993 ausgeführten dringlichen Massnahmen vermieden werden konnten. An erster Stelle muss Brig erwähnt werden, das 1993 durch das Ausufern der Saltina einen Schaden von nahezu 500 Mio. CHF erlitt. Das Anheben der Saltinabrücke und die Geschieberückhaltemassnahmen waren im Oktober 2000 so wirksam, dass trotz der zweimaligen deutlich grösseren Spitze kein Ausufern eintrat. Die verbliebenen Schäden durch Erosion an der Uferverbauung sind mit 10 Mio. CHF vergleichsweise klein und bestätigen, dass extreme Ereignisse zwar nicht ohne Schaden, wohl aber ohne Katastrophe ablaufen können. Der Kelchbach in Naters konnte nur durch mobile Massnahmen in seinem Bett gehalten werden, so dass Schäden in der Grössenordnung von 200 Mio. CHF verhindert werden konnten. Ähnliche Massnahmen haben ein Ausufern der Lonza im Siedlungsbereich Gampel – Steg verhindert. Die provisorische Erhöhung der Rhonedämme bei Visp hat sich als absolut notwendig erwiesen, erreichte doch der Wasserspiegel die Dammkrone und konnte an den kritischen Stellen nur mit Notmassnahmen gehalten werden. Das Schadenpotenzial in diesem Bereich ist wegen der Industrieanlagen der Lonza noch grösser als jenes von Brig. Die so verhinderten Schäden hätten höchstwahrscheinlich eine Milliarde CHF deutlich überschritten.

Meteorologische Ursachen

Als am 23./24. September 1993 in Simplon Dorf in zwei Tagen 290 mm bzw. in Camedo 330 mm Niederschlag fielen, war dies ein extremer Wert mit schweren Folgen für das Oberwallis und das Tessin. Am 13./14. Oktober 2000 wurde in Simplon Dorf dieser Wert mit nahezu 500 mm noch deutlich übertroffen. Das Hochwasser wurde, wie meist im Wallis, durch eine Südlage ausgelöst, wie sie im Herbst aber auch im Frühjahr öfters vorkommt. Die Situation im Oktober 2000 war aber dadurch gekennzeichnet, dass während sieben Tagen (10. bis 16. Oktober) ständig feuchtwarmer Luft aus Süden gegen die Alpen geführt wurde. Die an den Alpen zum Aufstieg gezwungenen Luftmassen führten zu grossräumig intensiven Niederschlägen, welche am 13. und 14. Oktober auf der Alpensüdseite ihr Maximum hatten und in die lokal intensive Schauer eingelagert waren. Das Zentrum der Niederschläge lag in diesen Tagen zwischen Domodossola und Simplon Dorf. In der Schweiz wurden dabei vor allem die Südseite des Simplonpasses und das Binntal äusserst stark beregnet. In der Nacht vom 14./15. Oktober erfasste eine weitere Niederschlagswelle vor allem das untere und mittlere Wallis, wo links der Rhone am 15. Oktober mit bis gegen 90 mm teilweise ebenfalls beträchtliche Tagesniederschläge auftraten. Allerdings war dabei die Schauertendenz wesentlich kleiner. Die im Laufe des Tages nach Osten abziehende Kaltfront hatte zur Folge, dass die Niederschläge am 16. Oktober fast ganz abklangen. Vom Septemberereignis 1993 unterscheidet es sich vor allem durch die längere Dauer (sieben statt gut drei Tage) und die wesentlich grösseren Niederschlagsmengen. Dies nicht nur im Raum Simplon – Binn, sondern auch im übrigen Wallis. So wurden in den südlichen Seitentälern der Rhone 2-Tagesniederschläge mit Jährlichkeiten von 100 und mehr Jahren beobachtet. Zwar war deren Menge mit 100 bis 150 mm deutlich geringer als im Zentrum, aber für diese eher trockenen Gebiete müssen sie gleichfalls als ausserordentlich eingestuft werden.

Die Wahrscheinlichkeit solcher sehr seltenen Ereignisse ist nur unsicher abzuschätzen. Rechnerisch ergaben sich bei den Mehrtagesniederschlägen – je nach Station – Wiederkehrperioden von fünf Jahren in den Randgebieten, bis über 1000 Jahren in den Zentren Simplon und Grosser St. Bernard. Die Häufung von Starkniederschlägen in den letzten Jahrzehnten – insbesondere die Ereignisse von 1987, 1993 und nun 2000 – lassen vermuten, dass die tatsächliche Wiederkehrperiode wesentlich kleiner ist als der rechnerische Wert.

Hochwasser

Tessin

Im Kanton Tessin stieg der Pegel des Lago Maggiore auf den zweithöchsten Stand seit Messbeginn 1867. Mit 197.57 m ü.M. m war er 34 cm höher als im September 1993. Dieser hohe Seestand ist primär auf die intensiven Niederschläge im Einzugsgebiet des Toce zurückzuführen, der mit 4200 m³/s oder 2.7 m³/s*km² einen extrem hohen Spitzenabfluss aufwies. Die Spitzenabflüsse der Maggia (1140 m³/s) und des Ticino (800 m³/s) waren deutlich unter ihren Höchstwerten, was auch mit den im Vergleich zu 1993 geringeren Niederschlägen in deren Einzugsgebieten übereinstimmt. Das zugeführte Abflussvolumen stammt fast zu ²/₃ aus dem italienischen Einzugsgebiet des Lago Maggiore. Eine Lage des Niederschlagszentrums etwas weiter östlich – vergleichbar mit jener des Jahres 1993 – hätte jedoch noch zu bedeutend höheren Seeständen geführt.

Wallis

Das Ereignis im Kanton Wallis war aus hydrologischer Sicht dadurch gekennzeichnet, dass praktisch das ganze Rhoneeinzugsgebiet oberhalb des Genfersees, insbesondere die linksufrigen Teileinzugsgebiete, von den intensiven und langandauernden Niederschlägen betroffen war. Man muss bis 1948 oder 1920 zurückgehen, bis man vergleichbare Situationen findet, denn weder 1993 noch 1987 wurden im Mittel- oder Unterwallis hohe Abflüsse festgestellt. Aus hydrologischer Sicht war es das grösste Hochwasser im Kanton Wallis im 20. Jahrhundert und brachte an 7 von 13 langfristig beobachteten Messstellen neue Höchstwerte.

Rhone

Die Rhone bei Brig erreichte einen Abfluss von 560 m³/s, bei Sion 910 m³/s und bei Porte du Scex 1370 m³/s. In Brig übertraf der Abfluss den bisherigen Höchstwert von 1987 (495 m³/s) um 13%. Die Abflüsse der Rhone bei Branson und Sion waren, hauptsächlich wegen des geringen Zuflusses aus der Vispa, nur um 5 bis 10% grösser als 1993. Rekonstruiert man für diese Stationen den natürlichen Abfluss, indem man die beobachteten Werte um den Rückhalt in den Speichern erhöht, so erhält man für Sion drei annähernd gleich grosse Werte um 1050 m³/s, was besagt, dass die Ereignisse kaum als ausserordentlich eingestuft werden können und unter unbeeinflussten Bedingungen als hydrologisch gleich wahrscheinlich betrachtet werden müssen. In Porte du Scex ist der beobachtete Abfluss deutlich (26%) über jenem von

1993, aber auch über jenen von 1920 und 1948, weshalb dem Hochwasser in diesem Abschnitt eine deutlich geringere Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet werden muss und im Einklang mit der relativ seltenen Wahrscheinlichkeit der gleichzeitigen Überregnung von Ober- und Unterwallis steht. Von Brig bis Sion kann daher das Rhonehochwasser als ein 100-jährliches Ereignis eingestuft werden, unterhalb weist es eine Wiederkehrperiode von 200–300 Jahren auf. Eine detaillierte Analyse der Abflussganglinien der Rhone zeigt, dass die Abflussspitze sowohl in Brig als auch in Sion deutlich breiter war, als beispielsweise im September 1993. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Abflussspitzen der Zuflüsse jeweils vor dem maximalen Abfluss im Hauptgerinne der Rhone eintrafen, da die Niederschlagsereignisse praktisch überall gleichzeitig auftraten. Bei einem zeitlichen Zusammentreffen der Abflussspitzen von Rotten, Saltina, Massa und Vispa wären die Hochwasser um 100–150 m³/s grösser gewesen.

Seitliche Zuflüsse und Simplonsüdseite

Der Spitzenabfluss der Saltina übertraf am 14. Oktober mit 105 m³/s und am 15. Oktober mit 125 m³/s gleich zweimal jenen von 1993 (90–100 m³/s). Die Folgen ohne die getroffenen Schutzmassnahmen wären katastrophal gewesen. Im Bereich der sehr hohen Abflussspenden (1–2 m³/s*km²) finden sich auch die benachbarten Gewässer wie Gamsa, Balt-schiederbach und Kelchbach, sowie die Gewässer auf der Simplon Südseite, wo das Grosse Wasser mit 7,5–9,6 m³/s*km² einen einsamen Spitzenwert liefert. An der Drance in Martigny wurden 180 m³/s gemessen – im Vergleich zu 85 m³/s im Jahre 1993. Beide Werte sind jedoch stark vom Kraftwerksbetrieb beeinflusst. Für die hydrologische Beurteilung sollten die rekonstruierten natürlichen Abflüsse von 275 und 165 m³/s herangezogen werden. Generell können die Abflussspenden als sehr hoch, aber noch immer im Bereich der regionalen Höchstwerte eingeordnet werden. Dies erstaunt etwas, wären doch auf Grund der Rekordniederschläge eher noch höhere Werte zu erwarten gewesen. Besonders auffallend ist der Spitzenabfluss an der Vispa (200 m³/s), der nur 61% des Wertes von 1993 erreichte. Auch das 5-Tagesvolumen betrug nur 75%, dies trotz der wesentlich längeren Dauer und der höheren Gebietsniederschläge (165 mm im Jahre 1993 und 265 mm im Oktober 2000). Die Erklärung liegt, wie im Folgenden erläutert, wahrscheinlich in der Lage der Schneefallgrenze.

Schneefallgrenze

Der Verlauf der hydrologisch bedeutsamen Schneefallgrenze war während dem Ereignis uneinheitlich. Im Goms und im Wallis nördlich der Rhone lag sie bis zum Mittag des 15. Oktobers auf einer Höhe von ca. 3000 m ü.M. und sank dann deutlich ab. In den Walliser Südtälern dagegen sank die Temperatur schon am frühen Morgen des 15. Oktobers um einige Grad, weil das kalte Zentrum des Tiefs in diesem Gebiet durchzog. Da diese Abkühlung mit der Periode der intensivsten Niederschläge zusammenfiel, hatte sie zur Folge, dass ein grosser Teil der Niederschläge in einer sich neu bildenden Schneedecke zurückgehalten wurde. Dieser Anteil wurde insbesondere in den höher gelegenen Einzugsgebieten der Vispa und der Drance nicht abflusswirksam. Das hatte zur Folge, dass der Abfluss in den entsprechenden Gerinnen deutlich unter den aufgrund der Niederschlagsverhältnisse zu erwartenden Werten lag und in den hoch gelegenen Einzugsgebieten nicht die Werte von 1993, bei einer Schneefallgrenze im Bereich von 3300 bis 3500 m ü.M., erreichte. Für den Spitzenabfluss der Rhone dürfte dieses regionale Absinken der Schneefallgrenze eine Abminderung von mehreren 100 m³/s bewirkt haben.

Speicherkraftwerke

Auch im Herbst 2000, wie schon bei den Ereignissen 1993 und 1987, haben die Speicherseen einen Beitrag von ca. 100 m³/s zur Dämpfung der Spitzenabflüsse geleistet. Allerdings war die Reduktion infolge des zeitlich verschobenen Eintreffens der Abflussspitzen weniger markant als 1993 (160 m³/s) oder 1987 (210 m³/s). Auch bei den Speicherzuflüssen zeigte sich der Einfluss der Abkühlung, war doch für fast alle Einzugsgebiete der Niederschlag bedeutend höher als 1993, aber das zugeflossene Volumen geringer. Durch eine koordinierte Bewirtschaftung konnte trotz des zu Ereignisbeginn höheren Füllungsgrades bei den grossen Speichern ein Überlauf vermieden werden.

Die Schadenprozesse

Überschwemmungen

Im Wallis wurden in der Rhoneebene insgesamt 1027 ha überschwemmt, wovon ungefähr die Hälfte im Oberwallis lag. Den Rest teilen sich Mittel- und Unterwallis zu ungefähr gleichen Teilen. Der spektakulärste Fall ist der Dammbruch der Rhone bei Chamoson mit 242 ha und als Folge die zusätzliche Überschwemmung von 144 ha bei Saillon. Interessan-

terweise trat der Bruch, bei dem rund 3.5 Mio. m³ ausflossen, erst nach dem Durchgang der Spitze ein. Nach Dammbrüchen ist eine unzureichende hydraulische Kapazität die nächste wichtige Ursache (478 ha). Dies betraf vor allem die seitlichen Gewässer und nicht die Rhone. Durch Rückstau in den Zubringern und den Kanälen in der Rhoneebene, die wegen der zu hohen Wasserstände im Hauptfluss nicht in diesen entwässern konnten, wurden 190 ha überschwemmt. Interessanterweise sind nur vier Fälle von Überschwemmungen (30 ha) infolge Auflandung oder Hindernissen bekannt. Den kritischen Zustand der Rhonedeeiche an verschiedenen Stellen belegt die Überschwemmung infolge Durchsickerung von 7 ha Land knapp oberhalb von Visp und die Notmassnahmen bei Port Valais zur Deichstabilisierung.

Murgänge

Zu einer Häufung von meist kleineren Murgangereignissen kam es vor allem im Gebiet Stalden – Eisten – St. Niklaus. Erosion der Talflanken und ein daraus folgender Aufstau führten zum Murgang am Beiterbach mit ca. 40 000 m³, der die Vispa aufstaute. Aufgrund der Erkenntnisse früherer Ereignisse wäre bei den aussergewöhnlichen Niederschlägen eine höhere Murgangtätigkeit zu erwarten gewesen: Bekannte Anrissgebiete, beispielsweise in den südlichen Vispertälern, wurden im Herbst 2000 nicht aktiviert. Das Absinken der Schneefallgrenze während der intensivsten Niederschläge am 15. Oktober hatte zur Folge, dass die Auslösung von Murgängen in höhergelegenen Anrissgebieten wesentlich vermindert wurde. Als Sonderfall ist der Murgang von Fully (350 000 m³) zu erwähnen, dessen Auslösung im Zusammenhang mit Vorfällen bei der Kraftwerksanlage steht.

Geländeinstabilitäten

In den Kernzonen der Niederschläge, also insbesondere im Raum Simplon und Binn, traten zahlreiche, jedoch meist kleinere Rutschungen auf. Die ausserordentlich hohen Niederschlagsintensitäten führten an Stellen mit normalerweise ausreichender Entwässerung zu lokalem Grundwasserstau und in der Folge zu Hangmuren und Rutschungen. Ein derartiger Mechanismus wird als auslösende Ursache bei der verhängnisvollen Hangmure von Gondo angenommen. Auch am Beiterbach und im Einzugsgebiet des Baltschiederbaches besteht eine enge Beziehung zwischen Geländeinstabilität und dem Schadenereignis. Dass in verschiedenen bekannten Rutsch- und Bergsturzgebieten die starken Niederschläge neue Aktivitäten auslösten, war zu erwarten. Angesichts der Niederschlags-

mengen und deren Seltenheit ist es fast mehr erstaunlich, dass Zahl und Schadenausmass begrenzt blieben.

Geschiebetransport

Die hohen Abflussmengen in den Seitengerinnen, aber auch in der Rhone selber, führten zu grossen Feststoffumlagerungen. In der Rhone wurden im Raum Naters durch die Geschiebeeinstösse von Rotten, Saltina und Kelchbach Auflandungen von 1 bis 1,5 m (150 000 m³) festgestellt. Rund 170 000 m³ Geschiebe wurden im Bereich des Pfynwaldes zurückgehalten. Die Problematik der Geschiebeablagerung von Seitenbächen beim Gefällsknick am Übergang ins Rhonetal wurde in Baltschieder in drastischer Weise verdeutlicht, als im Ortsgebiet rund 160 000 m³ Geschiebe und Sand abgelagert wurden. An der Gamsa wiederholte sich das Ereignis von 1993 mit einer Ablagerung von 150 000 m³ Geschiebe. Am Kelchbach in Naters und an der Lonza in Steg-Gampel konnten die Ablagerungen auch durch den Einsatz von Baggern in Grenzen gehalten werden. An der Vispa verursachte der Mureinstoss des Beiterbaches einen Rückstau und bedeutende Auflandungen (350 000 m³) und Überschwemmungen flussaufwärts. Ähnlich, aber in den Dimensionen kleiner, staute der Torrent St. Jean bei Martigny Combe die Drance. Bedeutende Feststoffumlagerungen fanden im Zwischbergental, dem Zentrum der Niederschläge, statt, welche die Speicherbecken von Fah und Sera mit Geschiebe füllten. Starke Erosionen waren im Unterlauf der Saltina, bei der Doveria, den Torrents de Verbier und, besonders im Unterwallis, an der Rhone selbst zu beobachten. Es zeigte sich wieder, dass Ablagerungen und Erosion schwerer zu beherrschen sind als die hydraulischen Probleme der auftretenden Wassermengen.

Erkenntnisse und Lehren

Zum Voraus: Die Ereignisse haben die Richtigkeit der nach den Unwettern 1993 eingeleiteten integralen Planung von Schutzkonzepten bestätigt. Es sind bei den bestehenden Projekten keine Änderungen erforderlich, sondern nur verschiedene Anpassungen. Die Bestätigung, dass der eingeschlagene Weg auch unter den ausserordentlichen Bedingungen des letzten Hochwassers richtig ist, kann als wichtige Erkenntnis betrachtet werden.

Zu den Ereignissen

Die *Aufeinanderfolge mehrerer ausserordentlicher Ereignisse* (1987, 1993 und 2000), die sowohl das

Wallis als auch das Tessin betrafen, belegt die an sich bekannte, aber so oft bewusst oder unbewusst verdrängte Tatsache, dass «Jahrhundertereignisse» in wesentlich kürzeren Zeiträumen auftreten können, als es der Begriff ausdrückt. Ob diese Häufung bereits die Folge einer Klimaerwärmung ist, oder ob günstige Umstände seit längerem (1948) uns vor grösseren Hochwassern bewahrt haben, muss offen bleiben. Tatsache ist, dass vergleichbare Häufungen auch in der vorindustriellen Zeit (1834, 1839 und 1868) auftraten. Tatsache ist aber auch, dass wir uns zur Zeit in einer überdurchschnittlich warmen Periode befinden. Jedenfalls ist keine Begründung erkennbar, anzunehmen, dass innerhalb des nächsten Jahres oder Jahrzehntes kein vergleichbares Hochwasser auftreten könnte.

Ausserordentlich sind jedenfalls die Niederschläge und dies sowohl in bezug auf Menge, Dauer und räumlicher Ausdehnung. Zwar hat Grebner (1994) in seiner Analyse der Niederschläge vom September 1993 festgehalten, dass weniger mit einer Erhöhung der kurzfristigen Intensitäten zu rechnen ist, aber ein weiträumigeres Übergreifen in das Wallis und eine längere Dauer durchaus möglich seien. Dass diese damals geäusserten Befürchtungen so bald und so deutlich – die Dauer und damit die Niederschlagsmengen haben sich nahezu verdoppelt – als berechtigt herausstellen würden, überrascht. Die drastische Zunahme der Niederschlagsmenge zeigt, dass Extremereignisse auch markant höher als alle bisherigen Erfahrungswerte sein können, wie dies auch z. B. die Abflüsse der Aare in Bern des Jahres 1999 zeigen. Statistische Analysen, die auf dem historisch Erfahrenen basieren, können den Bereich der sehr seltenen Ereignisse nur sehr unzureichend beschreiben und müssen bei Untersuchungen durch physikalisch fundierte Modellüberlegungen ergänzt werden, um im Rahmen von Sicherheitsstudien das aufzuzeigen, was in der Zukunft auch möglich sein könnte.

Das Niederschlagsereignis beinhaltete ein *Potenzial zu einer weit grösseren Katastrophe*, als sie eingetreten ist. Es zeigte sich, dass in der Natur nie, oder fast nie, alle negativen Komponenten konsequent maximiert werden. Die regionale Abkühlung, die am frühen Morgen des 15. Oktobers – zur Zeit der höchsten Niederschläge im Wallis – einsetzte, liess in Höhen über 2600 m ü. M. Schnee fallen. Somit reduzierte sich die massgebende Einzugsgebietsfläche zum Beispiel an der Vispa um nahezu 60% und an der Rhone bei Porte du Scex um ca. 25%. Deutlich abflussmildernd wirkte sich auch das zeitlich verschobene Eintreffen der Spitzenabflüsse der einzelnen Seitengewässer aus und der Rückhalt in den Kraftwerksspeichern. Das Ereignis macht aber auch auf die *Grenzen der Vorhersehbarkeit* aufmerksam. Im Niederschlagszen-

trum für Flächen in der Grössenordnung von 100 km² (Doveria, Grosses Wasser) erreichten die 48-stündigen Niederschlagsmengen 75 bis 80% des PMP (probable maximum precipitation) und für das 5200 km² grosse Einzugsgebiet der Rhone bei Porte du Scex noch immer 67%. Der Vergleich mit dem PMP, also der wahrscheinlichen Obergrenze der möglichen Niederschläge, ist angebracht, da derart ausserordentliche Ereignisse durch eine quantitative statistische Wahrscheinlichkeitsangabe nicht mehr richtig beschrieben werden können. Sie gehören dem sehr, sehr seltenen Bereich an. Die Abflüsse waren, dank der erwähnten mildern Faktoren, noch im Bereich des Wahrscheinlichen und nicht des Unwahrscheinlichen wie der Niederschlag. Nicht vorhersehbar war das Ereignis von Gondo, wo eine Verkettung widriger Umstände zur Katastrophe führte. Angesichts der gewaltigen Niederschlagsmengen und dem extrem steilen Gelände muss man sich vielmehr fragen, warum es nicht an viel mehr Stellen zu Rutschungen kam. Beiterbach und Baltschiederbach bilden, wie alle Wildbäche, ein schwer erfassbares Gefahrenpotential, aber das Ausmass des Ereignisses sprengt mit grosser Wahrscheinlichkeit das, was man vorgängig für massgebend gehalten hätte. So ist der Wildbachkegel des Baltschiederbaches sehr flach, was auf häufige, kleinere Geschiebefrachten mit einem hohen Sandanteil hindeutet und nicht auf Grossereignisse mit weit über 100 000 m³. Auf Grund der detaillierten Studien für die Dritte Rhonekorrektur wurden die Schwachstellen an der Rhone vorhergesehen. Der Dammbruch bei Chamoson erfolgte an einer Stelle, die als stark gefährdet erfasst war. An anderen Schwachstellen, wie z. B. Visp, Monthey oder Martigny konnten die Dämme mit Notmassnahmen gehalten werden.

Zu den Massnahmen

Die Lehren und Schlussfolgerungen, die man aus den Analysen der Unwetter von 1993 gezogen hat, wurden bestätigt. Die ergriffenen *Massnahmen und Planungen haben sich bewährt*. Die dem Rhoneprojekt zu Grunde liegenden Abflussmengen wurden erreicht aber nicht überschritten und es sind keine Änderungen erforderlich. Die Gefahrenstellen wurden bestätigt, die eingeleiteten dringenden Massnahmen haben weit schlimmere Schäden verhütet und die Notfallorganisationen funktionierten; denn auch dort, wo kein permanenter Schutz realisiert war, konnten grosse Schäden verhütet werden. Dies unterstreicht die *Bedeutung der Gefahrenbeurteilung und der Gefahrenkarten*, denn die Schadensschwerpunkte waren an Orten, wo man nicht damit gerechnet hatte und wo kein Massnahmendispositiv vorhanden war. Es zeigte

sich auch, dass der Bereich der Führung und Kommunikation seit 1993 wesentlich verbessert werden konnte.

Die rasche Folge von Extremereignissen zeigt auch, dass einmal erkannte Schwachstellen rasch beseitigt werden sollen, denn die Natur gewährt nicht immer Fristen. Das Zusammenspiel von temporären und bleibenden Massnahmen hat sich bewährt (Naters, Steg, Visp) aber auch die Kraftwerksbetreiber konnten den zur Verfügung stehenden Speicherraum im Sinne des Hochwasserschutzes ausschöpfen.

Deutlich wurde, dass die Beherrschung der Geschiebemengen und der Murgänge weit anspruchsvoller ist, als die Ableitung der Wassermengen, und dass Grossereignisse nicht ohne den entsprechenden *Raum für den Fluss* beherrscht werden können. So zeigten die Rückstauprobleme an den Seitengewässern, dass eine flussbauliche Sicherheit gegen die Hochwasser der Rhone nicht in einer Erhöhung der Dämme gesucht werden kann, sondern dass der Wasserspiegel tief gehalten werden muss, was nur durch Verbreiterungen des Abflussgerinnes möglich ist.

Das Beispiel von Gondo macht deutlich, dass immer *ein Bauwerksversagen in Betracht gezogen werden soll*. Dort haben die grossen Teilstücke der Steinschlagmauer den Schaden erhöht. Beim nun für den Wiederaufbau gewählten Konzept wird ein Damm aus bewehrter Erde anstelle der zerstörten Betonmauer eingesetzt, der im Falle eines Bruches keine zusätzliche zerstörende Stosswirkung entfaltet. Die Besonderheit im Fall Gondo ist, dass Massnahmen gegen eine bestimmte Naturgefahr (hier Steinschlag) die Gefährdung durch eine andere Naturgefahr (hier Hangmure) erhöht haben. Es gilt also bei Massnahmen nicht nur bei der jeweils betrachteten Naturgefahr den Überlastfall zu beachten, sondern auch das Zusammenwirken mit anderen Gefahren.

Das Ereignis vom Oktober 2000 erinnert daran, dass das Wallis nicht nur vom Hauptfluss, sondern auch von den Seitengerinnen her bedroht ist. Der Kanton steht vor schweren finanziellen Problemen, einerseits die Dritte Rhonekorrektur und andererseits, möglichst gleichzeitig, die ergänzenden Schutzkonzepte an den Zuflüssen zu realisieren.

Die Analyse zeigt, dass ein noch über das Ereignis des Jahres 2000 hinausgehendes Gefahrenpotential besteht, und dass noch grössere Ereignisse möglich sind, denn ob und wie weit die erwähnten abmildern Faktoren beim nächsten Mal wirken, ist offen. *Schutzkonzepte müssen daher belastbar sein*: Sie dürfen im Falle eines über die Bemessung hinausgehenden Naturereignisses nicht die Situation verschärfen. Sie können dann den Schaden zwar nicht verhüten, sollen diesen aber begrenzen. Dies erfordert eine

Zusammenarbeit von Wasserbau, Raumplanung und Notfallplanung. Der Klimawandel, aber auch der Nutzungswandel erfordert eine ständige Überprüfung der Gefahrensituation und wie bei allen menschlichen Handlungen, ein ständiges Üben und Überdenken der notwendigen Massnahmen. Der Weg, wie er in der Wegleitung zum Hochwasserschutz vom BWG (2001) vorgezeichnet und für das Wallis im Rahmen von CONSECRU konkretisiert wurde, ist konsequent weiter zu gehen.

Am Lago Maggiore ist die Situation für Schutzmassnahmen durch die öffentliche Hand schwieriger. Die wünschenswerte Absenkung der höchsten Seespiegel hängt von der Zusammenarbeit mit Italien ab, welches wegen eventueller negativer Auswirkungen für die Unterlieger sehr vorsichtig bei der Zustimmung zu Massnahmen ist. Wegen dem nur langsam steigenden Wasserspiegel mit Überschwemmungstiefen von meist weniger als einem Meter, sind die *Möglichkeiten des Selbstschutzes* grösser als im Wallis. Sie wurden aber bisher kaum ergriffen, obwohl die Häufigkeit der Ereignisse dies durchaus wirtschaftlich vertretbar machen würde. Dass Massnahmen, wie Verlegung der elektrischen Verteilung in die Obergeschosse, Sicherung oder Ersatz von Öltanks, wasserfeste Gebäudestrukturen oder Ausstattung zusammen mit der Abdichtung von Türen und Fenstern, den Schaden wirksam mildern können, hat das Beispiel von Köln gezeigt, als die Schäden zwischen 1993 und 1995, trotz höherem Wasserstand, halbiert wurden.

Was heisst das für die Zukunft? – Ausblick

Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur

Das Hochwasser vom Oktober 2000 im Wallis und im Tessin hat zum wiederholten Mal gezeigt, dass sich auch mit grossem Aufwand nicht alle Gefahren von Siedlungen und Infrastrukturanlagen fernhalten lassen. Präventive Massnahmen, wie sie vielerorts ergriffen wurden, erwiesen sich als grundsätzlich erfolgreich. Dennoch weisen sie gewisse Belastungsgrenzen auf: So hätte ein höherer Abfluss in Brig, in Visp oder in Martigny zu grossen Schäden geführt. In Anbetracht der Tatsache, dass auch erst kürzlich realisierte Massnahmen, wie sie z. B. in Brig getroffen wurden, nur bis zu einem gewissen Grad Schutz bieten können, zwingen uns zur Überlegung, wie wir mit dem immer verbleibenden Restrisiko umgehen wollen.

Der Wille zur Schadenvermeidung soll aber nicht zu unrealistischen Nutzungseinschränkungen führen. So ist es durchaus erstrebenswert an der Gunstlage am

Lago Maggiore in Locarno oder Ascona zu wohnen oder ein Hotel zu betreiben, aber es muss damit gerechnet werden, dass von Zeit zu Zeit das Wasser auf dem Grundstück steht. Wenn also diese Gunstlage genutzt werden soll, müssen wir die Anlagen baulich so gestalten, dass im Ereignisfall die Schäden tragbar bleiben. Bei der Wiederherstellung nach dem Ereignis bieten sich viele Möglichkeiten. Leider haben sich am Lago Maggiore zwischen 1993 und 2000 nur die Schäden der öffentlichen Hand, nicht jedoch die der Privaten verringert. Dies zeigt, dass – trotz bekannter Gefahr – der Wille zur Eigenvorsorge nur in Einzelfällen vorhanden ist.

Erfolgreiche Beispiele von baulichen Massnahmen sind im Wallis z. B. das Hochwasserschutzkonzept in Brig sowie die Dammerhöhung entlang der Rhone in Visp. Dass es aber nicht immer fixe, bauliche Massnahmen braucht um grössere Schäden zu vermeiden, haben vor allem die Beispiele Gampel/Steg und Naters eindrücklich gezeigt. Die Kombination aus vergleichsweise kleinen baulichen Anpassungen mit vorbereiteten temporären Massnahmen (z. B. Erhöhung von Ufern durch Holzbalken oder Sandsäcken), welche durch Interventionskräfte in Betrieb genommen werden müssen, haben beim Ereignis vom Oktober 2000 ihre Bewährungsprobe bestanden.

So wie in der Natur nicht nur ein Faktor zum Hochwasser führt, so muss bei der Schadenverhütung eine Kombination von Massnahmen – der raumplanerischen Nutzungseinschränkung, den Schutzbauten und dem Objektschutz, sowie den mobilen Massnahmen der Rettungskräfte – zusammenwirken. Um diese verschiedenen Massnahmen in einer optimalen Kombination einsetzen zu können, braucht es zuerst eine gute Vorbereitung. Wichtigste Voraussetzung dazu ist, dass die Gefahrenpotentiale bekannt sind. Flächendeckende Gefahrenkarten bilden dafür die Grundlagen. Auf dieser Basis kann dann über die Erstellung von Schutzbauten, die Organisation eines eingespielten Warnsystems zur Auslösung der Intervention entschieden werden. Bei den Warnsystemen ist eine Mehrstufigkeit erforderlich. Auf dem nationalen Niveau kann die Grosswetterlage beurteilt werden. Regional müssen die gefährdeten Bereiche identifiziert werden und lokal Massnahmen umgesetzt werden. Auch für die Eigenvorsorge (Objektschutz) und/oder das Überwälzen von Risiken an Versicherungen bilden die Gefahrenkarten die entscheidende Grundlage.

Die Gleichwertigkeit aller Massnahmen (raumplanerische, bauliche, organisatorische, ...) im Kreislauf von Prävention, Intervention und Wiederherstellung bildet die Grundlage des integralen Risikomanagements. Darin eingeschlossen ist die Beurteilung des nach getroffenen Massnahmen noch verbleibenden Risikos.

Um entsprechende Entscheide – beispielsweise eine Priorisierung einzelner Massnahmen – zu treffen, werden an verschiedenen Forschungsinstitutionen Instrumente und Entscheidungsgrundlagen bearbeitet und bereitgestellt.

Dieses integrale Risikomanagement kann aber nur in einem Umfeld eingesetzt werden, dessen Kultur bewusst die Risiken aussergewöhnlicher Witterungsverhältnissen in Kauf nimmt. Dazu muss der unter dem Stichwort «von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur» eingeleitete Risikodialog bei Fachleuten, Politikern und potenziell Betroffenen fortgesetzt werden. Dieser Umgang mit Risiken ist so alt wie die Menschheit und er findet sich auch bei Schiller, wenn Tells Sohn Walter nach einer Schilderung eines Lebens in Unfreiheit ausserhalb der Berge sagt:

*Vater, es wird mir eng im weiten Land;
Da wohn ich lieber unter den Lawinen.*

Wilhelm Tell, 3. Aufzug, 3. Szene

Das Risiko der Naturkatastrophen ist der Preis, den wir für das Leben im Alpenraum bezahlen müssen. Wir können den Preis mindern, aber nicht vermeiden.

1 Résumé et conclusions

Armin Petrascheck, Christoph Hegg, Franziska Schmid

Introduction

Lors de la fin de semaine du 14/15 octobre 2000, de nombreux cours d'eau et torrents du canton du Valais et de la région de Bex (Vaud) et quelques-uns de l'Oberland bernois sortirent de leur lit. De larges territoires furent inondés et envahis par des alluvions. Des laves torrentielles et des glissements de terrain ont arraché des maisons et des routes. Les cultures ont été détruites ou endommagées. Ces événements ont coûté la vie à seize personnes en Valais, des milliers de personnes ont dû être évacuées. Mais à grande échelle, on peut dire que le centre de gravité des précipitations se situait sur le versant sud des Alpes, en particulier au Piémont, avec de grandes crues dans la vallée d'Aoste et dans la plaine du Po. Au Tessin, ce sont les régions de Locarno – Ascona, ainsi que la plaine de Magadino qui ont été particulièrement touchées par les débordements du lac Majeur. Le but du présent rapport est d'analyser les causes et les facteurs d'influence de cet événement exceptionnel de grande étendue, afin de préparer les bases adéquates pour une planification des mesures de protection. Les conséquences des graves intempéries qui ont touché le canton du Valais – 1987, 1993 et maintenant en 2000 où chaque événement a été classé comme événement centennal – exigeaient une étude approfondie des bases météorologiques. Il est nécessaire de tracer des parallèles entre l'événement de septembre 1993 qui présente bien des similitudes tant du point de vue hydrologique, météorologique que de l'étendue des dégâts avec les intempéries de 2000. Les mesures planifiées dans le cadre de CONSECRU et de la troisième correction du Rhône doivent être réexaminées conformément aux expériences faites suite à cette grave crue, la plus importante du 20^e siècle.

Que s'est-il passé?

Les dégâts

Conformément aux estimations de fin 2000, les intempéries ont occasionné des dégâts directs de l'ordre de 670 millions CHF. Du point de vue financier, l'événement se situe au niveau des crues nord-alpines de mai 1999 (580 millions CHF) ou des événements du septembre 1993 (Valais 650 millions, Tessin 200 millions CHF.) et est ainsi du point de vue national classé comme événement rare, mais pas comme événement extraordinaire.

Par contre, le nombre élevé de victimes occasionné par cet événement est exceptionnel. En Valais, 16 personnes ont perdu la vie lors de l'événement. On doit

remonter jusqu'en 1927 pour rencontrer une crue qui a fait autant de victimes. Cette année-là 12 personnes avaient péri lors d'une crue dans le canton des Grisons. Environ 1/4 de la somme totale des dégâts, soient 170 millions CHF touche le canton du Tessin. Le niveau du lac Majeur est monté de près de 4 mètres en 5 jours. Pour ce lac, c'est très rapide, mais une durée bien plus courte prévaut pour les laves torrentielles se déclanchant spontanément (p. ex. Neubrück), respectivement pour les glissements suivis de coulées de boues de versant survenus à Gondo qui ont détruit des maisons en l'espace de quelques minutes. Au lac Majeur, il n'y a pas eu de mise en danger des personnes. Les dégâts matériels se sont limités aux régions inondées le long des rives du lac et dans la plaine de Magadino. Les dégâts étant clairement dus au processus d'inondation par le lac Majeur, on a renoncé à l'analyse détaillée des processus.

En Valais, le montant des dégâts s'élèvent à 470 millions CHF, soient 70% des dégâts totaux. Les 30 millions CHF restants sont répartis entre les cantons de Vaud et de Berne. Pratiquement tout le territoire cantonal a été touché, avec deux centres de dégâts situés dans la région Brigue – Viège – Simplon et le secteur de Martigny. Concernant l'événement de loin le plus important, survenu à Gondo, une masse en mouvement s'est détachée en dessus de la localité et s'est accumulée derrière un mur de protection contre les chutes de pierres. Ce dernier ne résista pas à la grande pression et se rompit. Le mélange composé d'eau, de terre, d'éboulis et de parties du mur de protection qui dévala alors sur Gondo détruisit 10 bâtiments, soit un tiers du village. Ici 13 victimes étaient à déplorer, outre des dégâts matériels de l'ordre de 60 millions CHF. La lave torrentielle de Neubrück/Stalden causa la mort de deux autres personnes et détruisit 4 maisons. Le Baltschiederbach recouvrit la localité du même nom de dépôts de matériaux de charriage de plusieurs mètres de haut. La destruction des infrastructures (approvisionnement en électricité, en eau, canalisations) eut pour conséquence l'évacuation des habitants pendant une durée bien plus grande que celle de l'événement. Concernant la commune de Chamossion, dans le Bas-Valais, la digue en rive droite du Rhône se rompit sur une longueur de 100 mètres. A brève échéance, il existait un danger d'explosion en raison de la conduite de gaz posée dans la digue qui avait subitement été mise à nu. Les eaux jaillissant de la brèche ont inondé de large étendues de la plaine du Rhône. Dans le secteur de Martigny, les dégâts ont été occasionnés par des laves torrentielles et l'importante quantité de matériaux charriés de la Drance. Une lave torrentielle a recouvert une voiture, tuant la conductrice. En ville de Martigny et dans d'autres

communes situées le long du Rhône, des milliers de personnes ont dû être évacuées et grâce à des mesures immédiates, les dégâts ont pu être évités dans une large mesure. Cependant, en divers secteurs, on déplorait des inondations (Evionnaz, St. Maurice). La différence fondamentale entre les types de crues survenues lors de l'événement d'octobre 2000 en Valais et au Tessin est aussi clairement reflétée par les dégâts aux infrastructures publiques. Au Tessin, le niveau du lac Majeur s'est relativement élevé lentement et n'a détruit aucune infrastructure. Avec 10 millions CHF ou environ 7% de la somme totale des dégâts, la part est faible. Il n'y a eu que des quantités négligeables d'huile qui se sont écoulées dans le lac, contrairement à 1993 où le bilan des dégâts avait été alourdi par les huiles. En Valais, les processus dynamiques – principalement les matériaux charriés et les laves torrentielles – ont entraîné la destruction de routes, de conduites d'eau, de canalisations ainsi que de protections contre les crues. Les dégâts aux infrastructures publiques sont avec 290 millions CHF ou 62% du total nettement plus élevés que ceux dus aux inondations du lac Majeur.

Les dégâts qui ont été évités

Dans ce contexte, il faut aussi énumérer quelques dégâts qui ont pu être évités grâce aux mesures urgentes mises en place suite aux intempéries de 1993. Tout d'abord, on doit citer Brigue, qui a subi en 1993 des dégâts s'élevant à près de 500 millions CHF, suite au débordement de la Saltina. Le réhaussement du pont de la Saltina et les mesures visant à retenir les matériaux charriés ont été si efficaces en octobre 2000, que malgré les deux grosses pointes de crue aucun débordement n'eut lieu. Les dégâts restants dus à l'érosion des ouvrages de protection des berges sont comparativement faibles avec 10 millions CHF, et confirment que des événements extrêmes peuvent se dérouler non sans dégâts, mais sans catastrophes. Le Kelchbach à Naters n'a pu être contenu dans son lit que grâce à des mesures mobiles, permettant de prévenir des dégâts de l'ordre de 200 millions CHF. Des mesures analogues ont empêché le débordement de la Lonza dans la zone d'habitation Gampel – Steg. Le réhaussement provisoire des digues du Rhône près de Viège s'est montré absolument nécessaire, le niveau de l'eau atteignant le couronnement de la digue, et le débordement n'ayant été contenu que par des mesures d'urgences aux points critiques. Dans ce secteur, les dégâts potentiels sont encore bien plus élevés qu'à Brigue, en raison des installations industrielles de la Lonza. Les dégâts ainsi épargnés auraient certainement largement dépassé le milliard de Francs.

Les causes météorologiques

Lorsque les 23/24 septembre 1993, il tomba en 2 jours 290 mm de pluies dans le village de Simplon, et respectivement 330 mm de pluies à Camedo, cela représentait une valeur extrême avec des conséquences graves pour le Haut-Valais et le Tessin. Les 13/14 octobre 2000 cette valeur a pourtant été largement dépassée avec près de 500 mm de précipitations.

La crue a été déclenchée, comme cela arrive généralement en Valais, par une situation sud, régulièrement rencontrée en automne, mais aussi au printemps. La situation rencontrée en octobre 2000 est caractérisée par le fait que pendant 7 jours (du 10 au 16 octobre), de l'air humide et chaud, en provenance du sud, est continuellement dirigé sur les Alpes. Ces masses d'air, obligées de gravir les Alpes, ont entraîné d'intenses précipitations à une grande échelle; elles ont atteint leur maximum au sud des Alpes les 13 et 14 octobre lors de pluies intensives locales. Pendant ces deux jours, le centre des précipitations était situé entre Domodossola et le village de Simplon. En Suisse, les précipitations extrêmes ont particulièrement touché le versant sud du col du Simplon et le Val de Binn. Dans la nuit du 14 au 15 octobre, une nouvelle vague de précipitations atteignait avant tout le Bas-Valais et le Valais central, où le versant gauche du Rhône essuya le 15 octobre des pluies également considérables de près de 90 mm. Toutefois, les conditions orageuses y étaient nettement moins importantes. Le front froid se retirant au cours de la journée vers l'est, a permis un arrêt presque total des précipitations au 16 octobre. Cet événement se distingue de l'événement de septembre 1993 avant tout par sa plus longue durée (7 jours au lieu de 3 jours) et par la quantité de précipitations fondamentalement plus élevée. Ceci, non seulement dans le secteur Simplon-Binn, mais dans tout le reste du Valais. Ainsi a-t-on pu observer, dans les vallées latérales au sud du Rhône, des précipitations de 2 jours avec une période de retour de 100 ans et plus. Ces valeurs de 100 à 150 mm étaient pourtant nettement moins élevées qu'au centre des précipitations, mais pour ces territoires plutôt secs, elles doivent être classées comme événement exceptionnel.

La probabilité d'événements aussi rares ne peut être estimée que de façon peu fiable. Suivant la station, des calculs ont donné, pour les précipitations de plusieurs jours, des périodes de retour de 5 ans dans les régions périphériques et jusqu'à plus de 1000 ans pour les centres comme le Simplon et le Grand-St-Bernard. La multiplication des fortes précipitations de ces dernières décennies – particulièrement les événements

de 1987, 1993 et maintenant de 2000 – laisse supposer que la période de retour réelle est considérablement plus petite que celle estimée par les calculs.

Crues

Tessin

Dans le canton du Tessin le niveau des eaux du lac Majeur grimpa à son deuxième plus haut niveau depuis le début des mesures en 1867. Avec 197,57 m (au-dessus du niveau de la mer), il dépassait de 34 cm le niveau atteint en septembre 1993. Ce niveau élevé du lac est attribué d'abord aux précipitations intenses qui ont eu lieu dans le bassin versant du Toce, qui présenta avec 4200 m³/s ou 2,7 m³/s*km² un débit de pointe extrêmement élevé. Le débit de pointe de la Maggia (1140 m³/s) et du Ticino (800 m³/s) se situaient nettement en dessous de leur valeur maximale, ce qui, en comparaison avec 1993, correspond aussi à des précipitations plus faibles dans leurs bassins versants. Le volume des crues entraînées dans le lac Majeur provient, pratiquement au 2/3, des bassins versants italiens du lac. Si les précipitations avaient été légèrement centrées plus vers l'est – comme ce fut le cas en 1993 – le niveau du lac aurait atteint de hauteurs encore plus extrêmes.

Valais

L'événement du canton du Valais était caractérisé du point de vue hydrologique par le fait que pratiquement tout le bassin versant du Rhône à l'amont du lac Léman, et spécialement les bassins versants de la rive gauche, ont été touchés par des précipitations intenses et de longue durée. On doit remonter jusqu'en 1948 voire même en 1920 pour rencontrer des situations similaires, car ni en 1993, ni en 1987 on a pu mesurer de si grands débits dans le Bas-Valais ou le Valais central. Du point de vue hydrologique, ce fut la plus grande crue subie par le canton du Valais au cours du 20^e siècle. Celle-ci apporta 7 nouvelles valeurs extrêmes sur 13 aux stations de mesures aux observations de longue durée.

Rhône

Le Rhône près de Brigue a atteint un débit de 560 m³/s, près de Sion 910 m³/s et à la Porte du Scex 1370 m³/s. A Brigue, le débit dépassa de 13% la valeur mesurée la plus haute de 1987 (495 m³/s). Les débits du Rhône près de Branson et de Sion n'étaient supérieurs à ceux de 1993 que de 5 à 10 %, principalement en raison du faible apport de la Viège. Si le débit naturel pour

ces stations est reconstitué, en ajoutant aux valeurs observées les débits retenus dans les réservoirs, on obtient pour Sion trois valeurs se rapprochant de 1050 m³/s, ce qui signifie que ces événements peuvent à peine être classés comme exceptionnels et doivent être considérés comme ayant une probabilité hydrologique identique, sous des conditions non influencées. A la Porte du Scex, le débit observé se situe nettement au-dessus (26%) de celui de 1993, mais aussi au-dessus de celui de 1920 et de 1948. C'est pourquoi, pour ce tronçon, une probabilité d'occurrence nettement plus faible devrait être attribuée, et ce en concordance avec la probabilité relativement faible de précipitations généralisées tant sur le Haut-Valais que sur le Bas-Valais. De Brigue à Sion, la crue du Rhône pourra alors être évaluée comme un événement centennal, en aval de Sion elle correspond à une période de retour de 200–300 ans.

Une analyse détaillée de l'hydrogramme du Rhône montre que, tant à Brigue qu'à Sion, la pointe était nettement plus large que par exemple en septembre 1993. Ceci est dû au fait que les débits de pointe des affluents ont à chaque fois gagné le lit principal du Rhône avant que ce dernier n'atteigne son débit maximum; les précipitations étant survenues partout pratiquement en même temps. Si les débits de pointe du Rhône, de la Saltina, de la Massa et de la Viège avaient coïncidé, les crues auraient été amplifiées de 100–150 m³/s.

Affluents latéraux et versant sud du Simplon

Le débit de pointe de la Saltina dépassa par deux fois celui de 1993 (90–100 m³/s), le 14 octobre avec 105 m³/s et le 15 octobre avec 125 m³/s. Les conséquences auraient été catastrophiques sans les mesures de protection prises. Considérant les très grands débits spécifiques (1–2 m³/s*km²), on trouve aussi les cours d'eau voisins tels que la Gamsa, le Baltschiederbach et le Kelchbach, ainsi que les cours d'eau du versant sud du Simplon, où la Grosse Wasser présente une valeur de pointe hors du commun de 7.5 à 9.6 m³/s*km². Sur la Drance au niveau de Martigny on a mesuré un débit de pointe de 180 m³/s – en comparaison, celui de 1993 était de 85 m³/s. Les deux mesures sont pourtant fortement influencées par l'exploitation des centrales hydroélectriques. Concernant l'évaluation hydrologique, on devrait tenir compte des débits naturels reconstitués de 275 et de 165 m³/s. En général, les débits spécifiques peuvent être classés dans les débits très élevés, mais toujours dans la fourchette des valeurs maximales observées régionales. Ceci peut étonner quelque peu, car sur la base des précipitations record, on s'attend à des valeurs encore plus élevées. Ce qui frappe particulièrement, c'est le débit de poin-

te de la Viège (200 m³/s) qui n'a atteint que 61% de la valeur de 1993. Concernant le volume sur 5 jours, il n'a atteint que 75 % de celui de 1993, et ce malgré des précipitations de durée sensiblement plus longue et localement plus élevées (165 mm en 1993 und 265 mm en octobre 2000). Comme exposé plus loin, l'explication réside probablement dans le niveau de la limite des chutes de neige.

Limite des chutes de neige

L'évolution de la limite des chutes de neige, donnée importante du point de vue hydrologique, était très hétérogène pendant l'événement. Dans la vallée de Conches et au nord du Rhône valaisan, cette limite se situait, jusqu'au 15 octobre à midi à une hauteur d'environ 3000 m, puis elle s'est nettement abaissée. Dans les vallées latérales sud du Valais, les températures ont commencé à chuter de quelques degrés déjà en début de matinée du 15 octobre, en raison du centre dépressionnaire froid qui traversait cette région. Ce refroidissement coïncidant avec la période où les précipitations étaient les plus intenses, une grande partie de ces précipitations s'est transformée en une couverture neigeuse. Ces précipitations n'ont donc pas contribué à la crue, surtout celles qui se sont abattues sur les bassins versants élevés de la Viège et de la Drance. Ceci a eu pour conséquence que le débit dans les cours d'eau correspondants se situait nettement au dessous des valeurs attendues sur la base du déroulement des précipitations. Et pour les bassins versants situés en altitude, elles n'atteignaient pas les valeurs de 1993, pour une limite des chutes de neige située de 3300 à 3500 m. Concernant le débit de pointe du Rhône, cet abaissement régional de la limite des chutes de neige a pu contribuer à une diminution de quelques centaines de m³/s.

Centrales d'accumulation

En automne 2000 également, tout comme lors des événements de 1993 et de 1987, les lacs d'accumulation ont fourni une contribution d'environ 100 m³/s pour atténuer les débits de pointe. Toutefois, la réduction a été moins marquante qu'en 1993 (160 m³/s) ou qu'en 1987 (210 m³/s), en raison du décalage chronologique de l'arrivée des pointes de crues. On remarque l'influence du refroidissement également sur les cours d'eau affluants vers les lacs d'accumulation, car pour presque tous les bassins versants les précipitations étaient nettement plus élevées qu'en 1993, mais le volume des eaux écoulées vers les ouvrages restait plus petit. Grâce à une gestion coordonnée, un déversement des grands ouvrages d'accumulation a pu être

évitée, et ce malgré un degré de remplissage élevé au début de l'événement.

Les processus à l'origine des dégâts

Inondations

En Valais, 1027 ha ont été inondés dans la Plaine du Rhône, dont environ la moitié se situait dans le Haut-Valais. Le reste est partagé à parts égales entre le Valais central et la Bas. Le cas le plus spectaculaire a été la rupture de la digue du Rhône près de Chamoson inondant d'abord 242 ha, puis encore 144 ha près de Saillon. Contre toute attente, la rupture, laissant échapper 3,5 millions m³, ne s'est faite qu'après le passage de la pointe de crue. La cause d'inondation la plus importante après la rupture de digue est la capacité hydraulique insuffisante (478 ha). Ceci concernait avant tout les cours d'eau latéraux, mais pas le Rhône. De plus, 190 ha ont été inondés, en raison de la courbe de remous dans les affluents et dans les canaux de la plaine du Rhône, ceux-ci ne pouvant s'écouler dans le fleuve en raison du niveau trop élevé de ses eaux. Il est intéressant de constater qu'on ne connaît que 4 cas d'inondations (30 ha) qui sont dus à des atterrissements ou à des obstacles. L'état critique en divers secteurs des digues du Rhône est confirmé par le phénomène d'inondation par infiltration de 7 ha de terres situées juste au dessus de Viège et par les mesures d'urgence prises à Port-Valais en vue de stabiliser les digues.

Laves torrentielles

De fréquentes laves torrentielles généralement de petite dimension ont été constatées avant tout dans le secteur Stalden – Eisten – St. Niklaus. L'érosion des flancs de la vallée et la formation de barrages qui s'en est suivie, ont conduit à la formation d'une lave torrentielle au Beiterbach d'environ 40 000 m³, qui a barré la Viège. Sur la base des enseignements tirés des événements passés, on aurait dû s'attendre à plus grande activité de lave torrentielles: des zones d'arrachement connues, par exemple dans les vallées latérales de la Viège, n'ont pas été activées. La baisse de la limite des chutes de neige pendant les précipitations les plus intenses, le 15 octobre, a eu pour effet de réduire considérablement le déclenchement de laves torrentielles dans les secteurs d'arrachements situés plus haut que cette limite. La coulée de lave torrentielle de Fully doit être citée comme cas particulier (350 000 m³), son déclenchement étant à mettre en relation avec des incidents liés à l'installation hydro-électrique.

Instabilité des terrains

Dans les zones centrales des précipitations, soit particulièrement dans le secteur Simplon et Binn, de nombreux glissements de terrain, souvent de petite taille, eurent lieu. Les intensités des précipitations exceptionnellement élevées ont conduit, à une remontée de la nappe phréatique, dans des secteurs où normalement le drainage est suffisant, avec pour conséquence des coulées de boue de versants et des glissements de terrain. Un mécanisme de ce type entre en jeu dans le déclenchement de la coulée de boue de versant fatale de Gondo. Au Beiterbach et dans le bassin versant du Baltschiederbach, il existe aussi un lien étroit entre l'instabilité des terrains et les événements ayant entraîné des dégâts. Il était à prévoir que dans différents territoires instables connus (zones de glissements de terrains et d'éboulement), les fortes précipitations allaient déclencher de nouvelles activités. Compte tenu de la quantité des précipitations et de leur singularité, il est presque plus étonnant que le nombre et l'ampleur des dégâts soient restés limités.

Matériaux charriés

Les grands débits observés dans les cours d'eau latéraux, mais aussi dans le Rhône lui-même, ont conduit à d'importants déplacements de matériaux solides. Dans le Rhône, près de Naters, on a constaté des atterrissements de 1 à 1,5 m (150 000 m³) liés aux charriages des matériaux par le Rhône, la Saltina et le Kelchbach. Environ 170 000 m³ d'alluvions ont été retenus au niveau du bois de Finges. La problématique du dépôt des matériaux de charriage des cours d'eau latéraux, au niveau du changement de pente, à l'arrivée dans la plaine du Rhône, a été montrée de façon frappante à Baltschieder, lorsque 160 000 m³ de matériaux charriés et de sable furent déposés dans la localité. Le long de la Gamsa, l'événement de 1993 s'est répété avec un dépôt de 150 000 m³ de matériaux. Dans le Kelchbach à Naters et dans la Lonza à Steg-Gampel, les dépôts n'ont pu être maintenus dans des limites tolérables que grâce à l'action des pelles mécaniques. Au niveau de la Viège l'obstruction par une lave torrentielle provenant du Beiterbach provoqua une retenue et un atterrissement important (350 000 m³) ainsi que des inondations à l'amont. De façon analogue, mais avec une échelle réduite, le torrent St. Jean provoqua une retenue de la Drance au niveau de Martigny Combe. D'importants déplacements de matériaux solides ont eu lieu au Zwischbergental, au centre des précipitations, qui ont rempli les bassins d'accumulation de Fah et de Sera avec des matériaux de charriage. D'importantes érosions ont été obser-

vées dans le cours inférieur de la Saltina, dans la Doveria, dans les torrents de Verbier et, spécialement dans le Bas-Valais, dans le Rhône. A nouveau, on a pu voir que les dépôts et l'érosion étaient plus difficiles à dominer que les problèmes hydrauliques posés par l'augmentation des flots.

Enseignement

En exergue: Les événements ont confirmé la justesse de la planification d'un concept de protection engagée suite aux intempéries de 1993. Les projets existants ne doivent pas subir de modifications, seules quelques adaptations seront nécessaires. La confirmation que la voie choisie s'est révélée correcte, ceci même lors des conditions exceptionnelles de la dernière crue, est aussi un résultat important.

Concernant les événements

La succession de plusieurs événements exceptionnels (1987, 1993 und 2000), qui ont touché aussi bien le Valais que le Tessin, confirme la vérité connue, mais si souvent refoulée consciemment ou inconsciemment, qu'un événement centennal peut survenir dans un laps de temps bien plus court que le terme ne le sous-entend. La question reste pourtant ouverte, de savoir si cette multiplication d'événements est due aux conséquences d'un changement climatique ou si des circonstances favorables nous ont protégé, depuis longtemps (1948), de crues encore plus importantes. Le fait est que, déjà avant l'ère industrielle, une répétition similaire a eu lieu (1834, 1839 et 1868). De plus, il ne faut pas négliger non plus, le fait qu'actuellement nous vivons dans une période où la température est supérieure à la moyenne. En tous cas, il n'y a pas d'argument probant qui permette de supposer que, l'année prochaine ou dans une décennie, aucune crue comparable ne puisse survenir.

Les précipitations sont en tout cas qualifiées d'exceptionnelles et cela tant du point de vue de leur quantité, de leur durée que de leur distribution géographique. Pourtant Grebner (1994) a retenu dans son analyse des précipitations de septembre 1993, qu'il faut moins compter sur une augmentation des intensités à court terme, que sur une extension des pluies dans la durée et dans l'espace. Ce qui frappe, c'est que ces craintes exprimées alors, ont si rapidement et si clairement été démontrées, par le fait que la durée des précipitations et par là-même la quantité de celles-ci ont pratiquement été multipliées par deux. L'accroissement drastique de la quantité des précipitations montre que les événements extrêmes peuvent aussi

entraîner des débits beaucoup plus élevés que toutes les valeurs déduites de l'expérience, comme par exemple les débits de l'Aar à Berne en 1999 le montrent. Des analyses statistiques, basées sur les valeurs historiques, ne peuvent décrire que très insuffisamment le domaine des événements très rares. Ils doivent donc être complétés par des études de modèles mathématiques basés sur la physique. Et dans le cadre d'études sur la sécurité, il faudra mettre en évidence les scénarios qui pourraient survenir dans le futur. Les précipitations constituaient un *potentiel de catastrophe bien plus grand encore que ce qui s'est produit*. Dans la nature, il apparaît que jamais, ou presque jamais, tous les composants négatifs soient strictement maximisés. Le refroidissement régional, observé à l'aube du 15 octobre, qui a occasionné – pour l'heure la plus forte précipitation jamais observée en Valais –, a entraîné des chutes de neige à des altitudes de plus de 2600 m. Ainsi la surface déterminante des bassins versants s'est vue réduite, par exemple pour la Viège de près de 60% et pour le Rhône de 25% à la Porte du Scex. Ce qui a également nettement contribué à une atténuation des crues, c'est le décalage de l'arrivée des débits de pointe des cours d'eau latéraux isolés, et l'emmagasiner des eaux dans les retenues des centrales hydroélectriques. L'événement rend aussi attentif aux *limites de la prévision*. Au cœur des précipitations, pour des surfaces de l'ordre de 100 km² (Doveria, Grosses Wasser), la quantité de pluies en 48 heures a atteint 75 à 80% de la PMP (probable maximum precipitation), et pour le grand bassin versant du Rhône (5200 km²), à la Porte du Scex, elle représentait encore 67 % de la PMP. La comparaison avec la PMP, soit la valeur maximale probable des précipitations possibles, est faite, car des événements aussi exceptionnels ne peuvent plus être décrit correctement par des données statistiques quantitatives vraisemblables. Ils font partie du domaine du très très rare. Les débits étaient, grâce aux facteurs modérants, encore du domaine du possible et non de l'improbable comme les précipitations. L'événement de Gondo était imprévisible, car un enchaînement de circonstances défavorables ont conduit à la catastrophe. Compte tenu de l'énorme quantité de précipitations et de l'extrême escarpement du terrain, on peut plutôt se demander pourquoi il n'y a pas eu plus de glissements de terrain. Le Beiterbach et le Baltschiederbach représentent, comme tous les torrents, un potentiel de danger difficilement estimable, mais l'ampleur de l'événement a probablement dépassé ce que l'on aurait considéré auparavant comme déterminant. Ainsi le cône de déjection du Baltschiederbach est très plat, ce qui annonce plutôt de fréquents petits charriages avec une grande concentration d'éléments

fins, et non pas un grand événement avec largement plus de 100 000 m³ de matériaux. Grâce à l'étude détaillée faite dans le cadre de la troisième correction du Rhône, les points faibles du Rhône ont pu être répertoriés. La rupture de la digue près de Chamoson a eu lieu dans un secteur qui était qualifié de fortement dangereux. En d'autres points faibles, comme par exemple Viège, Monthey ou Martigny, les digues ont pu être consolidées par des mesures d'urgence.

Concernant les mesures

Les leçons et les conclusions que l'on a pu tirer des analyses des intempéries de 1993 ont pu être vérifiées. Les *mesures et les planifications mises en place se sont révélées efficaces*. Les débits définissant la base du projet d'aménagement du Rhône ont été atteints, mais pas dépassés et aucune modification n'est nécessaire. Les secteurs dangereux ont été confirmés. De plus, les mesures urgentes, entreprises alors, ont permis de prévenir des dégâts bien plus importants. L'organisation en cas d'urgence a fonctionné également là où aucune protection permanente n'était réalisée, empêchant de plus gros dommages. Ceci souligne *l'importance de l'évaluation des dangers et de la carte des dangers*, car les principaux dégâts ont été occasionnés là où on ne les attendait pas et où aucun dispositif de mesures n'existait. Concernant la gestion et la communication, d'importants progrès ont été réalisés depuis 1993.

La rapide succession d'événements extrêmes montre aussi, qu'une fois les points critiques reconnus, ils doivent rapidement être supprimés, la nature n'accordant pas toujours de délai. La combinaison de mesures temporaires et définitives s'est avérée efficace (Naters, Steg, Viège), de plus les exploitants des centrales hydroélectriques ont pu utiliser judicieusement le volume des réservoirs disponible pour la protection contre les crues.

Il était clair que la maîtrise des masses de matériaux charriés et des laves torrentielles est bien plus exigeante que l'évacuation des débits, et que d'importants événements ne peuvent être maîtrisés sans l'espace approprié *pour le cours d'eau*. D'autre part, les problèmes de remous observés au niveau des cours d'eau latéraux ont montré que la sécurité contre les crues du Rhône par des aménagements ne doit pas être atteinte par des réhaussements des digues, mais par le maintien d'un niveau d'eau bas, mesure qui n'est possible qu'en élargissant le chenal d'écoulement. L'exemple de Gondo montre clairement qu'il faut toujours *tenir compte de la défaillance d'un ouvrage de protection*. En effet, à Gondo les grands fragments du mur de protection détruit ont augmenté les dégâts.

Le concept choisi en vue de la reconstruction prévoit d'ériger une digue en terre renforcée en lieu et place du mur en béton détruit, en cas de rupture cette nouvelle digue ne va pas développer d'action destructrices supplémentaires. La spécificité du cas de Gondo tient du fait que des mesures contre des dangers naturels précis (ici chute de pierres) ont augmenté la mise en danger par un autre danger naturel (ici coulée de boue de versant). Ainsi lorsqu'on a des mesures à prendre, il faut non seulement considérer le cas de surcharge pour le danger naturel en question, mais aussi tenir compte des interactions possibles avec les autres dangers.

L'événement d'octobre 2000 a rappelé que le Valais n'est pas seulement menacé par le fleuve, mais aussi par les cours d'eau latéraux. Le canton se trouve face à de graves problèmes financiers, d'une part en raison de la troisième correction du Rhône, et d'autre part à cause des concepts de protection complémentaires au niveau des affluents qui doivent être réalisés si possible conjointement.

L'analyse montre qu'il existe un potentiel de danger pour un événement dépassant celui de l'année 2000, et que des situations encore plus graves peuvent survenir. Il est difficile d'évaluer si, lors du prochain événement, les facteurs atténuant mentionnés vont opérer et dans quelle mesure ils vont être efficaces. *Les concepts de protection doivent donc être résistants à une surcharge*: Ils ne doivent pas aggraver la situation lorsqu'un événement naturel dépasse leur dimensionnement. Ils ne pourront pourtant pas empêcher les dégâts, mais ils doivent les limiter. Cela sous-entend une collaboration entre l'aménagement des cours d'eau, l'aménagement du territoire et la planification d'urgence. Le changement climatique, mais aussi le changement d'affectation nécessitent un contrôle constant de la situation de danger, et comme pour toutes les actions humaines, une étude et une réflexion continues sur les mesures nécessaires.

On doit résolument poursuivre le chemin tracé par les directives concernant la protection contre les crues du BWG (2001) et concrétisé pour le Valais dans le cadre de CONSECRU.

Au lac Majeur, concernant les mesures de protection à effectuer par les pouvoirs publics, la situation est plus délicate.

L'abaissement souhaitable du niveau du lac maximum dépend de la collaboration avec l'Italie, qui en raison des répercussions négatives éventuelles sur les rivières situés à l'aval est très prudente en ce qui concerne l'approbation de mesures. En raison de la lente montée du niveau du lac, avec des profondeurs d'inondation généralement inférieures à un mètre, les *possibilités d'auto-protection* sont plus grandes qu'en

Valais. Jusqu'à présent, elles ont peu été mises en œuvre, ce malgré la fréquence des événements qui rendrait cette pratique économiquement acceptable. Des mesures, telles que le déplacement des installations électriques aux étages supérieurs, la sécurisation ou le remplacement des cuves à mazout, l'étanchéification des structures des édifices ou des équipements au niveau des portes et des fenêtres, peuvent minimiser efficacement les dégâts, l'exemple de Cologne l'a montré, lorsque les dégâts entre 1993 et 1995 ont pu être divisés par deux, ceci malgré un niveau des eaux plus élevé.

Qu'est ce que cela signifie pour le futur? Perspectives

De la défense contre les dangers à la culture du risque

La crue d'octobre 2000 ayant eu lieu en Valais et au Tessin a à nouveau montré, qu'on ne peut protéger les agglomérations et les infrastructures contre tous les dangers et ce même à grands frais.

Des mesures préventives, telles que celles qui furent prises en divers secteurs, se sont montrées globalement efficaces. Elles ont pourtant montrés certaines limites: Un débit plus important à Brigue, à Viège ou à Martigny aurait entraîné d'importants dégâts. Etant donné que des mesures réalisées récemment, comme par exemple celles exécutées à Brigue, ne peuvent offrir une protection que jusqu'à un certain degré, nous sommes tenus de réfléchir au moyen de gérer le risque résiduel toujours présent.

La volonté de limiter les dégâts ne doit pourtant pas conduire à des restrictions irréalistes de l'affectation des sols. Ainsi, il est absolument légitime de vouloir habiter dans ce site privilégié qu'est le bord du lac Majeur, à Locarno ou à Ascona ou d'exploiter un hôtel, mais il faudra compter que de temps en temps les eaux envahiront les lieux. Donc si ce site privilégié doit être exploité, on doit concevoir les installations de manière à ce qu'en cas d'événement les dégâts restent supportables. Lors de la reconstruction après un événement, il existe beaucoup de solutions. Concernant le lac Majeur, entre 1993 et 2000, seuls les dégâts aux infrastructures publiques ont pu être diminués, ceux aux privés malheureusement pas. Cela montre que, malgré la connaissance du danger, la volonté d'une prévoyance individuelle n'existe que dans des cas isolés.

Des exemples de mesures constructives couronnés de succès sont, pour le Valais par exemple, le concept de protection contre les crues à Brigue, ainsi que le réhaussement de la digue le long du Rhône à Viège.

Les exemples de Gampel/Steg et Naters ont montré de façon impressionnante, que pour éviter d'importants dégâts, il ne fallait pas toujours utiliser des mesures constructives fixes. La combinaison de relativement petites adaptations en dur avec des mesures temporaires (par exemple réhaussement de berges par des poutres en bois ou des sacs de sable), qui doivent être effectuées par les forces d'intervention, ont fait leurs preuves lors des événements d'octobre 2000.

De même que dans la nature, il n'y a pas qu'un seul facteur qui intervient dans la formation d'une crue, de même lors de la prévention des dégâts, il faut mettre en oeuvre une combinaison de mesures – la restriction dans l'aménagement du territoire, les ouvrages de protection et la protection d'objets, ainsi que les mesures mobiles des forces d'intervention – qui vont se compléter. Pour pouvoir insérer ces diverses mesures dans une combinaison optimale, il faut avant tout une bonne préparation. La condition primordiale requise est la connaissance des dangers potentiels. Pour cela, il existe des cartes de dangers à large échelle comme documents de base. La construction d'ouvrages de protection et l'organisation d'un système d'alarme pour le déclenchement de l'intervention peuvent alors être décidés sur cette base. Pour les systèmes d'alarme, il faut un système à plusieurs niveaux. Au niveau national, on juge de la situation météorologique générale. Les secteurs mis en danger doivent être identifiés régionalement, afin de pouvoir mettre en oeuvre les mesures locales. Les cartes des dangers représentent des bases décisives concernant la prévention individuelle (protection d'objets) et/ou le transfert des risques aux assurances.

L'équivalence de toutes les mesures (aménagement du territoire, construction, organisation, ...) dans le cercle prévention, intervention et réfection forme la base de la gestion intégrale du risque. Celle-ci tient compte de l'évaluation du risque subsistant après la prise des mesures. Afin de prendre les décisions appropriées, par exemple la priorité d'une mesure, diverses instituts de recherche étudient et préparent les instruments et les bases décisionnelles.

Cette gestion du risque intégrale ne peut être instituée que dans un environnement dont la culture prend consciemment en compte les risques de conditions météorologiques exceptionnelles. De plus, il faut que le dialogue sur le risque «de la défense contre les dangers vers une culture du risque» initié entre les spécialistes, les politiciens et les personnes potentiellement touchées soit poursuivi. Cette façon d'appréhender les risques est aussi vieille que l'humanité et se retrouve aussi dans l'œuvre de Schiller lorsque Walter, le fils de Tell, après la description d'une vie en servitude, loin des montagnes, dit:

*Vater, es wird mir eng im weiten Land;
Da wohn ich lieber unter den Lawinen.*

Guillaume Tell, Acte 3, Scène 3

Le risque de catastrophes naturelles est le prix à payer, afin de pouvoir vivre dans la région alpine. On peut en réduire le prix, mais pas l'éviter.

2 Meteorologie

2.1 Situation météorologique

Didier Ulrich

2.1.1 Synoptique

Les abondantes précipitations enregistrées dans les Alpes entre le 10 et le 16 octobre 2000 ont été occasionnées par un apport continu d'air humide et doux en provenance de la Méditerranée et du nord de l'Afrique. La situation météorologique en altitude (niveau 500 hPa) est déterminée dès le 10 octobre par une puissante dépression centrée sur les îles britanniques. Un fort courant du sud-ouest s'installe alors de la Méditerranée occidentale aux Alpes. Le front qui lui est associé atteint les Alpes par le sud-ouest le 11 octobre vers la mi-journée. La limite entre les masses d'air polaire océanique et subtropical humide restera plusieurs jours stationnaire au voisinage des Alpes suisses sur une région limitée. Les jours suivants, le thalweg associé à la dépression s'étend de plus en plus vers le sud pour atteindre dès le 12 octobre le nord de l'Afrique. Un immense couloir dépressionnaire prend ainsi place entre la Manche et le sud de l'Algérie. Le flux s'oriente au sud/sud-est dans la région des Alpes. Le 13 octobre une dépression secondaire se détache du courant principal et commence à tourbillonner sur la Méditerranée occidentale remontant lentement vers le golfe du Lion. Les vents tempétueux tournent alors franchement au sud-est et l'air subtropical très doux en provenance du Sahara envahit la région des Alpes. La conjonction de cet air chaud dans les basses couches et de l'air relativement froid en altitude lié à la dépression occasionne une grande instabilité et conduit, en plus des précipitations de barrage, à d'abondantes précipitations convectives ou orageuses. Ce sont ces précipitations exceptionnellement abon-

dantes sur des terrains gorgés d'eau qui conduisirent à la catastrophe.

Le flux de sud-est se maintiendra encore jusqu'au 16 octobre, date à laquelle la dépression commence à se mouvoir vers l'est tout en se comblant.

Durant sept jours, le fort flux de secteur sud reste stationnaire et vient s'écraser contre les versants sud des Alpes. Un tel courant plus ou moins perpendiculaire à une chaîne montagneuse doit s'élever pour la franchir. Il en résulte une condensation de l'humidité de la masse d'air: ce sont les précipitations de barrage.

A l'inverse, de l'autre côté, l'air s'assèche par subsidence, c'est le föhn qui souffle fréquemment en automne dans les Alpes suisses.

Les trois premiers jours, lorsque les vents étaient orientés au sud-ouest ce furent essentiellement les versants tessinois des Alpes suisses qui reçurent d'abondantes précipitations de barrage. Dès le 13 octobre, avec la rotation des vents au sud-est, le noyau des fortes précipitations s'est lentement décalé vers l'ouest pour arroser de plus en plus les versants sud-est des massifs du Mont-Rose et du Cervin, avec un maximum d'intensité dans la région du Simplon. Ces précipitations étaient localement orageuses avec des intensités horaires exceptionnelles. Des cumuls de l'ordre de 500 à 600 millimètres en 48 heures ont été mesurés dans cette région. Les périodes de retour pour de telles valeurs sont estimées à plus de 1000 ans (voir aussi chapitre 2.2).

2.1.2 Températures

Au début de l'évènement les températures sont normales pour la saison et la limite des chutes de neige se situe entre 1500 et 2000 mètres. Elle remontera vers 2500 mètres le 12 octobre avant d'avoisiner les 3000 mètres du 13 au 15 octobre malgré des précipitations très intenses (voir Fig. 2-1).

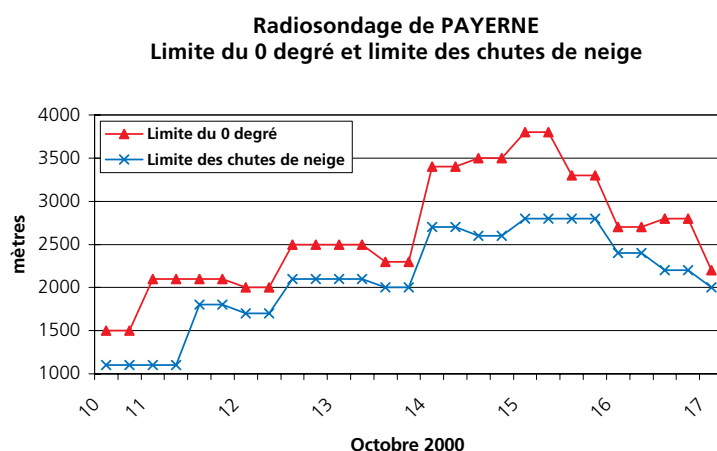
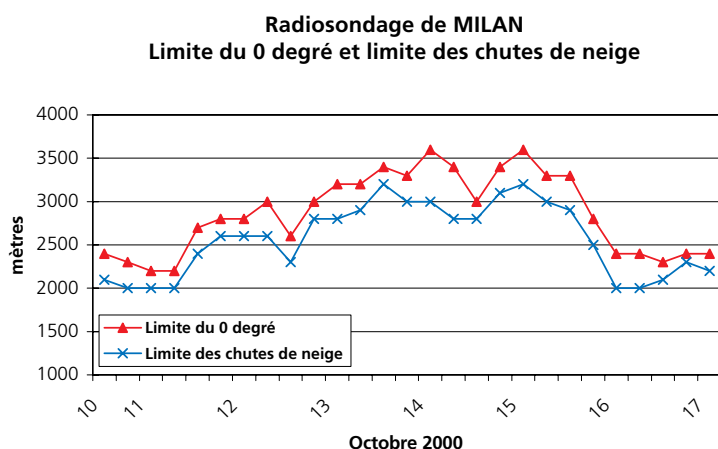


Fig. 2-1: Limite du 0 degré observé et limite des chutes de neige estimée à partir du radiosondage de Milan et de Payerne.

A la station tessinoise de Robiei située à 1898 m s. m., MétéoSuisse a mesuré des températures comprises entre +6 et +8°C durant plus de trois jours consécutifs conjointement avec des précipitations continues de l'ordre de 10 à 40 millimètres par six heures (Fig. 2-2). Les autres images démontrent des autres exemples pour le déroulement de l'événement dans les régions touchées.

pour la saison ont provoqué, en plus des précipitations déjà exceptionnelles, la fonte prématurée de la couche de neige déjà présente en cette période de l'année.

2.1.3 Conclusion

Les situations de sud sont fréquentes au printemps et en automne dans les Alpes. Cependant la conjonction

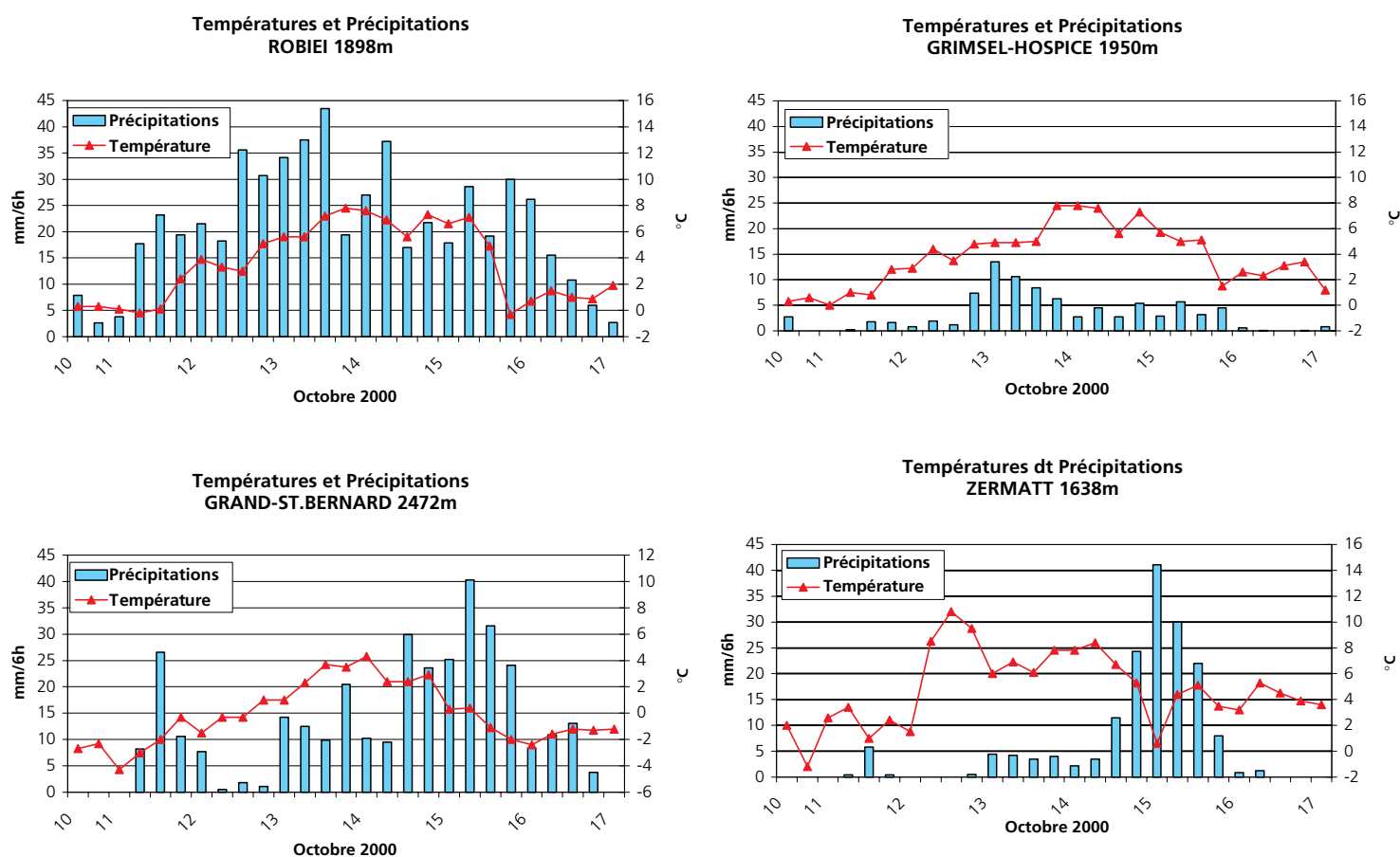


Fig. 2-2: Températures et précipitations à différentes stations météorologiques en Suisse.

Non seulement en Suisse, mais aussi sur toute l'Italie, les radiosondages montrent dans les basses couches de l'atmosphère des températures exceptionnellement élevées pour la saison. Le 14 octobre 2000 à 00UTC dans la zone d'advection de l'air subtropical, on mesure une température de +21°C au niveau 850 hPa (environ 1500 m s. m.) au-dessus de Trapani en Sicile et de +19°C à ce même niveau au-dessus de Rome. Ce même jour à Locarno au Tessin, on mesure dans les précipitations jusqu'à quatre grammes de sable du Sahara par mètre carré. Ces températures très élevées

de divers éléments amène occasionnellement à une situation exceptionnelle. Au niveau synoptique, la situation météorologique des 13 et 14 octobre 2000 comporte une très grande similitude avec la situation du 24 septembre 1993 (événement de Brigue et Saas Almagell) (voir aussi chapitre 2.4 et Grebner et al., 2000).

En guise de conclusion les facteurs météorologiques suivants ont contribué à la mise en place de la catastrophe du mois d'octobre 2000 dans les Alpes suisses:

- A l'échelle continentale: la situation météorologique reste bloquée durant sept jours provoquant des vents de secteur sud du Maghreb en direction de l'Europe centrale. La masse d'air origine subtropicale était très chaude pour la saison et, de part son long chemin au dessus de la Méditerranée, fortement chargée en humidité.
- Au niveau régional: des pluies de barrage se déroulent de manière quasiment continue sur tous les versants sud des Alpes suisses.
- A l'échelle locale: les précipitations prennent un caractère fortement convectif (orages) durant les 13 et 14 octobre 2000, résultat d'une très forte instabilité atmosphérique.

Les prévisions météorologiques lors de l'événement

MétéoSuisse a envoyé les premiers préavis de fortes précipitations durant la journée du mardi 10 octobre 2000. Le centre MeteoSvizzera de Locarno-Monti fait parvenir le 10 octobre à 9h45 une alerte pour un événement potentiellement dangereux aux autorités du canton du Tessin. Il indique un danger de fortes précipitations pour les prochains jours pouvant entraîner une hausse significative du niveau du lac Majeur. Il mentionne aussi la probabilité que ces précipitations soient localement orageuses et accompagnées de fortes rafales de vent. Le même jour, le centre MétéoSuisse de Genève lui emboîte le pas à 18h55 avec un préavis à l'attention de la Commission Cantonale des Dangers Naturels du canton du Valais, annonçant de fortes pluies, ainsi que des vents tempétueux du sud-ouest à haute altitude. Les régions mentionnées sont la crête sud des Alpes valaisannes avec de possibles débordements plus au nord. Les deux avis annoncent ces événements météorologiques extrêmes pour les prochaines 48 à 72 heures sans cependant évoquer la fin probable du phénomène.

Tant à Genève qu'à Locarno, ces avertissements ont ensuite été réactualisés quotidiennement jusqu'au lundi 16 octobre pour le canton du Valais (dernier avis à 11h12) et jusqu'au mercredi 18 octobre pour le canton du Tessin (avis de fin d'alerte à 9h43).

D'une manière générale, la situation météorologique a été correctement prévue et les événements au niveau des Alpes suisses bien anticipés. Qualitativement ces avertissements étaient bons pour le canton du Tessin, mais un peu moins pour le canton du Valais. Ils ont cependant été très utiles pour les autorités. Pour le canton du Valais, les valeurs prévues par le centre MétéoSuisse de Genève pour la région du Simplon, soit les quantités de précipitations et la limite des chutes de neige, ont été assez largement sous-estimées. Une approche plus méthodique de la situation

ainsi qu'une meilleure coordination entre les différents centres de MétéoSuisse auraient probablement amélioré sensiblement la qualité de ces avertissements.

En bref

Les très fortes pluies tombées entre le 10 et 16 octobre 2000 dans les cantons du Valais et du Tessin ainsi que sur les régions voisines de l'Italie ont été la conséquence directe d'un front atmosphérique doux et humide en provenance du Sud de l'Europe. Une telle situation se présente assez souvent en automne et également au printemps. Ce qui a caractérisé l'événement d'octobre 2000, c'est cet apport continu d'air chaud et humide vers les Alpes durant 7 jours consécutifs. Les masses d'air, contraintes de s'élever dans le voisinage des Alpes, ont provoqué des précipitations étendues et intenses qui, les 13 et 14 octobre, sont tombées sous forme de fortes pluies locales à caractère orageux.

2.2 Niederschlagsleistung und Ereignisvergleich

Dietmar Grebner, Daniela Lorenzi, Christian Noetzli, Mario B. Rohrer, Urs Steinegger, Christoph Hegg

Bei den allermeisten Hochwasserereignissen spielt der Niederschlag eine entscheidende Rolle. Deshalb wird hier zuerst die Niederschlagsleistung während des Hochwassers vom 13.–15. Oktober 2000 erläutert. Ähnlichkeiten mit dem Ereignis vom 22.–25. September 1993 bezüglich Ausmass, Verlauf und meteorologischer Entwicklung drängen anschliessend einen Vergleich auf. Zur Einordnung der Niederschläge vom Oktober 2000 werden für Punktniederschläge die Wahrscheinlichkeiten analysiert. Weiter werden in Kap. 2.2.6 die Gebietsniederschläge verschiedener Einzugsgebiete mit den wahrscheinlichen maximalen Niederschlagsmengen (PMP) verglichen.

2.2.1 Datengrundlage

Auswahl der Stationen

Für die Niederschlagsinterpolation und Niederschlagsanalyse wurden die Daten sämtlicher Stationen der MeteoSchweiz im Wallis und Tessin sowie deren näheren Umgebung berücksichtigt. Zusätzlich wurden Daten von jenen italienischen Stationen der Regione Piemonte verwendet, welche nicht weiter als maximal 10 km von der Schweizer Grenze entfernt liegen. Da einerseits der Niederschlagsprozess am Südhang der

Alpen lokalisiert war und von dort auf Einzugsgebiete im Wallis übergreif, und andererseits auf Schweizer Seite das Messnetz in diesen Lagen am Alpenkamm ungenügend ist, liefern die italienischen Stationen entscheidende Informationen.

Für den Vergleich der beiden Starkniederschlagsereignisse vom Oktober 2000 und vom September 1993 (Kap. 2.2.4) wurden nur diejenigen Stationen berücksichtigt, die in beiden Fällen in Betrieb waren. In die Analyse des Niederschlagsereignisses vom Oktober 2000 gingen hingegen alle verfügbaren Informationen ein.

Zeitliche Auflösung der Daten

Das meteorologische Messnetz der MeteoSchweiz setzt sich aus automatischen Klimastationen (ANETZ-Stationen), konventionellen Klimastationen sowie reinen Regenmessstationen zusammen. Die zeitliche Auflösung der ANETZ-Daten beträgt 10 Minuten. Die auf der Niederschlagsdatenbank der MeteoSchweiz verfügbaren Daten von Klima- und Regenmessstationen sind Tageswerte. Die italienischen Stationen messen in Stundenschritten. In den Annalen der Regione Piemonte sind allerdings nur Tageswerte publiziert. Um den Vergleich der beiden Ereignisse, Oktober 2000 und September 1993, auf möglichst viele gemeinsame Stationen abstützen zu können, war dafür der Zeitschritt auf Tageswerte begrenzt. Für die Analysen, die sich im Wesentlichen auf das Ereignis vom Oktober 2000 bezogen, wurden auch die Stundenwerte berücksichtigt. Dazu wurden die Tageswerte der Klima- und Regenmessstationen anhand der umliegenden Stationen mit zeitlich hochaufgelösten Messungen in Stundenwerte aufgelöst.

Messtermine

Die Niederschlagsmengen der konventionellen Klimastationen sowie der Regenmessstationen werden jeweils um 7 Uhr Winterzeit abgelesen. Beim Tagesniederschlag handelt es sich somit um die Niederschlagssumme im kalendarisch fixierten Intervall von 7 Uhr eines Tages bis 7 Uhr des Folgetages. Die für die hochauflösenden ANETZ-Stationen berechneten Tageswerte wurden auf das gleiche Intervall bezogen. Analoges gilt für die Stationen der Regione Piemonte. Im allgemeinen ist der maximale nicht kalendarische Niederschlag während eines Ereignisses grösser als der kalendarische. Laut Geiger et. al. (1991) erweist sich ein mittlerer Korrekturfaktor der Niederschlagssummen von 1.143 als geeignet, um von kalendarischen zu nichtkalendarischen Werten zu kommen.

2.2.2 Die Starkniederschläge vom Oktober 2000

Vorgeschichte

Die Monate vor dem 20. September 2000 waren nur wenig durch Niederschlag belastet. Der August wies in den relevanten Gebieten um den Simplon und im Wallis mit 60–90% der normalen Werte sogar ein Niederschlagsdefizit auf. Im September sind die Monatsmittel mit 100 bis 150% übernormal, in Simplon mit 237% stark übernormal. Allerdings entstand dieser Niederschlagsüberschuss überall an nur zwei, zeitlich getrennten Terminen am 20. und besonders am 30. September. Letzterer brachte zum Beispiel in Simplon rund 150% des normalen Monatsmittels. In den nachfolgenden Tagen bis zum diskutierten Ereignis im Oktober war es zwar über dem Simplon und dem Wallis nicht direkt aber in weiten Teilen der Schweiz leicht regnerisch, mit entsprechend geringer Verdunstung. Als Anfangszustand lagen demzufolge nicht ausgetrocknete Böden und mittlere Fluss- und Seestände vor.

An den speziell zur Schneemessung eingerichteten Messstationen (IMIS-Stationen, Fig. 2-24, Kap. 2.3) im Wallis wurde bis zum 10. Oktober bis in Höhen von 3000 m ü. M. nur eine geringmächtige Schneedecke registriert.

Räumliche Verteilung und zeitlicher Verlauf der Niederschläge

Schwerpunkte der Niederschläge:

Bedingt durch die lang anhaltende Anströmung der Atmosphäre gegen den Alpensüdhang von Tessin und Wallis (Kap. 2.1.1 und Kap. 2.4) erreichte das Ereignis insbesondere in der Zone zwischen Lago Maggiore und Simplon Niederschlagsdauern bis über 7 Tage (10. bis 16. Oktober 2000). Aussergewöhnlich war in diesem Verlauf eine gut zweitägige Phase mit extremen Niederschlagsmengen (Tab. 2-1). Allerdings verlagerte sich das Niederschlagszentrum durch eine Drehung der Strömung vom nordwestlichen Tessin (Robiei, Bosco/Gurin), im Laufe des 13.10.2000 in den Raum von Simplon (Fig. 2-27). Diese Verlagerung verteilte dort die Niederschlagsmengen des Gesamt ereignisses auf die beiden Positionen. Dabei war das Simplongebiet einschliesslich der kammnahen Zone im Wallis sowohl absolut als besonders auch relativ – bezogen auf das dortige Niederschlagsklima im Vergleich zum östlichen Tessin – erheblich stärker betroffen. Es lag in den ersten drei Tagen zwar am Rande der Kernzone des Niederschlagsfeldes, wurde aber bereits mit 100 bis 200 mm überregnet (Grebner et al., 2000).

Diese erste Phase stellte im erwähnten Raum Simplon–Wallis für die weitere Entwicklung eine entschei-

dende Vorperiode dar. Wegen der anfänglich tiefen Lage der Nullgradgrenze (Fig. 2-1) nahm auf Höhen über etwa 2400 m ü. M. die Schneedecke zu, unterhalb sorgte der Regen für eine Zunahme der Bodenfeuchte. In diesen Zustand verschob sich im Laufe des 13.10.2000 das Niederschlagszentrum bei gleichzeitig steigender Temperatur (Fig. 2-1) und blieb dort als zweite Phase bis zum Ereignisende, etwa am 16.10.2000 (z.B. Tab. 2-1). Durch die dynamische Entwicklung in der Atmosphäre während der Strömungsdrehung verschärfte sich ausserdem die Niederschlagsintensität ab 13.10.2000 massiv.

Die nicht ausschliessbare Annahme des Niederschlagszentrums vom Ereignisbeginn an und nicht erst ab 13.10.2000 im Raum Simplon–Wallis würde dort die Gesamtniederschlagsmenge bis über 900 mm akkumulieren. Die reale Abfolge der beiden Phasen mit insgesamt gut 700 mm (Grebner et al., 2000) sowie die noch zu diskutierenden Eigenschaften der Intensitäten kurzer Zeitschritte ergaben dennoch ein hochgradiges Potential für hydrologische Reaktionen (Kap. 3 und Kap. 5) in den davon betroffenen Einzugsgebieten. Im nordwestlichen Tessin, der Kernzone der ersten Phase, erreichte die Niederschlagssumme über das gesamte Ereignis gut 500 mm (Grebner et al., 2000). Sie ist deshalb in dieser niederschlagsreichen Region zwar hoch, aber nicht alarmierend.

Maximale Tagesniederschläge: Flächenbezogen trat der maximale eintägige Niederschlag des Ereignisses am 13. Oktober im Raum Simplon auf. Der höchste durch Messung belegte Tageswert wurde westlich von Domodossola an der italienischen Station Bognanco-Pizzanco mit 396 mm beobachtet (Fig. 2-3). Rund 14 km nördlich davon, in Varzo-San Domenico, waren es noch 346 mm.

Etwa 10 km nordwestlich von Bognanco-Pizzano, in Simplon-Dorf, wurden 247 mm erreicht. Dies war der

in diesem Ereignis höchste Wert an den Schweizer Stationen. Er lag aber bereits 150 mm unter dem Maximum der italienischen Station. Bis zur Station Binn sank der Tagesniederschlag vom 13.10.2000 auf 226 mm ab. Das Niederschlagszentrum lokalisiert sich also bei Bognanco-Pizzanco, nahe der Schweizer Grenze, in einer Distanz von Simplon/Gondo von bis etwa 10 km.

Durch die Drehung der Strömung in der Atmosphäre, am 13.10.2000, auf Südsüdost war die optimale Richtung für hohe Niederschlagsmengen an der Südabdachung vom Wallis und für das Übergreifen dieser südalpinen Niederschläge ins Wallis erreicht (Grebner und Roesch, 1998). Sowohl die Niederschlagsleistung, als auch die Lage des Niederschlagsfeldes (Fig. 2-3 und Fig. 2-4) und die markanten Niederschlagsabnahmen nach Osten und nach Westen, besonders ins Wallis hinein war dementsprechend typisch.

Die in Tab. 2-1 gezeigte Änderung der Niederschlagsmengen vom 13. zum 14.10.2000 an den Stationen Camedo bis Simplon-Dorf repräsentiert weitgehend die Strömungsdrehung. Die Zunahme der Niederschlagsmengen vom 13. zum 14.10.2000 sowie der Niederschlag am 15.10.2000 an den Stationen Saas Balen bis Grand St. Bernard in Tab. 2-1 waren vor allem die Folge der am Morgen des 15.10.2000 wallis-aufwärts nach Osten vorrückenden Kaltfront (Kap. 2.3.2). An den Stationen hinter der Kaltfront klang am 16.10.2000 der Niederschlag ab. Auf der Warmluftseite im Tessin hingegen dauerte er im Laufe des 16.10.2000 in der Grössenordnung von 30 bis 70 mm noch an.

Die in Tab. 2-1 zusammengestellten Tageswerte geben die beschriebenen Veränderungen wieder. Durch ihren Bezug auf feste (kalendarische) Messzeiten entsteht eine gewisse Unschärfe.

	10.10.	11.10.	12.10.	13.10.	14.10.	15.10.	16.10.	17.10.
Camedo	10	65	108	87	71	120	58	1
Bosco-Gurin	7	51	76	162	118	97	25	3
Binn	1	16	28	226	179	99	18	1
Simplon Dorf	10	28	47	247	248	108	16	0
Saas Balen	0	5	6	48	185	95	7	0
Visp	2	7	1	8	83	45	1	0
Ried (Lötschen)	2	16	4	40	106	40	0	0
Evolène	1	7	0	29	76	32	0	0
Grand St. Bernard	13	45	30	50	119	75	17	0

Tab. 2-1: Räumlich-zeitliche Verschiebung der Tagesniederschläge durch Drehung der Anströmungsrichtung vom 12. zum 14. Oktober 2000 und Zunahme der Niederschlagsmengen durch die Drehung sowie weitere atmosphärische Eigenschaften an den Stationen Camedo bis Simplon Dorf vom 10. bis 14. Oktober 2000. Danach Niederschlagsende hinter der nach Osten vorrückenden Kaltfront. Kursiv geschrieben sind die Maxima.

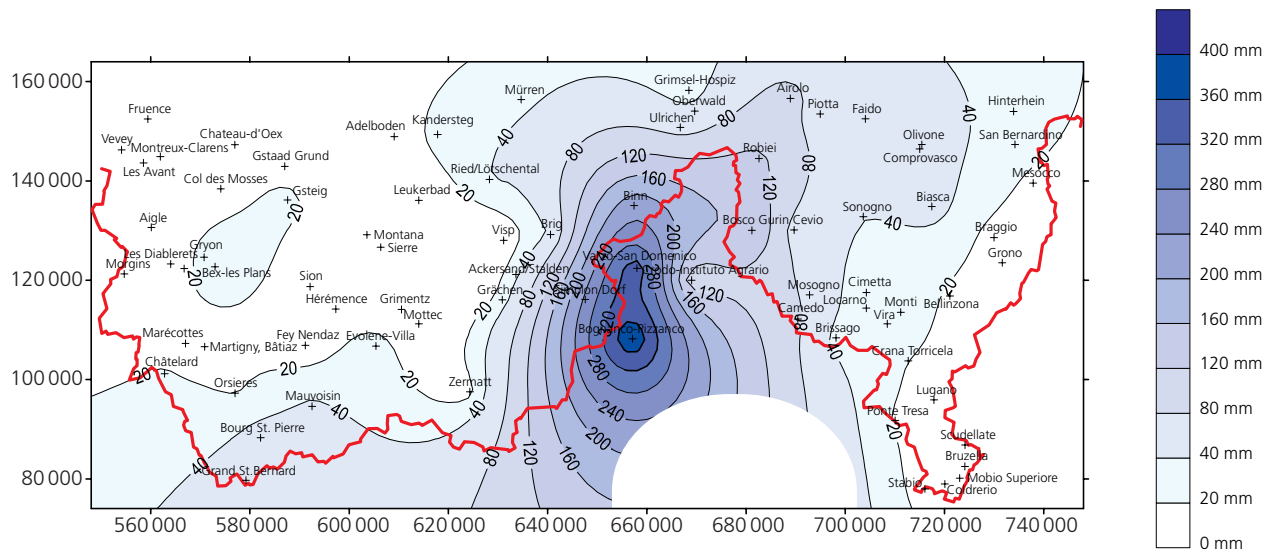


Fig. 2-3: 1-Tagesniederschlag vom 13. Oktober 2000 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

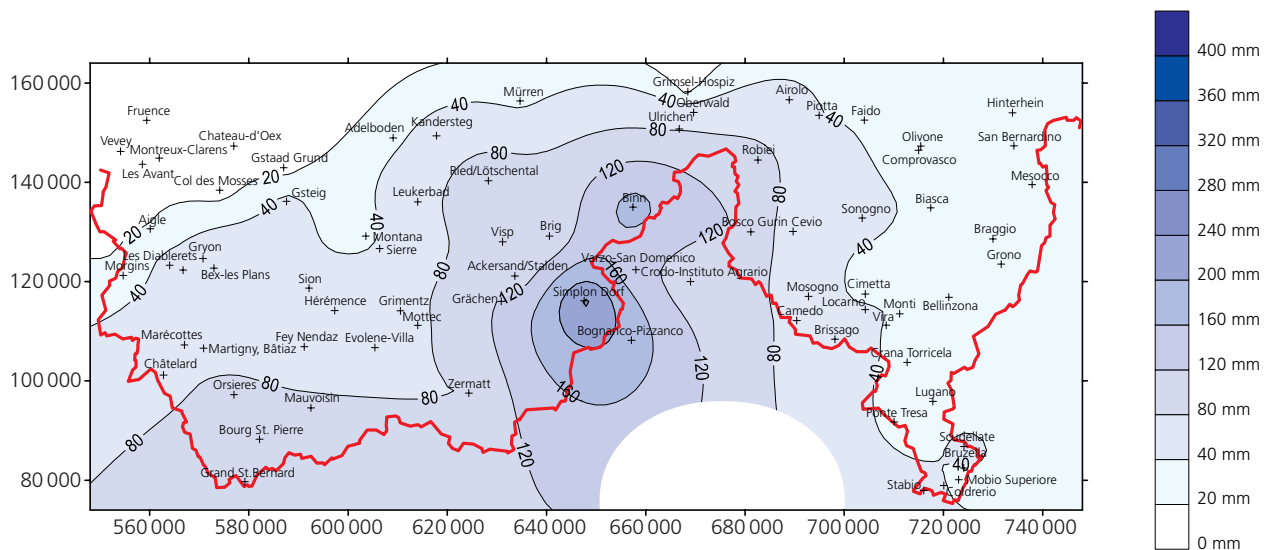


Fig. 2-4: 1-Tagesniederschlag vom 14. Oktober 2000 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

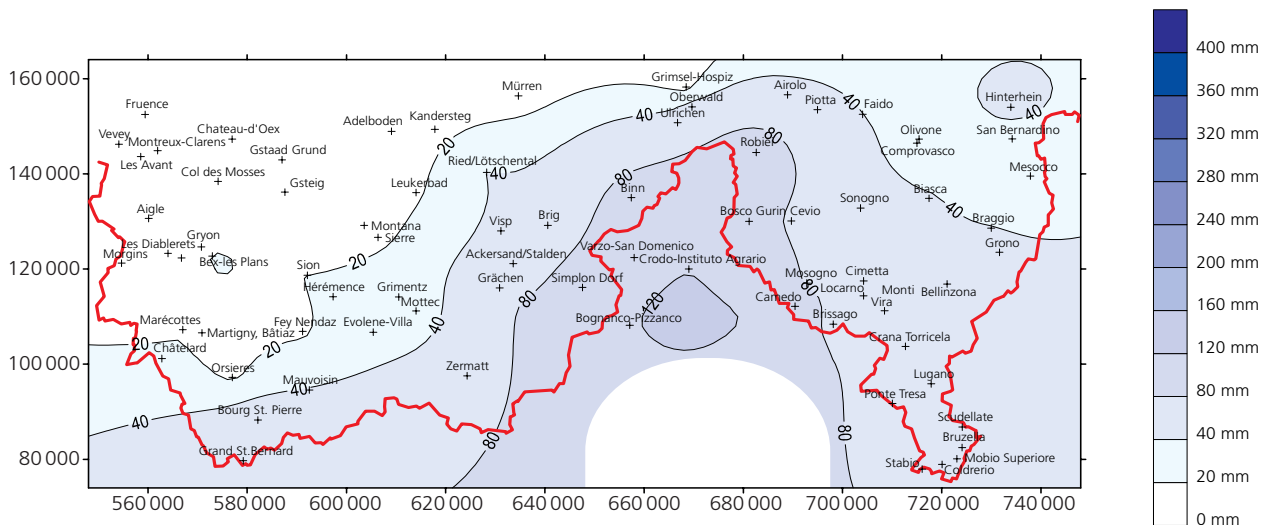


Fig. 2-5: 1-Tagesniederschlag vom 15. Oktober 2000 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

Maximale zweitägige Niederschläge: Die höchsten Werte im gesamten Raum ergeben sich aus dem 13. und 14. Oktober. Analog zu den eintägigen Summen konzentrieren auch sie sich um die Station Bognanco-Pizzanco (Fig. 2-6). Dort addieren sich die zwei Tage zu insgesamt über 580 mm. Simplon Dorf befindet sich ebenfalls in diesem Kernbereich mit rund 500 mm (Tab. 2-1). Im mittleren und unteren Wallis ergaben sich die höchsten zweitägigen Niederschlagssummen aufgrund der beschriebenen Zentrumsverlagerung entsprechend den oben erwähnten eintägigen Bedingungen mit wenigen lokalen Ausnahmen in den Tagen 14. und 15. Oktober 2000.

Von Schweizer Seite aus sind die beschriebenen Intensitätsbedingungen sowie auch Lage und Mengen des stets auf der Südseite liegenden Gesamtzentrums nicht oder nur abgeleitet belegbar (Meteodat GmbH, 1999). Die im vorliegenden Ereignis erstmals unmittelbar verfügbaren italienischen Messstationen sind deshalb für die vorliegende Dokumentation von entscheidender Bedeutung und entsprechend wertvoll (Regione Piemonte, 2000).

Intensitätsspitzen während eines Dauerniederschlags, wie sie insbesondere am 13.10.2000 kammnah auftraten, sind sowohl für die Abflusskonzentration wie auch für oberflächennahe Hangprozesse von massge-

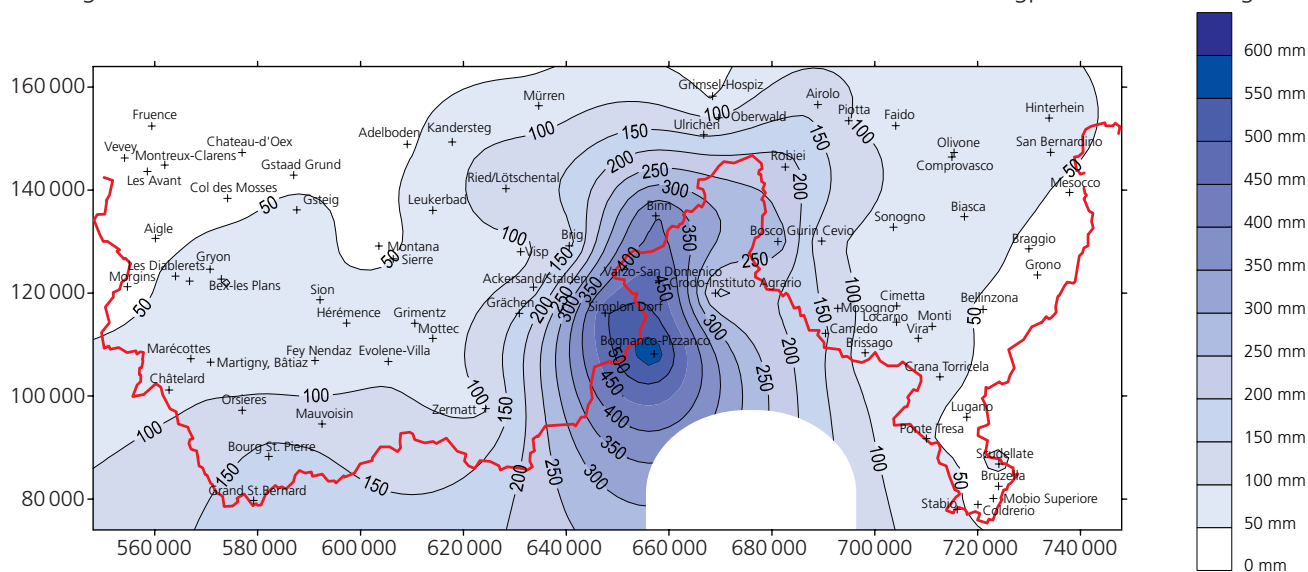
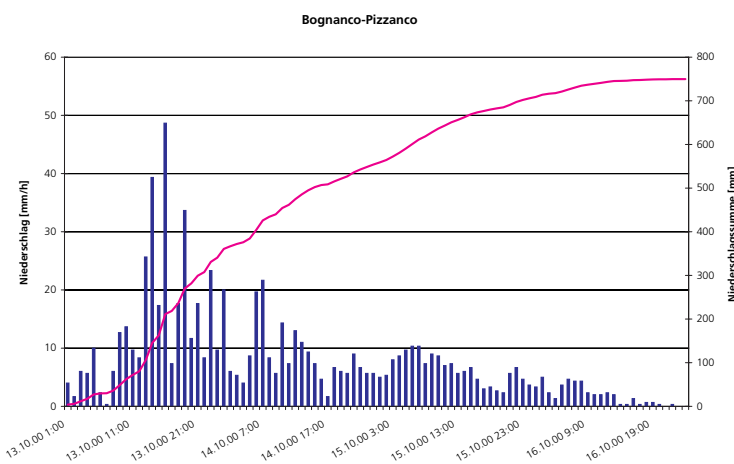


Fig. 2-6: 2-Tagesniederschlag vom 13./14. Oktober 2000 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

Intensitäten: Die Besonderheit bei zyklonal bedingten Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite, im Gegensatz zur Alpennordseite, ist, dass der vertikale Aufbau der Atmosphäre schauerartige Variabilitäten und Intensitätsspitzen ermöglicht. Bei der Anströmung der Luft gegen das Gebirge wird sie angehoben und dadurch ihr Potential zu lokalen Schauerintensitäten ausgelöst. Beim Ereignis vom Oktober 2000 entstanden die maximalen Intensitäten, aufgrund der atmosphärischen Voraussetzungen, von Süden her unmittelbar an der Schweizer Grenze (Fig. 2-3 bis Fig. 2-6). Wegen der geringen Distanz zum Alpenkamm konnten die Schauerintensitäten deutlich ins Wallis übergreifen und dort zusammen mit dem Basisniederschlag des gesamten Systems die beobachtet hohen Niederschlagssummen erzeugen (Fig. 2-3 bis Fig. 2-6). Neben der Windrichtung sind in solchen Fällen verschiedene vertikale Schichtungseigenschaften entscheidend, ob und wie weit das Wallis vom Schauercharakter betroffen ist (Grebner und Roesch, 1998).

bender Bedeutung (Jordan und Hohl, 1991; Zimmermann in Grebner et al., 2000).



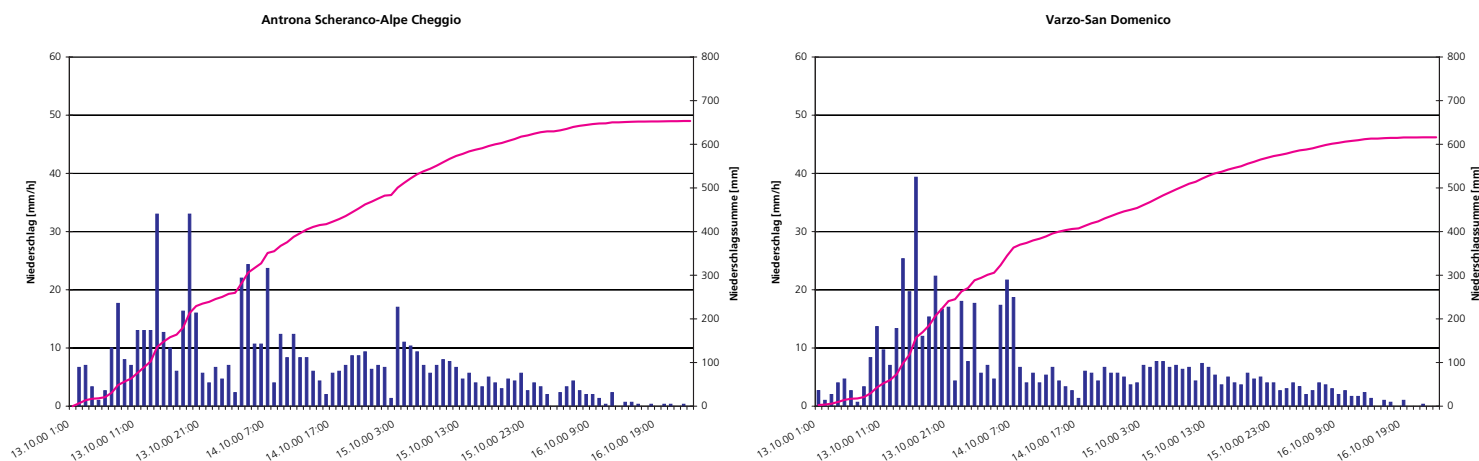


Fig. 2-7: Stündliche Intensitäten und akkumulierte Niederschläge an den Stationen Bognanco-Pizzanco, Antrona Scheranco-Alpe Cheggio und Varzo-San Domenico von Anfang 13. bis Ende 16. Oktober 2000 (Datenquelle: Regione Piemonte, 2000).

Im aktuellen Fall vom Oktober 2000 lässt sich der Intensitätsverlauf in der Kernzone des Ereignisses, in dem auch Simplon und Gondo lagen, durch die Registrierungen von Bognanco-Pizzanco, Antrona Scheranco-Alpe Cheggio und Varzo-San Domenico repräsentieren (Fig. 2-7). Die Stationen weisen besonders am 13. Oktober 2000 extreme Stundenspitzen bis gegen 50 mm auf. Die kalendarisch stündlich angegebenen Werte geben jedoch die Realität meist nur ungenau wieder. Die Hauptmenge solcher Stundensummen ist in der Regel auf wesentlich kürzere Dauern innerhalb einer Stunde konzentriert. Als Vergleichsmass hochgerechnet auf eine Stunde sind je nach in Betracht gezogener Dauer bis 500 mm/h oder mehr möglich. Die Spitzenintensitäten am 13.10.2000 traten auf den kurzen Distanzen von weniger als 10 km zwischen den drei in Fig. 2-7 gezeigten Stationen in unterschiedlichen Stunden auf, mit Ausnahme von 13 Uhr. Dies

verifiziert die schauerbetonte Struktur des Dauerniederschlags an diesem Tag. Für das Gebiet um Simplon/Gondo sind ähnliche Bedingungen, mit Stundenintensitäten zwischen 30 und 50 mm, ebenfalls höher konzentriert in kürzeren Intervallen, anzunehmen. Bei der weiteren Wetterentwicklung nach dem 13.10.2000 wurde am 14. und 15.10.2000 besonders auch das Wallis im Raum des Grand St. Bernard betroffen. In dieser Phase des Ereignisses war jedoch die Stundenvariabilität allgemein geringer. Der Niederschlag in dieser Region hatte primär einen zyklonalen Intensitätsverlauf. Auch innerhalb vom Wallis war die Schauerstruktur aufgrund der dortigen Voraussetzung für den Niederschlagsprozess nicht mehr dominant. Ab 14.10.00 gingen ebenfalls südalin die Intensitäten in einen gleichmässigeren Verlauf über, mit mittleren stündlichen Mengen zwischen 5 und 10 mm und allmählichem Ausklingen (Fig. 2-7).

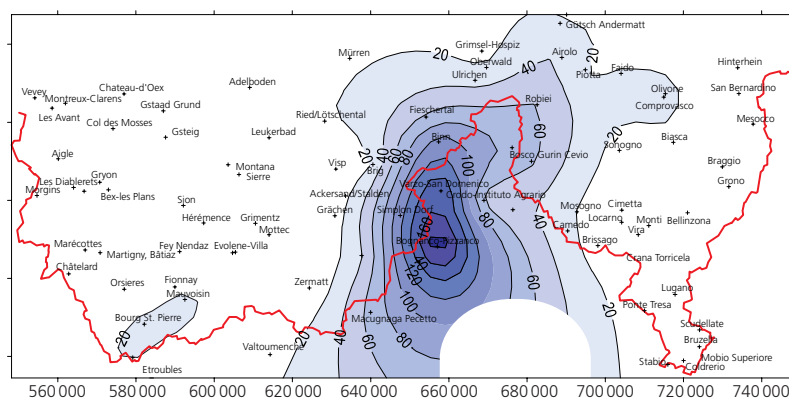


Fig. 2-8: Niederschlagssummen (mm) in den 8 Stunden zwischen Freitag 13. Oktober 11 Uhr und 19 Uhr. Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

2.2.3 Die Starkniederschläge vom September 1993

Anlass für den Rückblick

Das Ereignis im Oktober 2000 zeigt hydrometeorologisch mehrere Parallelen zum Unwetter vom 22. bis 25. September 1993, vielfach als «Brig-Ereignis» bezeichnet. Der sich aufdrängende analytische Vergleich bietet Informationen über die unterschiedliche Grössenordnung der Prozesskomponenten sowie über die unterschiedliche Wirkung ihrer Kombination. Die Aussage solcher Betrachtungen ist für operationelle Belange zwar eher qualitativ, macht aber auf die viel-dimensionale Steuerung der Ereignisstärken und -auswirkungen aufmerksam, die weit über die konventionelle monovariablen statistische Bewertung hinausgeht. Ein besonders deutliches Beispiel dazu war das Hochwasser vom Mai 1999 (Grebner und Roesch, 1999; BWG, 2000).

Der nachstehend kurzen Niederschlagscharakterisierung des September-Ereignisses von 1993 folgt in Kapitel 2.2.4 der räumlich-zeitliche quantitative Vergleich mit den Eigenschaften im Fall vom Oktober 2000. Im weiteren folgt eine Gegenüberstellung der atmosphärischen Eigenschaften der Wetterverläufe zusammen mit einem weiteren für die betrachtete Region massgebenden Unwetter.

Vorgeschichte

Im Simplongebiet, im oberen Wallis sowie im Raum Grand St. Bernard waren die Niederschlagsbedingungen im vorausgehenden Juli durchschnittlich. Der August fiel bis zum 22.8.1993 sehr trocken aus. Ab diesem Datum setzte dann süd- und inneralpin eine niederschlagsreichere Witterung ein. Eine erste ergiebige Phase vom 22. bis 27.8.1993 kompensierte das zunächst hohe Feuchtedefizit in den genannten Gebieten bis auf 70% des Monatsmittel, vereinzelt bis über 100%.

Der September zeigte sich bis zum Ereignisbeginn regnerisch, mit etwa zweitägigem Rhythmus. Die täglichen Niederschlagsmengen waren zwar nur schwach bis mässig. Aber die Niederschlagswiederholungen zusammen mit der fortgeschrittenen Jahreszeit parametrisierten eine geringe Verdunstung. Dadurch war also die hydrologische Anfangsbedingung für die Auswirkung des nachfolgenden Starkniederschlags was die Bodenfeuchte betrifft eher im mittleren Bereich. Die Abflüsse bis zum Ereignisbeginn am 22.9.1993 lagen jedoch noch deutlich unter dem Septembermittelwert.

Räumliche Verteilung und zeitlicher Verlauf der Niederschläge

Schwerpunkte der Niederschläge: Das Ereignis begann am Morgen des 22.9.1993 und dauerte gut drei Tage bis in die erste Hälfte des 25.9.1993 (Grebner, 1994). Diese Dauer ist ein typischer Rahmen für starke zyklonale Niederschlagssysteme. Das Zentrum lag während der gesamten Zeit im Raum der Tessiner Stationen Mosogno, Camedo und Bosco-Gurin. Allerdings nahm ab 24.9.1993 die Niederschlagsleistung im Bereich von Simplon erheblich zu, sodass die Analyse dieses Tages dort ein eigenes zweites Zentrum ausweist (Fig. 2-9 bis Fig. 2-11).

Maximale Tagesniederschläge: Der eintägige Höchstwert im gesamten Ereignis wurde am 22.9.1993 an der Station Mosogno mit 254 mm beobachtet (Fig. 2-9). Nach einer vorübergehenden Abschwächung im ganzen Gebiet am 23.9.1993 (Fig. 2-10) trat am 3. Tag, dem 24.9.1993, wieder eine Verschärfung ein (Fig. 2-11). Wie oben erwähnt, war diese Intensivierung vor allem für das Wallis ausgeprägt und von Bedeutung. Die gemessenen Maxima an den beiden Zentren dieses Tages mit 182 mm an der Station Simplon bzw. 177 mm in Bosco-Gurin waren annähernd gleich.

Im Gegensatz zum Oktober 2000 ist das Zentrum am 24. September 1993 unmittelbar bei Simplon zu vermuten. Der Gradient hatte die umgekehrte Richtung wie im Oktober 2000. Der Tagesniederschlag nahm auf den 12 km Distanz von Simplon Dorf bis zur Station Bognanco-Pizzano um 65 mm auf 117 mm ab, dies entspricht einem Rückgang um 36%. Das Verhältnis zwischen den beiden Stationen im Oktober war mit 38% nicht wesentlich verschieden, allerdings auf einem erheblich höheren absoluten Niveau (Kap. 2.2.2). Die besonders auch im September 1993 sehr kammnahe Position der maximalen Aktivität war, wie schon für den Oktober 2000 beschrieben, ebenfalls für ein starkes Übergreifen des Niederschlagsfeldes auf die oberste Gebirgszone im Wallis geeignet, mit den bekannten Schadensfolgen in der Saltina, im Saaser Tal und am Simplon selbst.

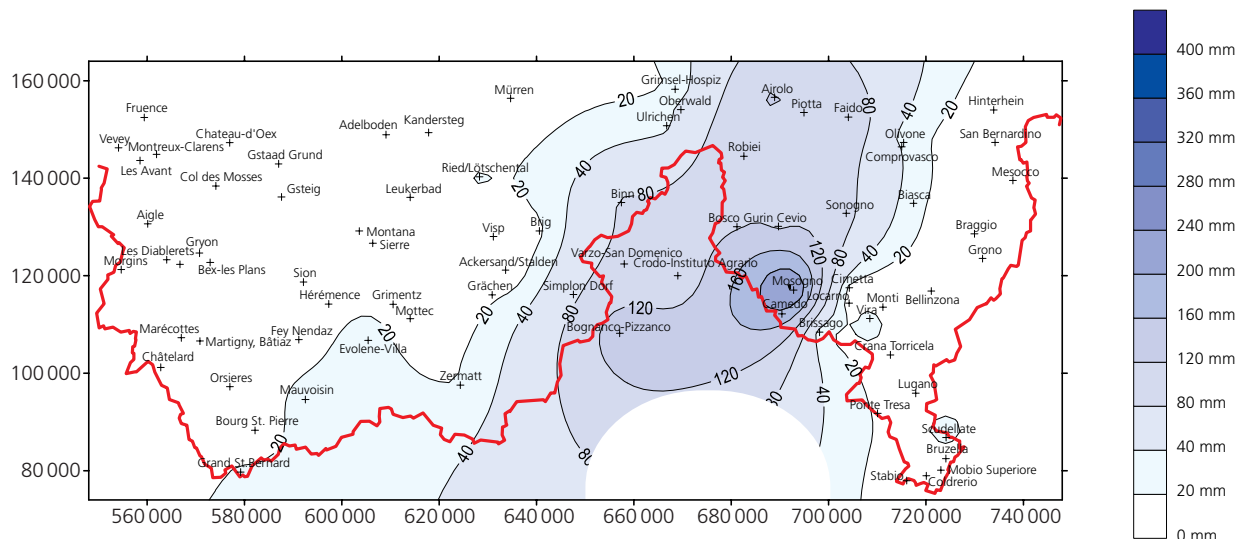


Fig. 2-9: 1-Tagesniederschlag vom 22. September 1993 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

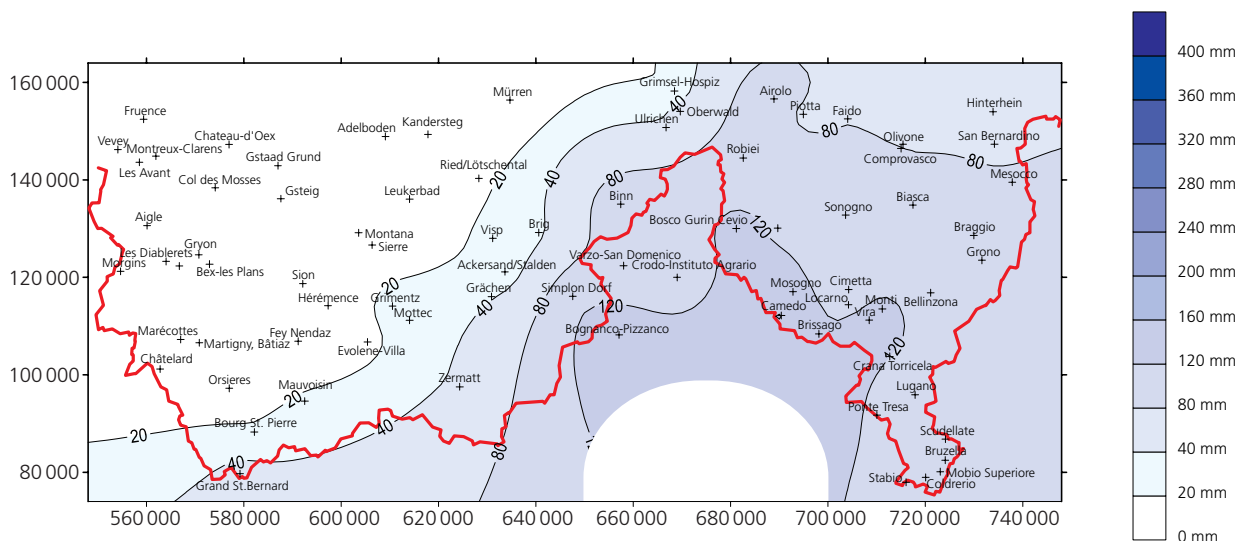


Fig. 2-10: 1-Tagesniederschlag vom 23. September 1993 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

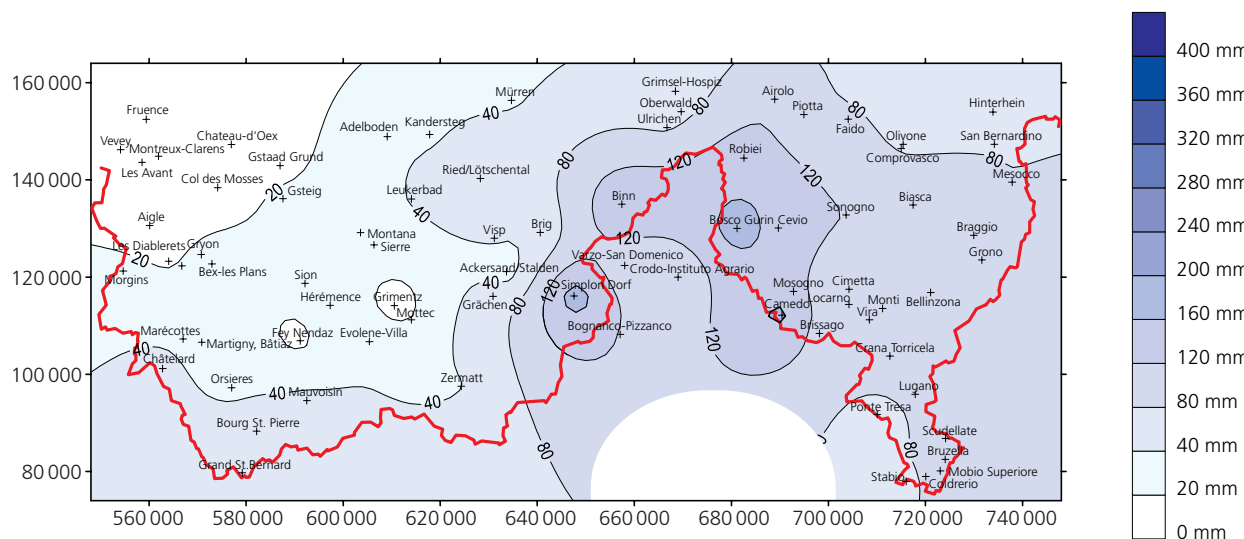


Fig. 2-11: 1-Tagesniederschlag vom 24. September 1993 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweizerische Landeskoordinaten in Metern.

Maximale zweitägige Niederschläge: Die Zunahme der Niederschlagssummen in der Hauptniederschlagszone, Mosogno und Simplon, von einem auf zwei Tage war stark, aber nicht extrem, da am mittleren Ereignistag vorübergehend eine erhebliche Niederschlagsabschwächung auftrat (Grebner, 1994). Ausserdem müssen, wegen der Niederschlagssteigerung im Simplongebiet am 3. Ereignistag, für das Tessin bzw. für Simplon und Wallis zwei verschiedene Tagpaare betrachtet werden. Im Tessin addieren sich der 22. und 23.9.1993 zum zweitägigen Maximum, mit dem beobachteten Höchstwert in Mosogno von 392 mm (Fig. 2-13). Er stellte auch das zweitägige Gesamtmaximum des Ereignisses dar. Für Simplon und Wallis wurde das zweitägige Maximum hingegen in den Tagen 23. und 24.9.1993 erreicht (Fig. 2-14). Die Station Simplon Dorf registrierte dabei mit 292 mm den zweithöchsten Wert des Ereignisses. Wegen der Erstreckung des dort zentrierten Niederschlagsfeldes ins Wallis hinein sind für den anschliessenden Ereignisvergleich auch für das Wallis der 23. und 24.9.1993 massgebend. Die Niederschlagssumme vom 22. und 23.9.1993 erreichte in Simplon Dorf nur 175 mm. **Intensitäten:** Der stündliche Verlauf hatte dominierend zyklonalen Charakter, d.h. die einzelnen Intensitätsspitzen waren gegenüber dem mittleren Verhalten nur mässig überhöht (Fig. 2-12; Grebner, 1994). Für die hydrologische Bedeutung des Niederschlagsverlaufs im Raum Simplon und Wallis ist jedoch auf die deutliche Intensitätszunahme während des Ereignisses hinzuweisen. Abgeleitet vom Verlauf von Robiei ist bei Simplon gegen Ereignisende etwa ab 12 h des 24.9.1993 eine 5-stündige Phase mit Intensitäten zwischen 15 und 20 mm anzunehmen.

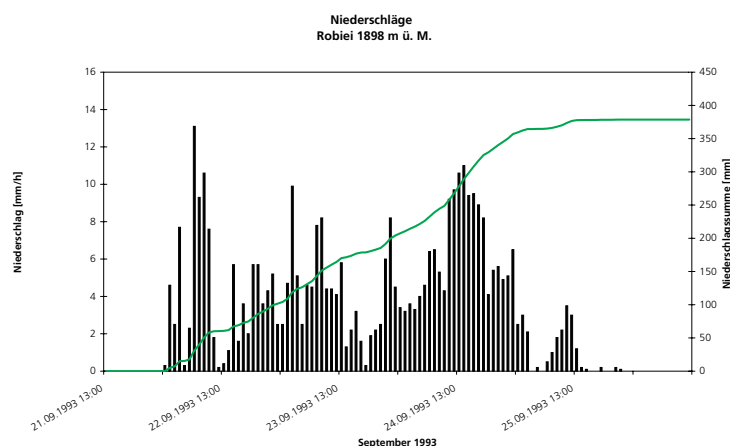


Fig. 2-12: Stündliche Intensitäten und akkumulierte Niederschläge an der Station Robiei von Anfang des 21. bis Ende des 26. Septembers 1993.

2.2.4 Niederschlagsvergleich der Ereignisse von 1993 und 2000

Bezüglich Vorgeschichte, einschliesslich Temperaturverlauf, sind die beiden Ereignisse, September 1993 und Oktober 2000, vergleichbar. Von augenfälliger Ähnlichkeit sind die Jahreszeit, die Position und die Form der Niederschlagsfelder der beiden Ereignisse. Diese Eigenschaften sind jedoch für südalpine zyklonal bedingte Starkniederschlagssysteme wie bereits in Kap. 2.2.2 erwähnt typisch und damit keine Besonderheit. (Kap. 2.4; Grebner und Roesch, 1998). Qualitative Ähnlichkeit besteht bei den Verläufen der Niederschläge in den betroffenen Gebieten, Simplon und Wallis, d.h. Niederschlagszunahme vom Ereignisbeginn bis zur Hauptphase.

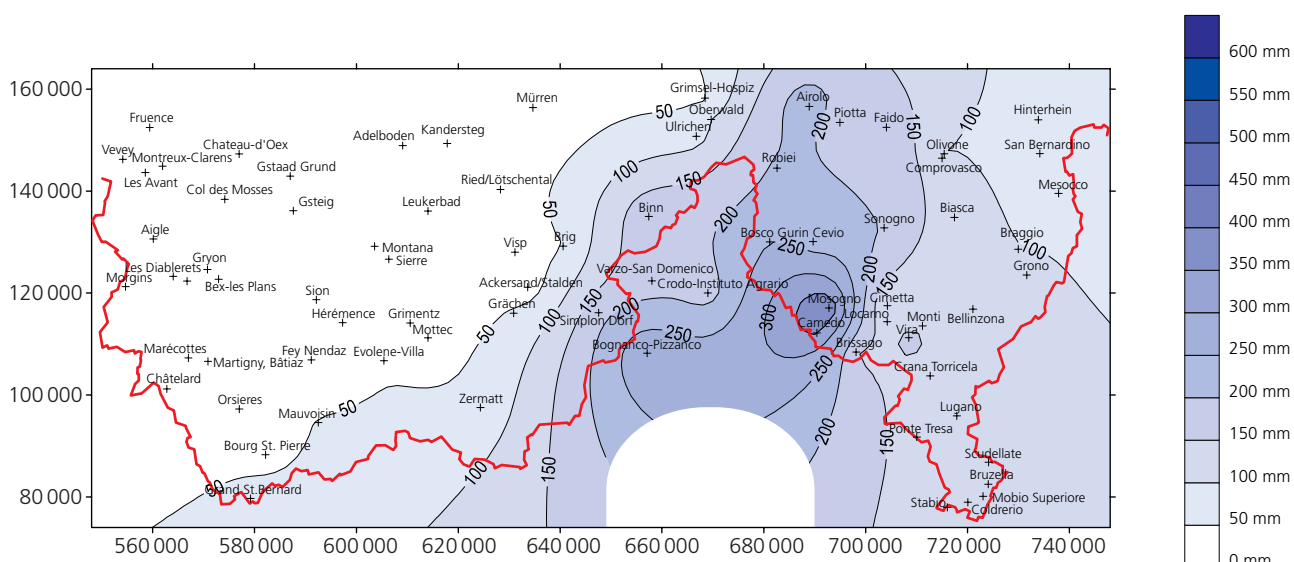


Fig. 2-13: 2-Tagesniederschlag vom 22. und 23. September 1993 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweiz. Landeskordinaten in Metern.

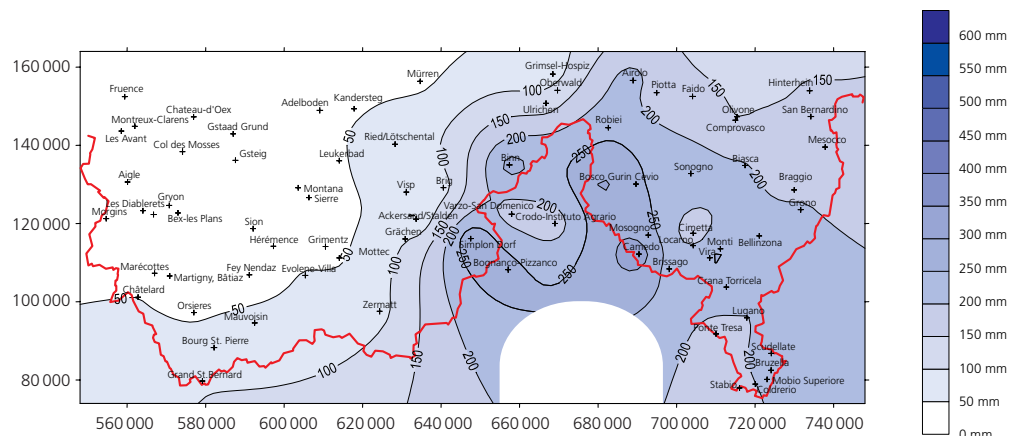


Fig. 2-14: 2-Tagesniederschlag vom 23. und 24. September 1993 (7–7 Uhr Folgetag). Randskalierung: Schweiz. Landeskordinaten in Metern.

Letztere begann im Fall vom Oktober 2000 nach rund vier Tagen, am 13.10.2000; im Fall vom September 1993 nach zwei Tagen, am 24.9.1993. Quantitativ war jedoch diese einleitende Niederschlagssumme im Fall vom September 1993 mit 180 mm etwa um einen Faktor 6 grösser als im Oktober 2000, als trotz längerer Dauer nur 30 mm fielen. Zusammen mit der vermutlich wenig abgetrockneten Vorgeschichte (Kap. 2.2.2) bestehen dadurch im Oktober 2000 moderate, im September 1993 ausgeprägte Anfangsbedingungen für die Abflusseffizienz der anschliessenden Hauptniederschläge.

Die augenfälligsten Unterschiede bestehen zwischen den Dauern und den Niederschlagsleistungen beider Ereignisse, wie nachfolgend näher beleuchtet wird. Beim Vergleich der maximalen Einzeltage beider Ereignisse, 24.9.1993 und 13.10.2000, ist für das Gebiet Simplon und Wallis zwischen den Niederschlagsleistungen in den Kernzonen und dem übrigen Gebiet zu unterscheiden. Etwa bei der 60 mm Isohyete sind sie flächengleich. Innerhalb stieg die Niederschlagsleistung im Oktober-Ereignis sehr viel steiler an und erzeugte im Zentrum gut die doppelte Niederschlagsmenge wie im September 1993 (Fig. 2-3 und Fig. 2-11). Im Gegensatz dazu waren ausserhalb dieser Fläche etwa von Saas Almagell bis zum Grand St. Bernard sowie auch im übrigen Wallis die Tagesmengen im September 1993 etwas grösser als im Oktober 2000. In beiden Fällen ist ein relatives Minimum im Raum Zermatt festzustellen. Die Form der Niederschlagsfelder insgesamt ist in beiden Fällen typisch, d.h. ähnlich. Zum Vergleich der Intensitätsvariabilitäten liegen vom September 1993 keine Messungen der italienischen Stationen vor. Da die Variabilitäten jedoch in gewissem Rahmen proportional zur Tagesmenge sind, ist in der Kernzone für den September 1993 eine geringere Dynamik anzunehmen.

Die Gesamtdauer mit ununterbrochenem Niederschlag im Oktober 2000 war aussergewöhnlich und für die Kernzone im Simplongebiet und das obere Wallis mehr als doppelt so lang wie im September 1993. Dasselbe gilt für die Dauer der Hauptphase. Dadurch erreichte das Oktober-Ereignis ein besonderes Ausmass bei den 2- und mehrtägigen Niederschlagsmengen im Vergleich mit dem September 1993, nicht nur für die bisher erwähnten Gebiete, sondern für die gesamte Poebene. Im September 1993 stand der Maximaltag, 24.9.1993, etwas isoliert, d.h. mit einem relativen Minimum davor und raschem Abklingen des Niederschlags am Folgetag (Grebner, 1994). Im Oktober 2000 hingegen war in der Kernzone des Niederschlags am Maximaltag (13.10.2000) nicht nur wesentlich höher, sondern dauerte auch danach intensiv an. Insbesondere in den Walliser Südtälern, aber auch im übrigen unteren und mittleren Wallis folgte nach dem mit dem 24. September 1993 noch vergleichbaren 13.10.2000 erst die Hauptphase (Fig. 2-2, Fig. 2-4 und Fig. 2-5, Tab. 2-1). Dadurch ergab sich vor allem in den Walliser Südtälern über 2 Tage bis etwa zum Doppelten der Niederschlagsmengen vom September 1993 (Fig. 2-15). Für diese klimatisch niederschlagsschwächere Region sind solche Mengen ähnlich extrem wie die subjektiv eindrucksvolleren Summen der Kernzone um Simplon (Tab. 2-3 und Fig. 2-18 bis Fig. 2-20). Interessant ist, dass auch bei mehrtägigen Niederschlagsdauern die Form der Niederschlagsfelder insgesamt erhalten bleibt. Im Raum Tessin unterscheiden sich die beiden Ereignisse invers (Fig. 2-15). Durch die erwähnte Strömungsdrehung am 13. Oktober 2000 etablierte sich sowohl das ein- wie auch mehrtägige Maximum im Gebiet Simplon und Oberwallis. Im September 1993 hingegen blieb das Zentrum des Gesamt ereignisses im Westtessin (Grebner, 1994; Fig. 2-13 und Fig. 2-14).

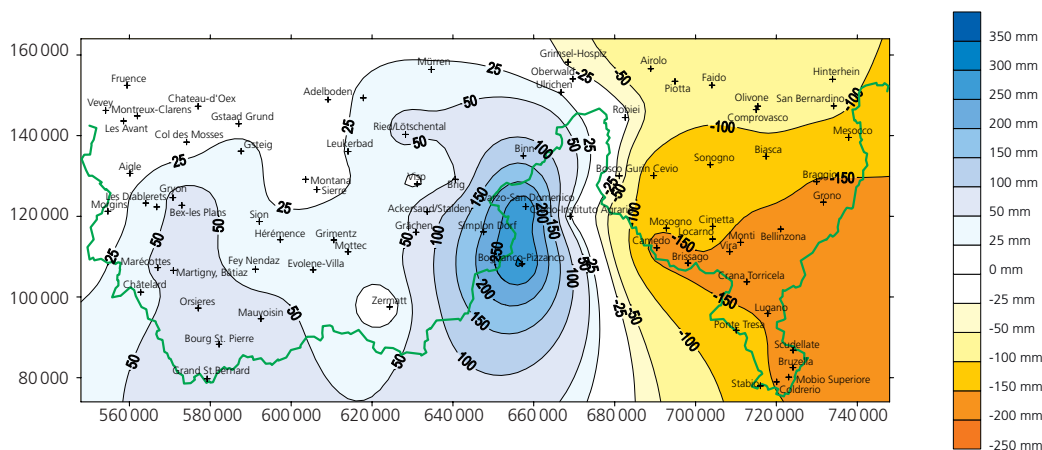


Fig. 2-15: Differenz der 2-Tagesniederschläge (13./14.10.2000–23./24.9.1993). Die blauen Flächen erhielten im Oktober 2000 mehr Niederschlag, die gelb-roten Flächen im September 1993. Randskalierung: Schweizerische Landeskordinaten in Metern.

Die Entlastung im Oktober verhinderte ein noch höheres Ansteigen des Lago Maggiore, der trotz dieser Entlastung bereits einen Höchststand von 197,57 m erreichte, also 34 cm höher als im September 1993.

2.2.5 Wahrscheinlichkeiten von Punktniederschlägen

Ziel der Untersuchung war es, die Wiederkehrperioden der 1-, 2- und 5-tägigen Niederschlagssummen des Ereignisses vom Oktober 2000 zu ermitteln und in Form von Karten graphisch darzustellen.

Datengrundlage

Grundlage der räumlichen Darstellungen der Wiederkehrperioden der Niederschläge in den Fig. 2-18 bis Fig. 2-20 sind Extremwertanalysen für die verfügbaren Stationen im Wallis und in dessen näherer Umgebung auf Schweizer Gebiet (Lang et al., 1996) sowie im Tessin.

Der Vergleich von Wiederkehrdauern von Punktniederschlägen, insbesondere in räumlichen Isopletheninterpolationen (Fig. 2-18 bis Fig. 2-20), verlangt identische Referenzperioden der berücksichtigten Stationen. Um die bereits anlässlich der früheren Studie CONSECRU (Lang et al., 1996) für das Wallis und Umgebung durchgeführten Frequenzanalysen unmittelbar verwenden zu können, wurde die Referenzperiode für die ergänzenden Stationen im Tessin auf die selben Jahre 1901 bis 1994 festgelegt. Begrenzt unvollständige Messreihen interessierender Stationen wurden durch Korrekturen an diese Periode angepasst. Die grenznahen italienischen Stationen der Region Piemont konnten nicht berücksichtigt werden, da sie frühestens seit 1987 in Betrieb sind. Ihre Datenreihen sind demnach auch für eine Anpassung sehr kurz.

Methodik

Die Frequenzanalysen wurden für die 1-, 2- und 5-tägigen Niederschlagssummen jeder Station durchgeführt. Als Stichproben dafür dienten die Jahreshöchstwerte dieser Zeitschritte. Beispiele für die sich ergebenden Frequenz-Mengen-Beziehungen sind in den Fig. 2-16 und Fig. 2-17 dargestellt. Aus diesen Beziehungen wurden die Wiederkehrdauern der beobachteten Stationsniederschläge entsprechender Dauer ermittelt und räumlich interpoliert in den Fig. 2-18 bis Fig. 2-20 dargestellt.

Die erforderliche Anpassung der Frequenz-Mengen-Beziehungen unvollständiger Messreihen an die gesamte Referenzperiode besteht aus folgenden Schritten:

- Erstellung eines Frequenzdiagramms für die Vergleichsstation mit der vollständigen Zeitreihe (1901 bis 1994)
- Erstellung eines Frequenzdiagramms für die Vergleichsstation mit eingebauter Messlücke analog zur anzupassenden Station
- Vergleich der beiden Frequenzdiagramme und Ermittlung der Differenzen in den Geradensteigungen
- Entsprechende Anpassung der Geradensteigungen für die anzupassende Station.

Fig. 2-16 zeigt für die Station Binn die Unterschiede der geschätzten Wiederkehrdauern im Fall unterschiedlicher Referenzperioden. In diesem Beispiel werden die Schätzungen aus der Periode mit 34 Jahren (1961–1994) denjenigen mit 94 Jahren (1901–1994) gegenübergestellt. Als theoretische Verteilung wurde die 1. Exponentialverteilung (Gumbelverteilung) gewählt.

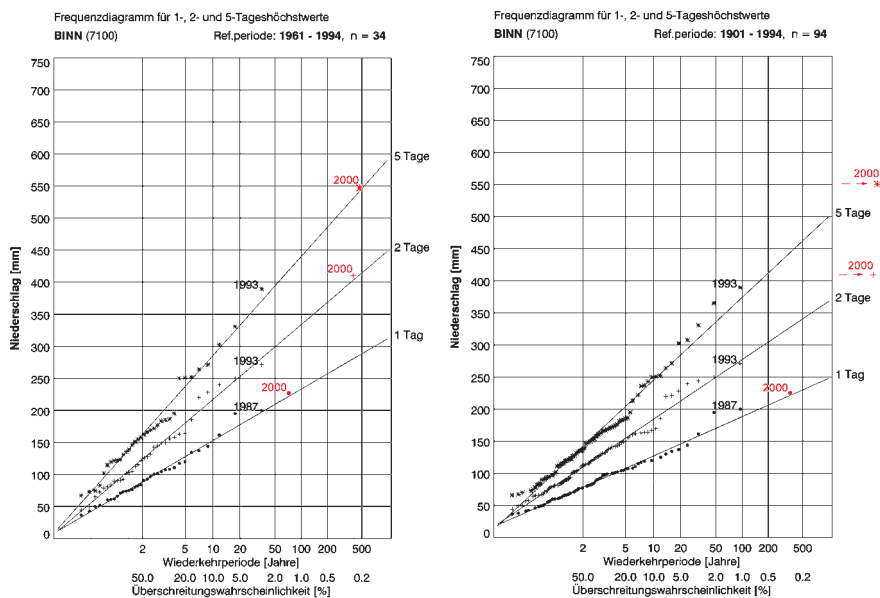


Fig. 2-16: Frequenzdiagramme von Binn mit unterschiedlichen Referenzperioden von 1961–1994 (links) und 1901–1994 (rechts).

In Tab. 2-2 werden die 1-, 2- und 5-tägigen Höchstwerte der Punktniederschläge vom Oktober 2000 gezeigt. Weiter sind die Stationen, deren Frequenzdiagramme korrigiert werden mussten und welche Stationen für diese Anpassung verwendet worden aufgeführt.

Resultate

Die Isoplethenanalyse der Wiederkehrperioden (Fig. 2-18 bis Fig. 2-20) bestätigt die in Kapitel 2.2.2 beschriebene räumliche Verteilung der absoluten Niederschlagsmengen. Im sonst sehr niederschlagsreichen Raum Camedo sowie weiter nach Süden ergeben sich für alle drei betrachteten Dauern Wiederkehrperioden von weniger als 10 Jahren. Zum Hauptzentrum im Raum Simplon mit einer gewissen Ausdehnung am Alpensüdhang entlang sowie auch übergreifend ins obere Wallis übersteigen die eintägigen Niederschlagssummen Wiederkehrperioden von 200 Jahren. Zu ähnlich hohen Einschätzungen führen die gemessenen Mengen des sekundären Niederschlagszentrums im Raum Grand St. Bernard (Kap. 2.2.2).

Wie auch in Kapitel 2.4 hervorgehoben wird, ist die Dauer des Ereignisses mit mehrtägiger hoher Ergiebigkeit aussergewöhnlich. Diese Qualifikation wird durch die Wiederkehrperioden für die 2- und 5-tägigen Niederschläge verifiziert. Der Seltenheitsgrad nimmt vor allem von den 1- zu den 2-tägigen Niederschlagsmengen deutlich zu und bleibt in dieser Grössenord-

nung zumindest bis zu den überprüften 5-tägigen Mengen erhalten (Fig. 2-16 und Fig. 2-17). Bei den ermittelten Wiederkehrperioden von über 1000 Jahren im Raum Simplon bzw. von über 500 Jahren im Raum Grand St. Bernard ist allerdings zu berücksichtigen, dass sie bei einer Referenzperiode von 94 Jahren mit sehr breiten Vertrauensintervallen behaftet sind. Von der Kammzone ins Wallis hinein ergibt sich für das Ereignis im Prinzip das übliche Bild einer starken Abnahme der Bedeutung vom Alpenkamm zur Talachse. Allerdings ergab das Überregnen über den Alpenkamm wegen der besonderen Stärke des Ereignisses immer noch in weiten Teilen Wiederkehrperioden von über 100 Jahren, vor allem bei den Dauern von 2 und 5 Tagen (Fig. 2-18 bis Fig. 2-20). Diese Einschätzungen stufen das Ereignis in weiten Teilen des oberen Wallis und ebenso im Bereich der südlichen Seitentäler als ausserordentlich hoch ein.

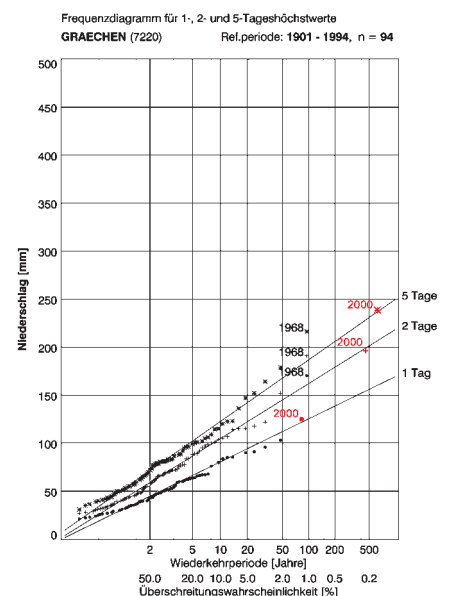
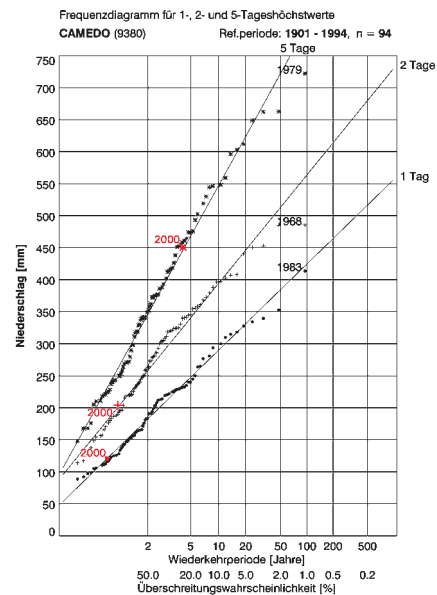
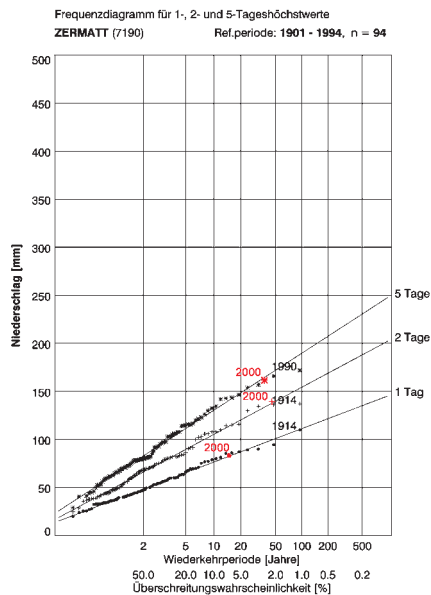
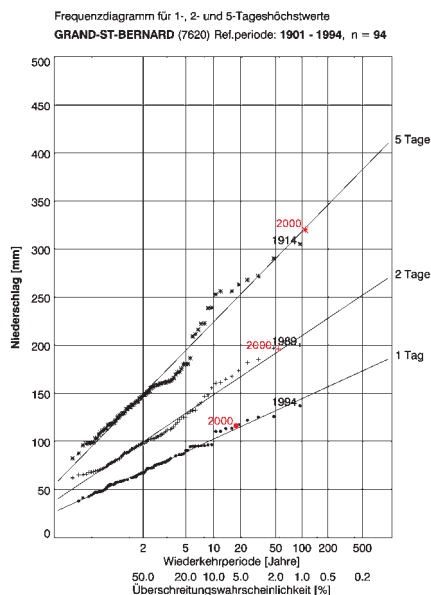


Fig. 2-17: Frequenzdiagramme von ...

Indikativ	Station	1-Tages- wert (mm)	1-Tageswert (Jährlichkeit)	2-Tages- wert (mm)	2-Tageswert (Jährlichkeit)	5-Tages- wert (mm)	5-Tageswert (Jährlichkeit)	Bemerkungen
5170	Lauterbrunnen	38.0	<2	62.0	2–5	73.6	<2	
5230	Kandersteg	54.0	2–5	79.5	5–10	105.4	5–10	
5610	Chateaux-d'Oex	11.7	<2	20.4	<2	42.9	<2	
7020	Oberwald	57.7	<2	106.8	2–5	214.1	10–20	
7100	Binn	226.1	200–500	405.1	>1000	549.9	>1000	
9580	Simplon Dorf	248.2	200–500	494.7	>1000	678.5	>1000	mit Binn homogenisiert
7130	Brig	82.6	5–10	130.8	10–20	175.9	20–50	mit Sion homogenisiert
7190	Zermatt	80.4	10–20	141.3	20–50	166.7	20–50	
7220	Grächen	125.0	100–200	198.4	200–500	238.6	500–1000	
7240	Ackersand/Stalden	91.0	20–50	140.0	20–50	181.1	50–100	mit Grächen homogenisiert
7300	Leukerbad	70.1	5–10	87.6	2–5	114.0	2–5	
7380	Montana	28.6	<2	42.8	<2	66.5	<2	mit Leukerbad homogenisiert
7520	Sion	45.1	2–5	65.4	2–5	96.1	5–10	
7620	Gr. St. Bernard	119.0	20–50	194.0	50–100	319.1	100–200	
7640	Bourg St. Pierre	115.2	200–500	174.3	>1000	236.6	>1000	
7860	Bex	45.3	2–5	60.7	2–5	79.1	2–5	
8020	Montreux-Clarens	13.7	<2	21.0	<2	43.6	<2	
9030	Airolo	102.0	2–5	196.0	5–10	374.5	20–50	
9090	Comprovasco	53.2	<2	101.2	<2	198.9	2–5	mit Mesocco homogenisiert
9160	Mesocco	64.5	<2	111.7	2–5	185.1	2–5	
9220	Bellinzona	58.8	<2	115.5	<2	207.0	2–5	
9320	Cevio	80.0	<2	144.0	<2	319.0	2–5	
9340	Bosco Gurin	162.0	5–10	280.0	10–20	505.1	100–200	mit Cevio homogenisiert
9380	Camedo	119.8	<2	206.9	<2	450.7	2–5	
9400	Locarno-Monti	65.6	<2	127.8	<2	258.1	2–5	
9480	Lugano	57.6	<2	99.9	<2	194.1	2–5	

Tab. 2-2: 1-, 2- und 5-Tagesniederschlags-Höchstwerte sowie deren Jährlichkeiten von ausgewählten Stationen der MeteoSchweiz im Wallis und dessen näheren Umgebung.



... Grächen, Grand St. Bernard, Zermatt und Camedo mit einheitlicher Referenzperiode von 1901–1994.

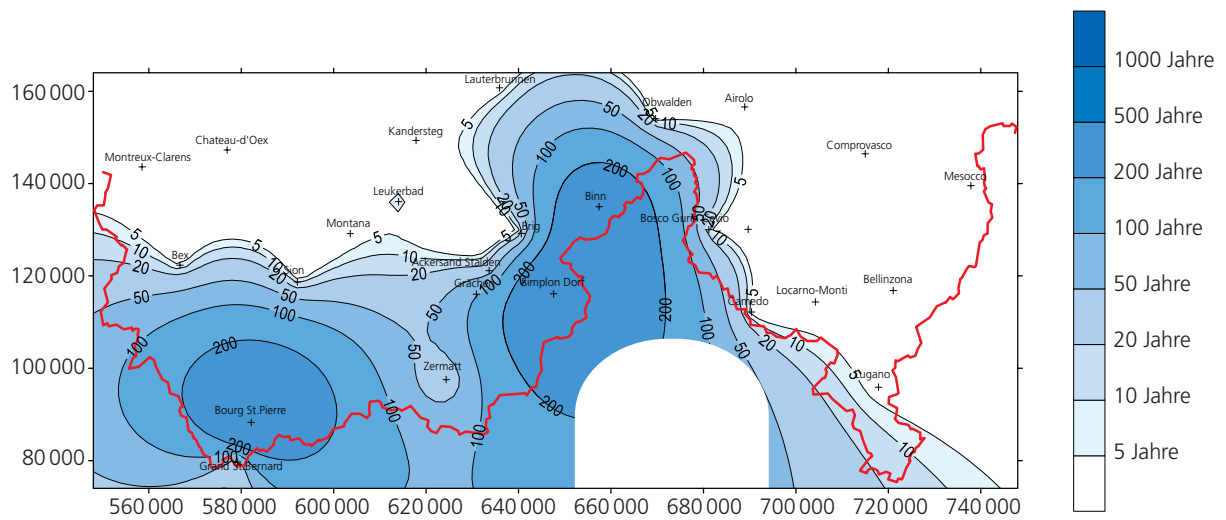


Fig. 2-18: Jährlichkeiten der 1-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000. Randskalierung: Schweiz. Landeskoordinaten in Metern.

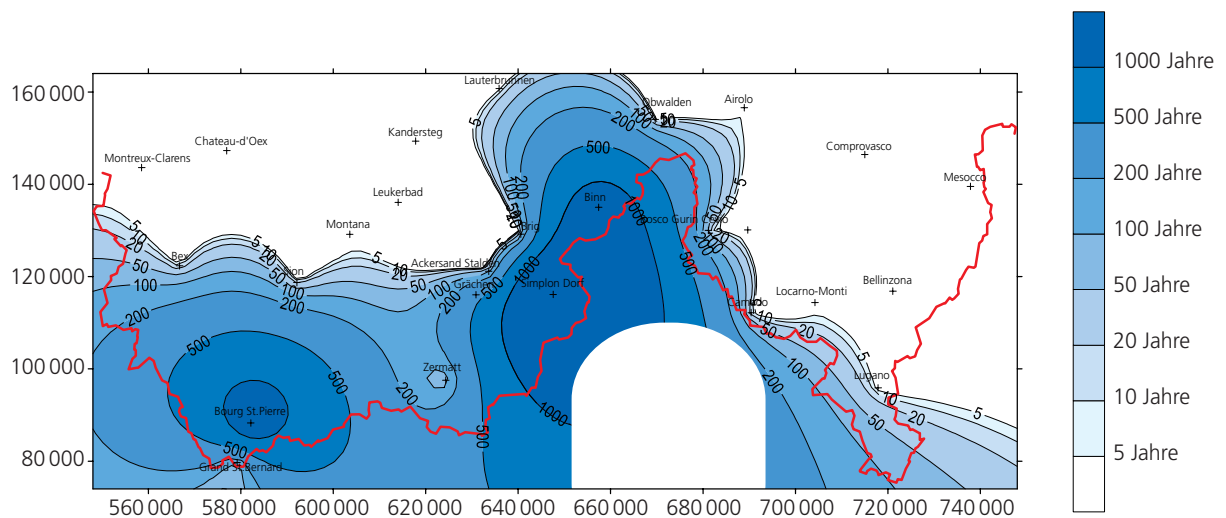


Fig. 2-19: Jährlichkeiten der 2-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000. Randskalierung: Schweiz. Landeskoordinaten in Metern.

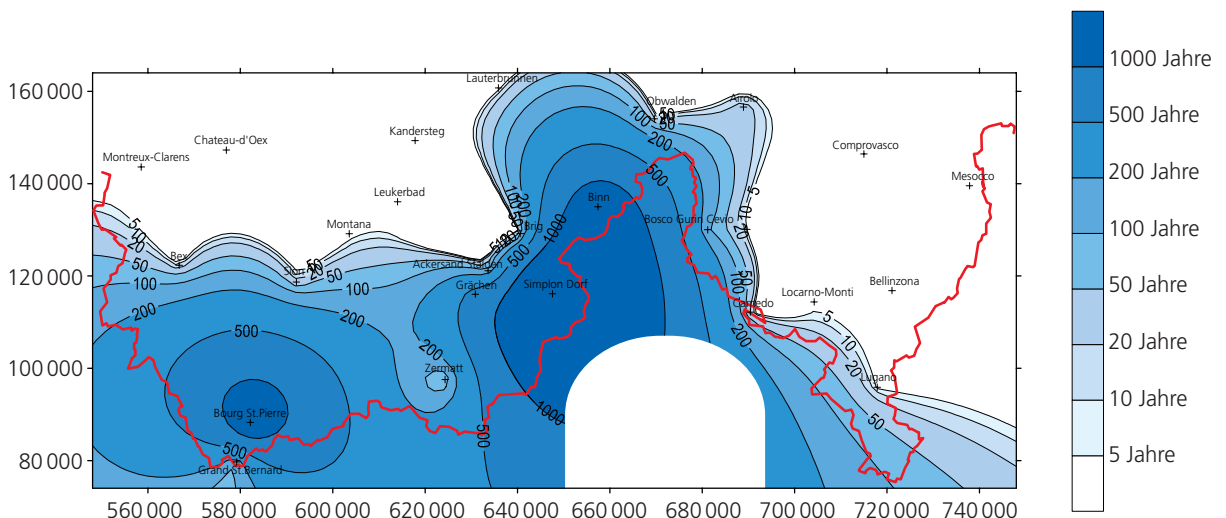


Fig. 2-20: Jährlichkeiten der 5-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000. Randskalierung: Schweiz. Landeskoordinaten in Metern.

2.2.6 Einordnung der Gebietsniederschläge vom Oktober 2000

Wie erwähnt wurden für das Ereignis vom Oktober 2000 die Niederschläge flächendeckend in Stundenauflösung extrapoliert. Daraus wurde der zeitliche Verlauf der Gebietsniederschläge für alle wichtigen Einzugsgebiete des Wallis und einige der angrenzenden Gebiete bestimmt. Aus diesen Niederschlagsganglinien wurden dann die in Tab. 2-3 dargestellten im Laufe des Ereignisses maximalen 3 Std., 24 Std. und 48 Std. Gebietsniederschläge berechnet.

Grebner und Roesch (1998) haben für verschiedene Regionen der Schweiz Wiederkehrperioden und obere Grenzwerte für Gebietsniederschläge bestimmt. Letztere sogenannten «maximal zu erwartenden Niederschlagsmengen», besser bekannt unter der englischen Bezeichnung «probable maximum precipitation» (PMP) sind als Kurven dargestellt (vgl. Fig. 2-21). Aus diesen Kurven lässt sich für ein Einzugsgebiet mit bekannter Grösse ablesen, mit welchen Niederschlagsmengen maximal in 3 Std., 24 Std. bzw. 48 Std. zu rechnen ist.

Der Vergleich der PMP Werte mit den beobachteten Niederschlägen im Oktober 2000 (vgl. letzte drei Spalten in Tab. 2-3) zeigt, dass in einigen Einzugsgebieten Niederschlagsmengen fielen, die nahe an die wahrscheinlichen maximalen Niederschläge herankommen, die für das Wallis hergeleitet wurden. So fielen in den Einzugsgebieten der Binna und des Krummbachs in 48 Stunden über 80% der auf das Wallis bezogenen Grenzwertabschätzungen. Allerdings befinden sich diese Gebiete noch im direkten Einflussbereich der südalpinen Niederschlagsbedingungen. Deren Niederschlagszentren liegen in der Regel im Raum Camedo, West-Tessin. Dort gelten deshalb höhere PMP-Werte als im Wallis. Die Niederschlagsaktivität bei Simplon im Oktober 2000 war mit den für Camedo typischen Verhältnissen ähnlich. Verglichen mit den für den Raum Camedo gültigen PMP Werten sinken die Niederschläge in der Binna auf 72% und im Krummbach auf 75% ab. Die Vergleichsangaben für das Grosse Wasser und für die Doveria in Tab. 2-3 beziehen sich bereits auf die für das Tessin gültigen PMP Verhältnisse.

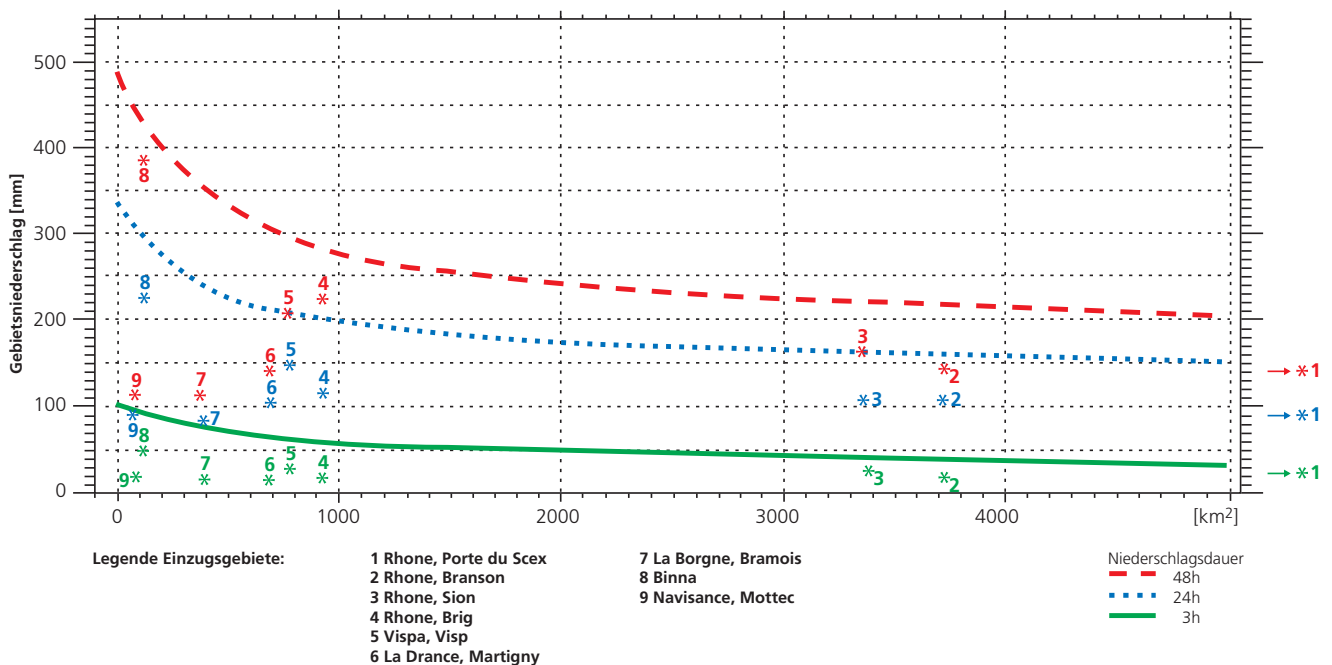


Fig. 2-21: Grenzwerte der Gebietsniederschläge für die Region Wallis – gesamt für die Niederschlagsdauern 3 Stunden (unten), 24 Stunden (Mitte) und 48 Stunden (oben) (Grebner und Roesch, 1998).

Gebiete sortiert	Fläche (km ²)	3 Std. PMP (mm)	24 Std. PMP (mm)	48 Std. PMP (mm)	2000 3 Std. N (mm)	2000 24 Std. N (mm)	2000 48 Std. N (mm)	% vom Grenz- wert 3 h	% vom Grenz- wert 24 h	% vom Grenz- wert 48 h
Rhone – Porte du Scex	5220.0	35	152	208	23	92	139	65	61	67
Grand Eau – Aigle	134.0	60	210	345	12	36	55	20	17	16
La Vièze – Monthey	145.2	58	208	340	13	44	58	23	21	17
Le Trient – Vernayaz	160.9	56	205	330	17	71	100	30	35	30
Drance de Bagnes – Le Chable	254.0	50	190	315	24	104	147	47	55	47
La Drance – Martigny	688.3	48	169	270	21	102	145	45	60	54
Rhone – Branson	3728.0	40	162	220	24	101	150	61	62	68
Lizerne	62.5	63	230	380	21	59	84	33	26	22
La Morge – Conthey	66.8	62	230	380	20	51	71	32	22	19
La Printse – Aproz	71.1	62	230	380	20	64	81	33	28	21
Rhone – Sion	3349.0	40	165	225	25	109	160	63	66	71
La Borgne – Bramois	387.5	50	180	292	22	86	115	45	48	39
La Navisance – Chippis	254.0	53	190	315	23	91	108	44	48	34
Navisance – Mottec	90.0	60	225	370	23	97	115	38	43	31
Dala – Leuk	55.5	64	238	388	30	82	89	47	34	23
Turtmanna – Turtmann	107.7	59	225	362	28	108	123	47	48	34
Lonza – Steg	161.9	56	205	330	32	109	132	57	53	40
Lonza – Ferden	124.2	59	212	347	32	109	140	53	51	40
Lonza – Blatten	78.0	62	230	380	30	106	143	48	46	38
Baltschiederbach	44.7	65	245	400	28	112	130	44	46	32
Vispa – Visp	789.6	65	210	300	30	149	210	47	71	70
Saaser Vispa – Saas Balen	202.7	86	270	400	36	177	308	42	66	77
Gamsa	38.9	98	320	470	33	153	244	34	48	52
Rhone – Brig	909.1	62	205	290	23	119	221	37	58	76
Saltina – Brig	77.9	90	310	455	37	177	334	41	57	73
Massa – Blatten	195.6	85	275	400	20	83	146	23	30	36
Binna	118.0	90	295	433	48	231	385	53	78	89
Rhone – Reckingen	217.3	85	268	390	17	84	158	21	31	40
Goneri – Oberwald	40.8	95	315	460	21	90	170	22	29	37
Rhone – Gletsch	40.7	95	315	460	10	42	72	10	13	16
Grosses Wasser – Gondo (TI)	37.0	225	565	630	64	302	503	29	53	80
Krummbach – Klusmatten	19.8	100	340	485	44	209	411	44	62	85
Lienne	76.9	60	225	370	17	42	52	19	14	12
Kelchbach – Naters	31.1	95	320	460	25	106	150	26	33	33
Doveria (TI gesamt)	123.3	180	500	600	47	232	440	28	45	73
Mundbach	22.9	100	320	470	26	107	135	29	33	29

Tab. 2-3: Maximale 3 Std., 24 Std. und 48 Std. Niederschläge, entsprechende PMP Werte sowie Anteile des Effektivniederschlags am PMP Wert für wichtige Einzugsgebiete im Wallis und in angrenzenden Gebieten.

Eine detailliertere Betrachtung der prozentualen Anteile der Oktober-Niederschläge zeigt Gruppierungen der Einzugsgebiete, die einerseits von der Gebietsgrösse, aber auch von ihrer Lage zum Niederschlagszentrum beeinflusst sind.

Gesondert zu betrachten sind dabei die grossen Einzugsgebiete der Rhone unterhalb von Sion mit je mehreren tausend Quadratkilometer Fläche. In diesen Gebieten wurde der PMP Wert bei allen 3 betrachteten Niederschlagsdauern zu ca. $\frac{2}{3}$ erreicht. In den mittleren und kleinen Einzugsgebieten dagegen lagen die Gebietsniederschläge in sehr unterschiedlicher Distanz zum PMP. Diese unterschiedlichen prozentualen Anteile resultieren aus dem Verlauf der Gebietsniederschläge, wie er sich aus dem in Kap. 2.2.2 erläuterten Ereignisverlauf ergibt und wie er im Anhang 8.1 dargestellt ist.

Eine erste Gruppe bilden diejenigen kleineren und mittleren Einzugsgebiete, die in der Nähe des Hauptniederschlagszentrums vom Oktober 2000 liegen. Dort, im Raum Simplon hielten die Niederschläge ununterbrochen an. Entsprechend machen die 48-stündigen Niederschläge bis mehr als 75% des PMP entsprechender Dauer aus, während die 24-stündigen Niederschläge und vor allem die Werte von 3 Stunden deutlich unter dem jeweiligen PMP liegen. So nimmt z.B. der Anteil des beobachteten Niederschlags am PMP im Einzugsgebiet des Grossen Wassers von 80% beim 48-stündigen Niederschlag auf ca. 50% beim 24 Stunden und auf nur noch etwa 30% bei 3 Stunden ab.

In den nördlich und westlich ans Hauptniederschlagszentrum angrenzenden Gebieten mit zwei Perioden maximaler Niederschlagsintensitäten (am 13. und 15.10.2000) ist der Anteil am PMP Wert bei den 48stündigen Niederschlägen bis etwa 70% am höchsten. Diese Prozentwerte, zu welchen der PMP erreicht wurde, nehmen mit wachsender Distanz vom Hauptniederschlagszentrum rasch ab. So erreichte der Niederschlag in der Saltina für alle Zeiträume etwa doppelt so hohe Anteile am PMP Wert wie in der Massa nur wenig nördlich davon.

Nördlich bzw. östlich des Raumes Brig-Visp zeichnet sich nur noch eine Phase mit maximalen Niederschlagsintensitäten am Morgen des 15.10.2000 ab. Hier ist das Verhältnis zwischen den maximalen 3- und 24-stündigen Niederschläge und den jeweiligen PMP Werten zwangsläufig höher, als die beobachteten maximalen Niederschläge für 48 Stunden. Je weniger stark eines dieser Gebiete vom Ereignis betroffen war, desto eher ist der Anteil des maximalen 3-stündigen Niederschlags am PMP grösser als jener für 24 Stunden.

Im unteren Wallis – besonders unterhalb von Martigny – wo sich wieder 2 Niederschlagsphasen abzeichnen

(14. und 15.10.2000), verschiebt sich der höchste Anteil am PMP wieder zum 24-stündigen Niederschlag.

Fazit

Die Dauer der Niederschläge vom 10. bis 16. Oktober 2000 und in weiten Teilen auch die Niederschlagsleistung waren aussergewöhnlich. Sie konzentrierten sich in der Schweiz überwiegend auf den Raum Simplon und das obere Wallis, reichten aber über das gesamte Wallis, mit einem relativen Schwerpunkt im Raum Grand St. Bernard.

Die am Maximaltag, den 13.10.2000, gefallenen Niederschläge sind in der Kernzone um Simplon extrem, im übrigen Wallis jedoch noch leicht geringer als im Vergleichsfall September 1993. Durch die mehrtägige Dauer der intensiven Niederschlagsphase etwa vom 13. bis gebietsweise zum 16.10.2000 war das Ereignis nicht nur in der Kernzone, sondern besonders auch im Raum Grand St. Bernard und weitgehend im übrigen Wallis sehr bis extrem niederschlagsreich. In Simplon Dorf, beim Niederschlagszentrum fielen an einem Tag 250 mm, an zwei Tagen 500 mm und im gesamten Ereignis über 700 mm. Dies entspricht etwa dem Doppelten der bereits als sehr selten eingestuften Niederschläge im September 1993. Im Raum Grand St. Bernard waren die Beträge zwar kleiner, aber in Bezug auf das trockenere Klima ebenfalls extrem. In beiden Hauptzonen erreichten die Gebietsniederschläge einzelner Einzugsgebiete für zwei Tage gegen 80% des wahrscheinlichen maximalen Niederschlags (PMP).

2.3 Temperaturverlauf und Schneefallgrenze

Dietmar Grebner, Christoph Hegg

2.3.1 Einleitung

Die Temperatur ist als Parameter für die Evapotranspiration, die Höhenlage der Schneefallgrenze und die Schneeschmelze bei der Abflussbildung von Bedeutung. Die Evapotranspiration ist während Extremniederschlägen vernachlässigbar. Hingegen sind gerade während solchen Fällen der zeitliche Verlauf der Schneefallgrenze und der Schneeschmelze wesentlich. Sie entscheiden in Gebieten mit grosser vertikaler Erstreckung wie im Wallis, das von 400 bis 4500 m ü. M. reicht, über den Niederschlagsrückhalt als Schneedecke bzw. den Abflusszuschuss aus der Schneedecke in mehr oder weniger breiten Höhenzonen.

Als Messquellen für die Diskussion des räumlichen und zeitlichen Temperaturverlaufs stehen die Radiosondierungen von Milano und Payerne sowie die Temperaturregistrierungen an den ANETZ-Stationen und an den IMIS-Stationen (siehe Kap. 2.3.3) zur Verfügung. Die Radiosondierungen geben die Bedingungen in der freien Atmosphäre wieder (Fig. 2-1). Die ANETZ- und IMIS-Stationen registrieren die bodennahe Temperaturentwicklung (Fig. 2-2 und Fig. 2-22 sowie Fig. 2-24, Fig. 2-25 und Anhang). Der von den beiden Radiosondenstationen erfasste Temperaturverlauf (Fig. 2-1) bildet die generelle d.h. die synoptische Entwicklung ab. Dies gilt in gewissem Rahmen auch für die 6-stündige Darstellung der ANETZ-Messungen in Fig. 2-2.

Die beiden Radiosondenstationen vertreten in der Wetterlage vom Oktober 2000 zwei unterschiedliche Positionen. Milano lag auf der Ostseite des Tiefdrucktrog (Fig. 2-27, rechte Spalte) in der zunehmend gegen die Alpensüdseite geführten Warmluft (Fig. 2-1, und Kap. 2.3.2 und 2.4). Payerne befand sich zunächst im Übergangsbereich von der Warmluft in die Kaltluft im Trog (Fig. 2-27, rechte Spalte Mitte und Fig. 2-1) und wurde erst in der Wetterentwicklung ab 14.10.2000 von der Warmluft erreicht.

Die bodennahen Messstationen befinden sich direkt im betroffenen Gebiet. Durch ihre Anzahl und ihre hohe zeitliche Auflösung erfassen sie feinere räumliche und zeitliche Variabilitäten der Temperatur. Diese setzen sich aus verschiedenen Ursachen zusammen. Dies sind feinere Schwankungen während der Wetterentwicklung sowie Veränderungen der Temperatur in der bodennahen Luftschicht durch starken Niederschlag, die lokal in stark gegliedertem Gelände, wie z. B. auf der orographisch linken Seite des Wallis,

spontan verschärft auftreten können. Die bodennahen Temperaturprozesse führten im Oktober 2000 zu abflusswirksamen räumlichen Unterschieden in der Schneefallgrenze.

2.3.2 Temperaturverlauf im Wallis vom 10. bis 16. Oktober 2000

Für die Temperaturentwicklung in der ersten Hälfte des Ereignisses, vom 10. bis 14.10.2000, ist für die betroffenen Gebiete die Radiosondierung von Milano repräsentativ (Fig. 2-1). Sie zeigt mit der Strömungsdrehung von West über Südwest auf südöstliche Richtung (Fig. 2-27, rechte Spalte Mitte und unten) eine Temperaturzunahme (Fig. 2-22). Die Nullgradgrenze überstieg ab 13.10.2000 anhaltend 3000 m ü. M. Die berechnete Schneefallgrenze verlief dabei auf 2800 m ü. M. und zeitweise darüber (Fig. 2-1). Die Temperaturmessungen der Bodenstationen im Tessin und Wallis verhielten sich etwa parallel (Fig. 2-2). Auch aus ihnen lässt sich eine Nullgradgrenze bis 3200 m ü. M. abschätzen. Somit ist bis Ende des 14.10.2000 unterhalb rund 2800 m ü. M. mit flüssigem Niederschlag zu rechnen. Ausserdem deutet der Schneedeckenrückgang bis in diese Höhenlage neben der Setzung zu einem wesentlichen Teil Schneeschmelze an (vgl. Kap. 2.3.3 und Anhang Fig. 8-2).

In der 2. Hälfte des 14.10.2000 endete der näherungsweise parallele Temperaturverlauf der verschiedenen Messquellen. Zu unterschiedlichen Zeitpunkten begann ein allgemeiner Temperaturrückgang (Fig. 2-1, Fig. 2-2, Fig. 2-22 und Anhang). Ihm war lokal im Raum Zermatt am Morgen des 15.10.2000 noch ein bis zu 12stündiger Einbruch bis zu etwa 5 °C überlagert (Fig. 2-22). Dadurch ging in dieser Zeit – in welcher meist hohe Abflusskoeffizienten erreicht waren – der verbreitet noch einmal zunehmende Niederschlag (Fig. 2-2) teilweise in Schneefall über (Kap. 2.3.3).

Für den generellen Verlauf der Temperatur war die Wanderung des südalpinen Tiefs nach dem 13. Oktober 2000 (Grebner et al., 2000) verantwortlich. Auf der Ostseite des Tiefs wurde Warmluft über das Tessin und das Goms in das Wallis bis etwa Genf geführt. Entsprechend zeitlich gestaffelt, mit lokal bedingten Schwankungen, stellte sich im Laufe des 14. Oktober 2000 ein Temperaturmaximum ein (Fig. 2-2 und Fig. 2-22 sowie Aschwanden in Grebner et al., 2000). Ab 14. bis 16. Oktober 2000 verlagerte sich das Zentrum des Tiefs von Barcelona aus über Genua nach Brüssel. Dadurch verschob sich die Warmluftzufuhr nach Osten. Im Wallis rückte talaufwärts die Kaltluft des Tiefs nach. An der Kaltfront, als Grenze zur Warmluft, entstand das erwähnte zweite Nieder-

schlagsmaximum bzw. in gewissen Zonen die Hauptaktivität (Fig. 2-2).

Niederschlag in der geographischen Breite der Schweiz wird über die Eisphase d.h. im betrachteten Ereignis zunächst als Schnee gebildet. Beim Fallen der Partikel durch Luftschichten mit Temperaturen über 0 °C tritt Schmelze ein. Sie entzieht der Luft Wärme. Die Abkühlung hängt von der vertikalen thermischen Schichtung der Luft und der Niederschlagsintensität ab. Somit ist ein Teil des allgemeinen Temperaturrückgangs vom 14. zum 15.10.2000 diesem Wärmeverlust durch Niederschlag zuzuschreiben.

Die Abkühlung durch beide Ursachen zeichnete sich vor allem in der Zone Grand St. Bernard, Evolène, Visp und Zermatt ab. Vom Maximum bis Ende des 14.10.2000 ergibt sich in dieser Zone eine Abnahme zwischen 5 und 6 °C. Der Rückgang trat auch an den hoch gelegenen Stationen d.h. ohne schmelzenden Schneefall auf – Zermatt (um 5.5 °C), Arolla-Berona (um 5.7 °C) und Saas-Schwarzries (um 5.3 °C) (s. Anhang 8.2) – und bestätigt den Beitrag durch die Kaltluft. Auch an den anderen Stationen ist dieser Vorgang bis zum einem Temperaturminimum am 15.10.2000 (Fey, Montana) oder, im oberen Teil des Wallis, als sekundäres Minimum (Ulrichen) zu erkennen, je nach Distanz von der Spur des Kaltluftzentrums und je nach Niederschlagsintensität (Fig. 2-22). Lokal ist in einzelnen Tälern noch eine Verschärfung des Temperaturrückgangs durch Wärmeverlust bei schmelzendem Schneefall möglich, wenn die absinkende Nullgradgrenze etwa das Niveau der Randkämme erreicht und die Durchlüftung des Tales eingeschränkt ist. So ist im vorliegenden Ereignis anzunehmen, dass die Temperatureinbrüche in Evolène und Zermatt (Fig. 2-22), eventuell auch in weiteren, nicht mit Messungen belegten Tälern dieser Zone, unter diesen Bedingungen entstand.

Der Verlauf von Temperatur, Niederschlag sowie von allen weiteren meteorologischen Variablen setzt sich aus synoptisch typischen, synoptisch spezifischen und rückgekoppelt lokalen Eigenschaften zusammen.

Typisch ist unter anderem ein Rückgang der bodennahen Lufttemperaturen gegen Ende eines Starkniederschlagsereignisses (Grebner und Richter, 1991; Grebner, 1994). Der grösste Teil der Ereignis-Niederschlagssumme ist dann jedoch schon gefallen. Spezifisch können aus besonderen vertikalen Schichtungsgründen südalpin und in einer angrenzenden inneralpinen Zone mit dem Temperaturfall noch kurze sehr abflusswirksame Niederschlagsspitzen auftreten (Jordan und Hohl, 1991; Grebner und Roesch, 1993). Spezifisch für das Ereignis im Oktober 2000 waren die Wanderung des Tiefzentrums und seine Verwirbelungsstadien dabei, sowie die geringe Höhenlage der

0 °C-Grenze über den Randkämmern einzelner Seitentäler. Diese Situation bestimmte im untersuchten Fall den beschriebenen besonderen Temperaturverlauf einschliesslich lokaler Reaktionen und die Niederschlagsaktivierung am 15. Oktober fest (Fig. 2-22).

Der Vergleich mit der Temperaturentwicklung im September 1993 macht typische und spezifische Elemente deutlich (Fig. 2-23). Grob skalig blieben in der Warmluft am 22. und 23. September 1993 die Höhenlage der 0 °C-Grenze (auf ca. 3500 m ü. M.) und die bodennahen Temperaturen wenig verändert (Grebner, 1994). Ab Mitte des 23. September begann durch die Annäherung des Tiefs von Barcelona gegen Marseille ein allmählicher Temperaturrückgang. Gleichzeitig nahm der Niederschlag im Raum Simplon und Wallis bis zu ihrem Maximum am 24.9.1993 markant zu (Kap. 2.2.3, und Grebner, 1994). Das Zentrum des Tiefs zog im Weiteren auf der Spur von Barcelona aus über Marseille und Köln ab (Spur im Oktober 2000: Genua – Brüssel). Der Raum Wallis blieb deshalb im September 1993 von der Kaltluft im Tief nur tangiert. Erst ab 26. September, d.h. nach den Niederschlägen, wurde die Region an der Südseite des Tiefs noch etwas stärker durch die Kaltluft überflossen. Lokale Temperatureinbrüche im Raum Wallis sind deshalb nicht zu erwarten und auch in den Registrierungen nicht auszumachen (Fig. 2-23). Einerseits lag die 0 °C-Grenze relativ hoch über den Randkämmen der Täler, sodass der schmelzende Schneefall nicht nur auf das positive Wärmevermögen in den individuellen Tälern angewiesen war. Der Temperaturknick am Nachmittag des 24. September (Fig. 2-23) z.B. ist als synoptisch-niederschlagsbedingt zu beurteilen, da nicht nur Stationen in den Seitentälern, sondern auch die Höhenstation Grand St. Bernard gleichermassen reagieren. Andererseits lief im Septemberfall 1993 auch die Entwicklung der Zirkulation in der freien Atmosphäre im Detail anders ab als im Oktober 2000.

Am 15. Oktober 2000 handelte es sich also nicht um eine als typisch zu bezeichnende Entschärfung der Abflussbildung durch den temperaturbedingten teilweisen Übergang von Regen in Schneefall. Die damals eingetretene nochmalige Niederschlagswelle wäre auch ohne Temperatureinbruch, d. h. als Regen denkbar.

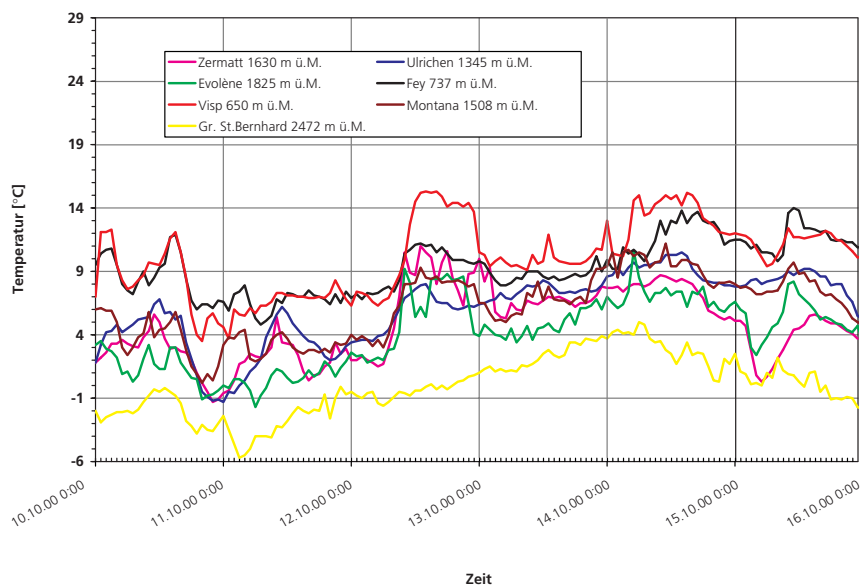


Fig. 2-22: Temperaturverlauf an den ANETZ Stationen der MeteoSchweiz im Wallis beim Ereignis vom Oktober 2000.

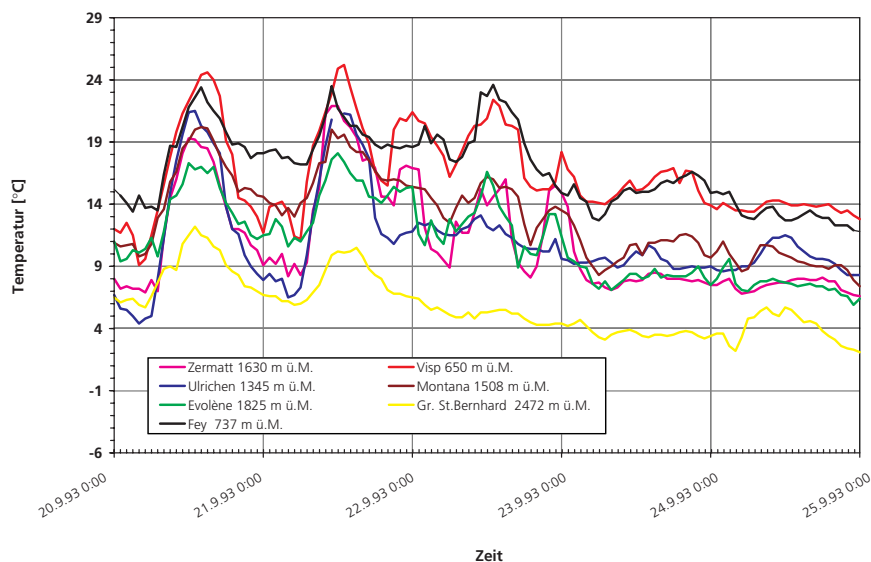


Fig. 2-23: Temperaturverlauf an den ANETZ Stationen der MeteoSchweiz im Wallis beim Ereignis vom September 1993.

2.3.3 Analyse der Schneedeckenbildung am Morgen des 15. Oktobers 2000

Das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos betreibt zusammen mit den Gebirgskantonen in der Schweiz über 60 sogenannte IMIS Stationen (Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung). Diese Stationen sind unter anderem mit Sensoren zur Erfassung der Lufttemperatur und der Schneehöhe ausgerüstet. Dadurch erlauben sie bei Niederschlag zwischen Regen und

Schnee zu unterscheiden. Ausserdem ergeben die IMIS-Stationen zusammen mit dem meteorologischen ANETZ der MeteoSchweiz ein dichteres Temperaturmessnetz.

Im Wallis liegen alle der 23 Stationen zwischen 2000 und 3000 m ü. M. (Fig. 2-24). Als Beispiele für deren Messungen sind in Fig. 2-25 die Registrierungen von Saas-Seetal (2480 m ü. M.) und Simplon-Alpjer (2620 m ü. M.) dargestellt. Die weiteren Messungen des IMIS-Netzes vom Oktober-Ereignis befinden sich im Anhang 8.2.

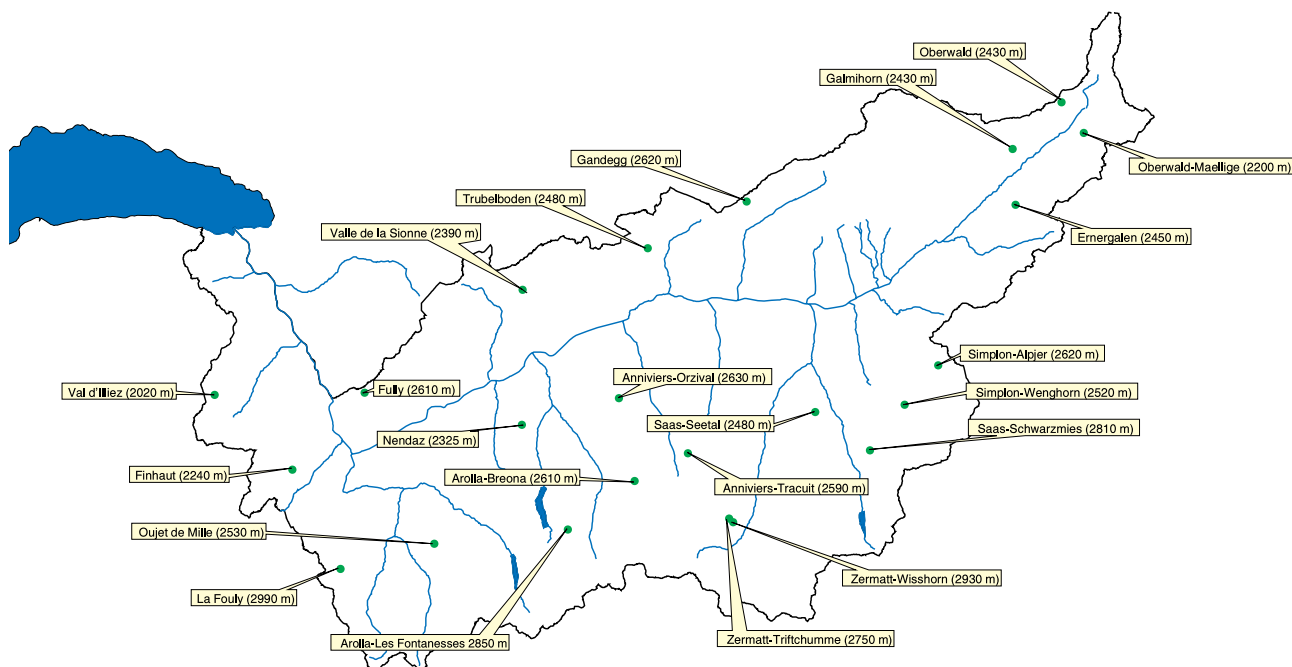


Fig. 2-24: Karte der IMIS-Stationen (Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung, SLF) im Kanton Wallis.

Die in Kapitel 2.3.2 beschriebene Temperaturentwicklung hatte spezifisch differenzierte Veränderungen in der Schneedecke zur Folge. Parallel zu der in Milano angezeigten Temperaturzunahme der freien Atmosphäre bis 14.10.2000 (Fig. 2-1) ist wie erwähnt unterhalb von 2800 m ü.M. während der ersten Niederschlagswelle am 13.10.2000 ausser in Goms und Simplon ein Schneedeckenrückgang zu beobachten (s. Anhang 8.2). Er betrug in 12 Stunden je nach Höhenlage und lokalen Bedingungen bis 6 cm. Ein Teil davon war vermutlich Setzung. Oberhalb von 2800 m ü. M. ging der Niederschlag bis zur Nullgradgrenze der freien Atmosphäre von Regen in Schneefall über (Kap. 2.3.2).

Der in Milano angezeigte Temperaturanstieg vom Ende des 12.10.2000 trat an den IMIS-Stationen im Wallis etwa 12 Stunden verschoben auf. Diese Verschiebung setzte sich vermutlich aus dem Wärmeverlust der Luft an der Schneedecke insbesondere im Schmelzniveau unterhalb von 2800 m ü.M. und der zunehmenden Warmluftzufuhr zusammen (Kap. 2.3.2). Die hochgelegenen Stationen reagierten tendenziell mit weniger Verzögerung auf den Temperaturanstieg.

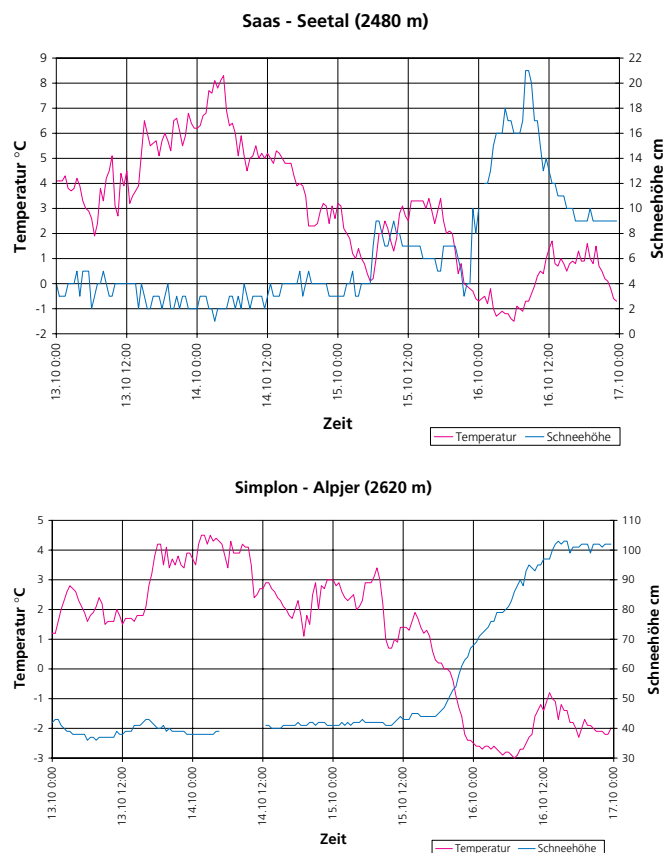


Fig. 2-25: Verlauf von Temperatur und Schneefallgrenze an benachbarten Stationen im Gebiet Saastal und Simplon.

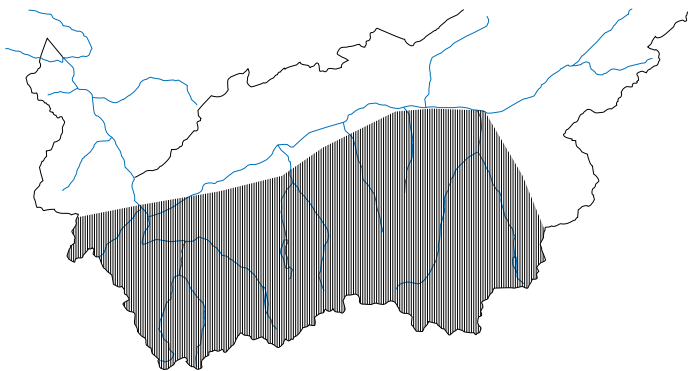


Fig. 2-26: Lage der ungefähren Grenze zwischen den von der Abkühlung betroffenen Regionen im Wallis und jenen, die davon nicht betroffen waren.

Von besonderem Interesse ist die Temperatur- und Schneedeckenentwicklung am 14. bis in die erste Hälfte des 15.10.2000, da in dieser Phase mit der zweiten Niederschlagswelle (Fig. 2-2 und Kap. 2.2.2) am Anfang des 15.10.2000 der Verlauf der Wetterlage und lokale Rückkoppelungen die Schneefallgrenze wieder absinken liessen (Kap. 2.3.2).

Nach dieser Temperaturentwicklung ist zu Beginn des 15.10.2000, d. h. zu Beginn der zweiten Niederschlagswelle, die Schneefallgrenze allgemein zwischen 2700 und 2600 m ü. M. anzunehmen. Die Stationen über 2700 m ü. M. registrierten Schneedeckenzuwachs.

Der von der Wetterentwicklung bedingte Temperaturrückgang hielt bis zum 15.10.2000 ca. 6 Uhr an. An den Stationen Evölène, Zermatt (Fig. 2-22 und Fig. 2-2) sowie Saas-Seetal (Fig. 2-25) und Nendaz-Essertse (Anhang 8.2) ging der Verlauf ab 15.10.2000 in einen bereits erwähnten markanteren Einbruch über. Dieses Verhalten deutet auf den raschen Verbrauch an positivem Wärmeevolumens in einzelnen Tälern durch schmelzenden Schneefall hin. An den IMIS-Stationen Saas-Seetal (2480 m) und Nendaz (2325 m), d. h. in Höhenlagen, die sich deutlich unter der allgemeinen Schneefallgrenze befanden, stieg dadurch die Schneedecke spontan an.

An den Stationen des oberen Wallis und in Simplon wurde ein Schneedeckenaufbau erst in der Kaltluftzufuhr am Ende des Niederschlagsereignisses registriert (Kap. 2.2.2, Anhang 8.2).

Fazit

In der ersten Niederschlagswelle, vom 13.14.10. 2000, die vor allem den Raum Simplon betraf, lag die Schneefallgrenze bei 2800 m ü. M. oder höher. Dadurch trat im grössten Teil des Niederschlagsgebietes Regen auf. Gleichzeitig war noch bis auf Höhen um 2700 m ü.M. Schneeschmelze zu beob-

achten. Bei der zweiten Niederschlagswelle, am 15.10.2000, wurde ein noch grösseres Hochwasser in der Rhone durch ein allgemeines Absinken der Schneefallgrenze in der unteren Hälfte des Wallis bis auf Höhen um 2600 m ü.M. herunter verhindert. Der dafür verantwortliche Temperaturrückgang setzte sich aus der Entwicklung der Wetterlage und einem Wärmeverlust durch schmelzenden Schneefall zusammen. In einzelnen schlechter ventilierten Tälern, die oben durch die Nullgradgrenze überlagert waren, sank die Schneefallgrenze noch weiter 200 bis 300 m tiefer ab.

2.4 Wetterlagen mit Süd- und Inneralpinen Starkniederschlägen

Dietmar Grebner

Im Raum Tessin und Wallis traten in der jüngsten Vergangenheit vor dem Ereignis vom Oktober 2000 am 24./25. August 1987 (Grebner und Richter, 1991; Grebner, 1993) und vom 22. bis 24. September 1993 (Grebner, 1994) Starkniederschläge mit markanten Hochwasserfolgen auf. Es bietet sich deshalb ein Vergleich der jeweiligen meteorologischen Verhältnisse dieser Ereignisse an. Die atmosphärischen Eigenschaften zur Niederschlagsproduktion und die Abflusswirksamkeit der Niederschläge durch die Temperaturentwicklung während der Ereignisse werden getrennt betrachtet (Kap. 2.2.2 bis 2.2.3 und 2.3). Die drei Ereignisse werden nachfolgend abgekürzt mit Oktober 2000, August 1987 bzw. September 1993 bezeichnet.

2.4.1 Atmosphärische Eigenschaften zur Entstehung von Starkniederschlägen

Ein Niederschlagssystem in der Atmosphäre besteht aus der Druck- und Strömungsverteilung, den Flüssen von Temperatur und Wasserdampf und aus den Temperatureigenschaften der beteiligten Luftmassen. Ihre massgebenden Zustände und Entwicklungen während der drei Ereignisse werden nachfolgend im Scale der synoptischen Beobachtungsnetze, insbesondere der Radiosondierungen und Wetterkarten der verschiedenen Höhengniveaus betrachtet und verglichen. Ereignisanalysen zeigen, dass Starkniederschläge mit räumlich ausgedehnten Hochwasserfolgen in den beiden Gebieten Tessin und Wallis an bestimmte Voraussetzungen gebunden sind. Diese sind auch in den 3 erwähnten Fällen zu beobachten:

- a) Es handelt sich grundsätzlich um zyklonale Niederschlagsprozesse, d. h. um die Thermodynamik in Tiefdruckgebieten und an ihren Fronten. Reine

Schaueraktivitäten betreffen nur Teileinzugsgebiete. Allerdings sind auf der Alpensüdseite konvektive Verstärkungen von zyklonal bedingten Niederschlägen eine begleitende Ursache für hohe Niederschlagsmengen.

- b) Die höchsten Niederschlagsmengen treten nur bei südlicher Anströmung der Luft gegen die Alpen auf. Die Tiefdruck- oder Trogzentren sind dann in einer Zone um die Achse Schottland – Sardinien zu finden. Für Starkniederschläge im Wallis ist die optimale Anströmungsrichtung Südsüdost (Grebner und Roesch, 1998).
- c) Die massgebenden Druck- und Strömungszustände sind hochreichend bis zur Tropopause. Ihre vertikalen Achsen weisen höchstens noch eine geringe Neigung auf und die Hauptniederschläge treten auf der warmen Seite der Strömungsachse auf (Grebner et al., 1998).
- d) Ein relatives Strömungsmaximum in der unteren Atmosphäre bei etwa 1500 m ü. M. sowie horizontale Konvergenz in den südalpinen Gebirgsbogen hinein tragen wesentlich zur Ergiebigkeit eines Ereignisses bei (Browning, 1990; Buzzi et al., 1995 b).
- e) Die vertikale Strömungsschichtung besitzt eine Höhendivergenz.
- f) Ebenso besteht eine positive Korrelation zwischen der Niederschlagsleistung eines Ereignisses und der Fliessstrecke der Luft über das Mittelmeer, dem Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre und der vertikalen Stabilität. Die thermischen Bedingungen in Tiefdruckgebieten einerseits und der Wasseroberfläche andererseits sind für die Wasserdampfaufnahme vor allem im Spätsommer und Herbst günstig (Grebner und Roesch, 1998).
- g) Je weniger ein Niederschlagssystem seine Position verändert, um so mehr seines Niederschlages fällt auf die Grundfläche dieses Systems.

Unterschiede von Ereignis-Niederschlägen ergeben sich aus unterschiedlichen Ausprägungen dieser Zustände. Der für den Abfluss entscheidende Verlauf der Schneefallgrenze und der Niederschlagsintensität während der Ereignisse ist die Folge des zeitlichen Ablaufs dieser Zustände in einem Ereignis. Diesbezüglich differenzieren sich die drei zu vergleichenden Ereignisse wie folgt:

Verteilung von Druck, Temperatur und Strömung: Bezüglich Druck- und Strömungsstruktur waren die Ereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000 sehr ähnlich: d.h. Trogbildung über Westeuropa, Abschnürung eines abgeschlossenen Tiefs mit Zentrum über Nordostspanien, Wanderung des Tiefs in nördliche Richtung über die Alpen (Fig. 2-27). Allerdings

bestehen grosse Unterschiede in der Ablaufgeschwindigkeit. Das September-Ereignis war nach rund 3 Tagen beendet und ist damit fast eine Art Zeitraffer der annähernd 7-tägigen Entwicklung im Oktober 2000. Als weitere Unterschiede sind dabei im Oktober eine etwas östlichere Zugbahn des Tiefzentrums über die Alpen (Kap. 2.3), höhere Temperaturgegensätze im Trog (Gradient zwischen Balearen und Korsika) und dadurch höhere Geschwindigkeiten der südlichen Anströmung als im September 1993 festzustellen. Die Zugbahn des Tiefs und die begleitende Kaltluft hatte im letzten Ereignisviertel des Oktober 2000 einen Rückgang der Temperatur und der Schneefallgrenze zur Folge. – Die Niederschläge entstanden jeweils in der Konvergenz der Frontalzone, die von Südwest auf Südsüdost drehend gegen den Alpensüdhang gerichtet war. Die Drehung war im Oktober 2000 ausgeprägter. Durch sie reichten ihre Niederschlagsfelder typischerweise zunehmend noch ins Wallis hinein (Kap. 2.2.2; Grebner et al., 1998).

Im August 1987 fand im Gegensatz zu den beiden beschriebenen Fällen die Konvergenz und Hebung der mediterranen Warmluft in der Rotation eines sekundären Tiefs bei Como statt (Fig. 2-28 und Grebner et al., 1998). An seinem Nordrand war sie oberhalb des Alpenkamms und auf der Alpennordseite gegenläufig zur kalten Nordwestströmung des Haupttiefs über Belgien.

Wasserdampfgehalt: Die Wasserdampfgehalte in der Atmosphäre der 3 Fälle lagen zwischen 35 und 38 mm und unterschieden sich damit nur wenig. Allerdings zeigte sich der Oktober 2000 vor allem am 13. in der bodennahen Schicht bis 1500 m ü. M. etwas feuchter. Ausserdem resultieren bei ähnlichen Wasserdampfgehalten unterschiedliche Niederschlagsleistungen durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten.

Lokale Niederschlagssummen: Die Niederschlagssumme eines Ereignisses in einem Gebiet ist das Produkt aus Intensität und Dauer eines Niederschlagssystems. Strömungseigenschaften, Wasserdampfgehalt und vertikale Stabilität der Atmosphäre bestimmen die Intensität. Die Dauer ist begrenzt durch die Abwanderung des Systems oder durch den Abbau des Niederschlagsantriebs im System. Sowohl im Oktober 2000 als auch im September 1993 war die Dauer primär durch Abwanderung der notwendigen Strömungszustände begrenzt. Die aussergewöhnlich lange Dauer bis zu diesem Zeitpunkt im Oktober 2000 steht zum September 1993 im Verhältnis von gut zwei zu eins, das sich entsprechend auf die Gesamtsummen der Niederschläge auswirkt. Die Dauer im Oktober 2000 lässt sich in zwei Phasen betrachten: 1) einer Entwicklungsphase des Trog bis zum 13.10.2000 (Fig. 2-27, rechte Spalte Mitte) mit südalpiner Südwestanströmung

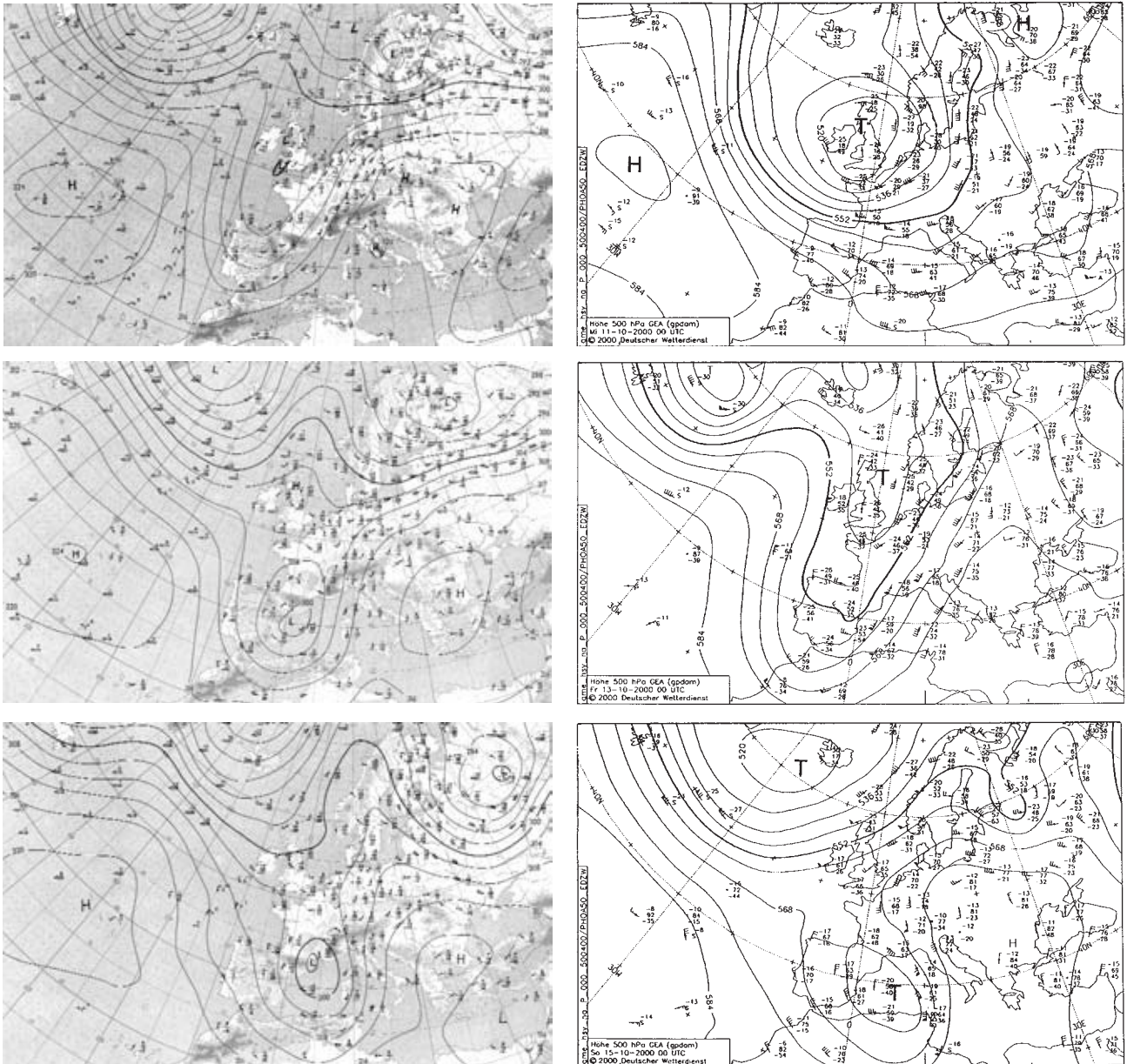


Fig. 2-27: Druck- und Strömungszustand (linke Spalte) an den Tagen 22., 23., 24. September 1993 jeweils 12 Uhr UTC (Weltzeit) in 700 hPa, (rechte Spalte) 11., 13., 15. Oktober 2000 jeweils 0 Uhr UTC in 500 hPa (DWD).

und Niederschlagszentrum im Westtessin; und 2) ab 13.10.2000 einer Abspaltung des Trog zu einem abgeschlossenen Tief bei Barcelona (Fig. 2-27, rechte Spalte unten) und späterer Verlagerung (Kap. 2.3) mit Strömungsdrehung auf Südsüdost und Niederschlagszentrum bei Simplon (Grebner et al., 2000). Der Übergang von der einen zur anderen Phase fand ohne wesentliche Ortsveränderung der süalpinen Niederschlagsbedingungen statt. Lediglich die Verschiebung des Zentrums durch die Strömungsdrehung brachte eine gewisse Aufteilung der Gesamtsumme.

Im August 1987 war die Niederschlagsdauer primär durch die Lebensdauer des sekundären Tiefs begrenzt (Fig. 2-28). Die Niederschlagssumme des Ereignisses entspricht deshalb der Niederschlagsproduktion in der Atmosphäre, ohne räumliches Verschmieren durch Wanderung. Wegen der vergleichsweise kurzen Dauer von rund 1.5 Tagen bleibt die Gesamtsumme hinter den beiden anderen Ereignissen zurück.

Intensitätsverlauf und Spitzenintensitäten: Im Intensitätsverlauf vom Oktober 2000 wurden für das Gebiet Tessin und Raum Simplon am 13.10.2000 die maxima-

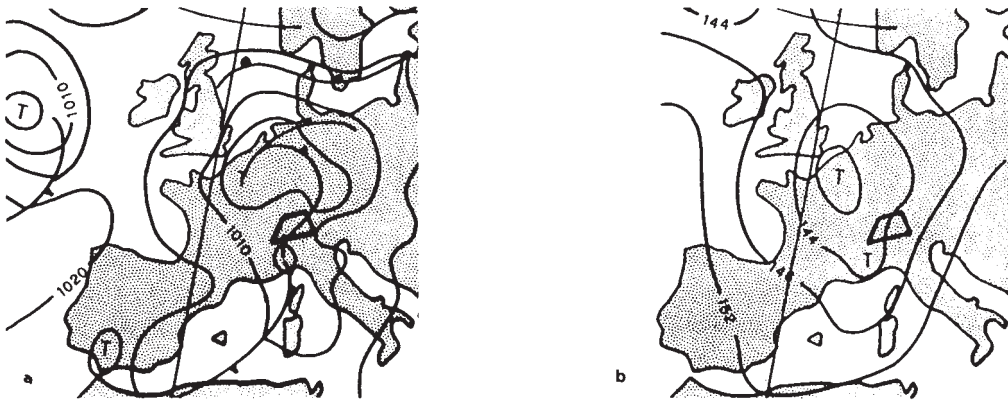


Fig. 2-28: Massgebender Druck- und Strömungszustand während des Ereignisses im August 1987 (Kartenzeitpunkt 25.8.1987, 00 h UTC). a) am Boden, b) in 850 hPa.

len Bedingungen erreicht. Sie lagen zeitlich anfangs der zweiten Hälfte der Gesamtdauer und mengenbezogen im Tessin nach rund 50% bzw. bei Simplon nach 15%. Mehrfache Spitzenwerte über den generellen Verlauf zwischen 10 und 15 mm/h hinaus (Fig. 2-7) deuten auf eine hohe vertikale (latente) Instabilität in dieser Strömungsphase hin und trugen wesentlich (bis 30%) zu den extremen Tagessummen bei (Kap. 2.2.2). Im unteren Wallis erreichten die Intensitäten ihr Maximum verschoben am 15.10.2000 (Fig. 2-2), d. h. auch hier innerhalb des Ereignisses, aber mit geringerer Variabilität.

Beim Niederschlagssystem vom September 1993 nahmen hingegen durch die gleichzeitige Entwicklung und Nordwanderung des Tiefs die Intensitäten mit der Zeit zu und erreichten ihr Maximum am Ereignisende. Die verfügbaren Messungen lassen auf eine geringere Variabilität als im Oktober 2000 jedoch auf einen intensiveren generellen Verlauf zwischen 15 und 20 mm/h schließen (Grebner, 1994; s.auch Fig. 2-12). Eine Besonderheit im Intensitätsverlauf ermöglichen Zirkulationen wie im August 1987. Mit der Entwicklung des sekundären Tiefs erreichten die Intensitäten bis zur Mitte der Gesamtdauer zunächst ihr zirkulationsbedingtes Maximum. Mit dem Wirbelabbau drang die nordalpine Kaltluft auf die Südseite vor und löste in der Warmluft, vor allem der Täler, am Ende des zyklonalen Niederschlags konvektionsartige Intensitäten gegen 50 mm/h mit hoher Abflusseffizienz aus (Grebner und Richter, 1991; Jordan und Hohl, 1991). Ein ähnlicher Vorgang ist für die schweren Schäden z.B. im Centovalli, am 8. August 1978, anzunehmen. *Niederschlagsfelder:* Die beschriebenen Druck- und Strömungsverteilungen erzeugten bei den Niederschlagsfeldern typische Strukturen. Im Oktober 2000 und im September 1993 waren die Niederschlagssysteme auf die Alpensüdseite konzentriert und reichten noch bis ins Wallis hinein, wo in solchen Fällen die

kammnahe Zone des Südrands am stärksten betroffen ist (Kap. 2.2.2, Tab. 2-3; Grebner und Roesch, 1998; Grebner et al., 2000).

Druck- und Strömungsverteilungen wie im August 1987 ergeben eine völlig andere, aber wiederum typische Niederschlagsverteilung (Grebner et al., 1998). Diese hat ihr Zentrum zwar ebenfalls auf der Alpensüdseite. Durch die nach Norden gerichtete Achse der Konvergenz erstreckt sich das Niederschlagsfeld jedoch quer über das Gebirge. Ähnliche Zirkulationszustände noch westlicher wären für das Wallis folgeschwer. Sie wurden aber in den ab 1960 analysierten Wetterkarten bisher nicht festgestellt.

Fazit

Von den drei verglichenen Fällen – Oktober 2000, September 1993 und August 1987 – erweisen sich die Zirkulationsstrukturen und damit auch die Niederschlagsbedingungen der ersten beiden Ereignisse als ausgesprochen ähnlich. In den Ereignisdauern, im Verhältnis 2 zu 1, besteht jedoch ein grundsätzlicher Unterschied und eine Ursache für die überragenden Gesamtniederschlagssummen im Oktober 2000. Weitere Beiträge dazu ergaben sich aus der höheren Anströmungsgeschwindigkeit und vertikalen Instabilität der Atmosphäre. Unterschiedlich ist auch der Verlauf der Schneefallgrenze. Sie sank im Oktober 2000 bereits vor Ende des Ereignisses ab und wirkte sich so dämpfend auf die Abflusswirkung der Niederschlagswelle am 15.10.2000 aus. Im August 1987 lag südalpin nur ein sekundäres Tief vor. Dadurch bestehen sich im Vergleich u.a. wesentliche Unterschiede in der Zirkulationsstruktur, der Niederschlagsdauer und dadurch auch in der Niederschlagssumme des gesamten Ereignisses. Hoch abflusswirksam (Reusstal) war jedoch eine Intensitätsspitze am Ende des Dauerniederschlags.

3 Die Abflüsse

3.1 Analyse der Beobachtungen des BWG/LH-Messnetzes

Hugo Aschwanden

3.1.1 Überblick

Das Abflussgeschehen widerspiegelt die meteorologische Situation: In den südseitigen Zuflüssen zur Rhone im Oberwallis und in der Drance im unteren Wallis resultierten Spitzenwerte. Als Folge davon ergab sich ein Hochwasser entlang des gesamten Rhonelaufes.

3.1.2 Wallis

Im Wallis wurden an 7 Messstationen neue Höchstwerte seit Beobachtungsbeginn registriert, an zwei weiteren Stationen die zweithöchsten Werte (Tab. 3-1). Obwohl bereits im Goms grosse Wassermengen anfielen (bis Reckingen maximal $560 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$), baute sich das eigentliche Hochwasser an der Rhone in den Einzugsgebieten zwischen Reckingen und Brig auf (maximaler Zufluss $630 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$). Zum Spitzenwert in Brig ($560 \text{ m}^3/\text{s}$) haben daher neben der Rhone im Goms (Station Reckingen), die Massa und die Saltina mit rund $120 \text{ m}^3/\text{s}$ etwa gleichviel beigetragen.

Übersicht Hochwasser Oktober 2000
Vue d'ensemble des crues octobre 2000

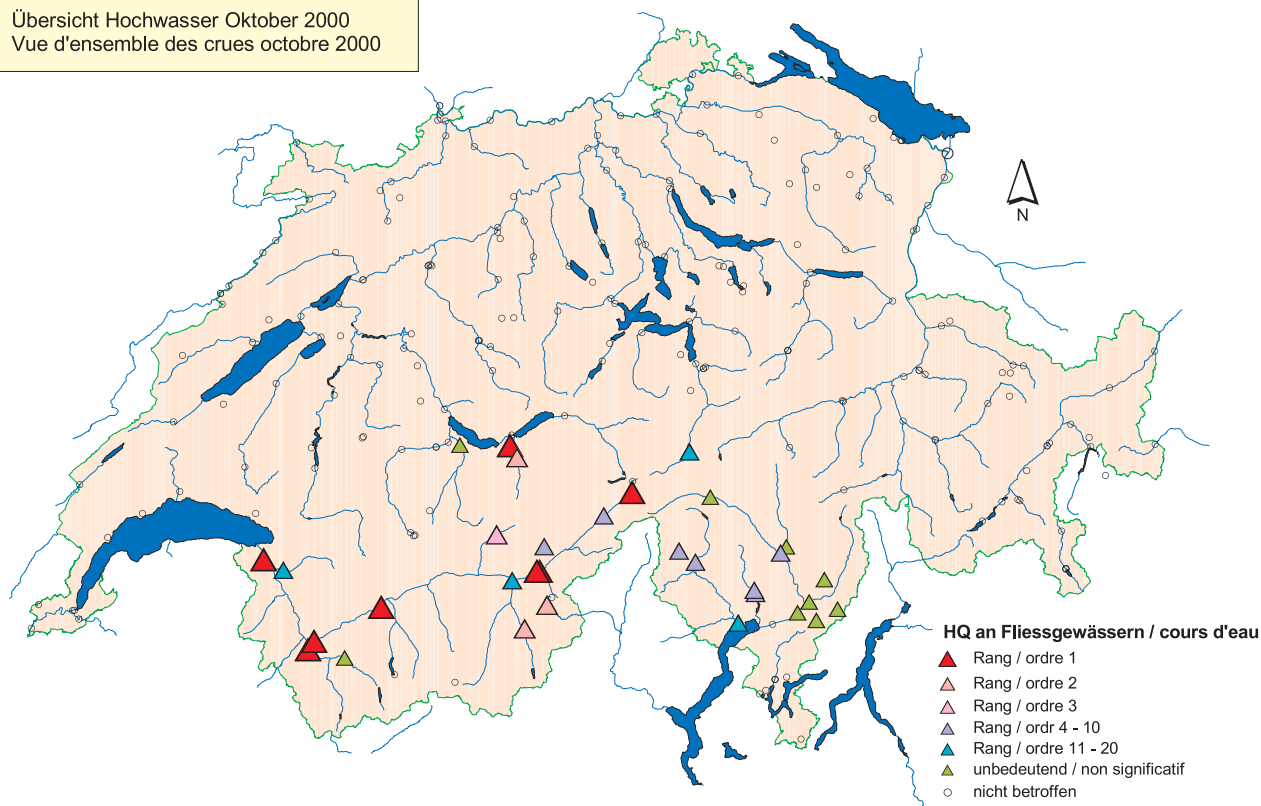


Fig. 3-1: Übersicht über die Hochwasser im Oktober 2000.

Ebenso führten die andauernden Niederschläge in Norditalien zu hohen Zuflussvolumen (Toce) zum Lago Maggiore in relativ kurzer Zeit. Entsprechend kräftig stieg der Seespiegel an und führte zu Überschwemmungen im Uferbereich. Ausserhalb des Wallis und des Tessin verzeichneten in der Schweiz einzig noch die Lütchinentäler Hochwasser. An der Station Gsteig, beobachtet seit 1920, wurde das grösste Ereignis der Beobachtungsperiode registriert ($190 \text{ m}^3/\text{s}$), obwohl die Weisse Lütchine nicht übermässig Hochwasser führte (Station Zweilütschinen, $82 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 12 seit 1933).

Der grössere Teil dürfte aber aus dem Binntal stammen, wo in drei Tagen 505 mm Niederschlag gemessen wurden. Eine Abflussschätzung in der Grössenordnung von $180 \text{ m}^3/\text{s}$ Spitzenabfluss für die Station Binna-Binn, wo ein Hochwasserlimnigraph der Landeshydrologie (LH) installiert ist, bestätigt diese Annahme. Sowohl bei der Rhone als auch der Saltina in Brig liegen die neuen Spitzenwerte rund 20–25% über denjenigen des Ereignisses von 1993. Hingegen hatten die Ereignisse von 1993 und 1987 für das Goms die grössere Bedeutung.

Im Zentrum der Niederschläge auf der Simplonsüdseite ist der Krummbach die einzige von der LH betriebene Messtation. Der registrierte Wert von 22 m³/s erscheint angesichts der extremen Niederschlagsmengen 2000 im Simplongebiet und der in den Nachbargebieten (Grosses Wasser, Doveria) aufgrund von Hochwasserspurten geschätzten Abflüsse als unerwartet niedrig und wurde auch 1972 übertroffen. 1993 wurde die Station durch den Ausbruch des Sirvoltesees vollständig zerstört und musste an einem besser geeigneten Standort neu aufgebaut werden. Eine Erklärung konnte auch trotz Überprüfung der Stationsdaten nicht gefunden werden.

Dadurch, dass die Saltina der Massa und diese der Rhone-Reckingen jeweils um ein paar Stunden voraus-eilten, kam es zu keiner direkten Überlagerung der Spitzenabflüsse. Im umgekehrten Fall wären für die Rhone in Brig und weiter talauswärts noch höhere Abflüsse denkbar gewesen. Diesbezüglich günstig wirkte sich auch die etwas geringere Niederschlagsmenge am 14.10. aus. Der Rückgang der Niederschlagsintensität insbesondere nachmittags ist sehr gut in den Ganglinien zu erkennen. Sowohl die Rhone-Reckingen als auch die Saltina reagierten mit einem starken Abflussrückgang, ehe sie wegen den erneuten Niederschlags-Intensitätsspitzen am 14.10. am Abend

Station	Beob. seit	Q _{max} (m³/s)	Jahr	Okt. 2000 (m³/s)	Datum	Rang	1993 (m³/s)	1987 (m³/s)	1948 (m³/s)
Rhone-Gletsch	1956, 1894–26	31	1900	15.7	15.10.	58	26	28.5	–
Goneri-Oberwald	1991	47	1993	53	14.10.	1	47	–	–
Rhone-Reckingen	1950	185	1987	120	15.10.	8	175	185	–
Massa-Blatten bei Naters	1903	200	1913	120	15.10.	7	91	72	76
Saltina-Brig	1966	100	1993	125	15.10.	1	100	44	–
Rhone-Brig	1916	495	1987	560	15.10.	1	460	495	345
Saaser Vispa-Saas Balen	1956	190	1993	110	15.10.	2	190	86	–
Vispa-Visp	1903	375	1948	200	15.10.	17	330	285	375
Lonza-Blatten	1956	81	1971	61	15.10.	3	53	47	–
Rhone-Sion	1916	910	1948	910	15.10.	1	830	775	910
Rhone-Branson	1941	940	1948	980	15.10.	1	930	820	940
Drance de Bagne-Le Châble	1911	115	1920	52	15.10.	46	32	44	82
Drance-Martigny	1991 1907-14	97 198	1994 1914	180		1	85 –	– –	– –
Rhone-Porte du Scex	1905	1090	1993	1370	15.10.	1	1090	1010	1050
Grande Eau-Aigle	1935	123	1942	42	15.10.	22	28	33	38
Krummbach-Klusmatten	1952	30.5	1972	22		2	(50)*	14	–

* Schätzung

Tab. 3-1: Ausgewählte Messstationen: Abflussspitzen Oktober 2000 im Vergleich mit früheren Ereignissen.

Die Fig. 3-2 zeigt die Ganglinien der Fliessgewässer im Oberwallis zusammen mit dem Verlauf des Niederschlags, gemessen an der ANETZ-Station Ulrichen, wo über die gesamte Periode vom 12.–17.10.2000 217,9 mm Niederschlag registriert wurde. Dabei regnete es rund 100 Stunden ununterbrochen mit maximalen Niederschlagsintensitäten bis 7 mm/h. Die Saltina und die Rhone bei Reckingen stiegen bereits am 14.10. stark an. Die Massa reagierte etwas verzögert und erreichte wie die anderen Fliessgewässer am 15.10. ihr Maximum. Der Goneri-Oberwald verzeichnete gar an beiden Tagen einen Höchstabfluss der gleichen Grössenordnung. Äusserst interessant in Bezug auf Katastrophenszenarios für die Rhone ist das räumlich-zeitliche Auftreten der Spitzenabflüsse.

und am 15.10. in der Nacht noch einmal stark ansprachen und zusammen mit den anderen Fliessgewässern den Höchstabfluss innerhalb des gesamten Ereignisses erreichten. Auch hier kann vermutet werden, dass dieser intensive Niederschlag in der Nacht vom 14./15. 10., wenn er 12 Stunden früher gefallen wäre, zu massiv höheren Abflüssen in allen Fliessgewässern geführt hätte. Ab dem 15.10. mittags gingen die Abflüsse schnell zurück, obwohl der Niederschlag, zwar weniger intensiv, anhielt und in den Abendstunden noch einmal leicht zunahm. Der Grund liegt darin, dass die Schneefallgrenze in der vorrückenden Kaltluft des Tiefdruckgebietes rasch absank und der Niederschlag für grosse Teile der Einzugsgebiete nicht mehr abflussrelevant war (vgl. Kap. 2.3 und Grebner et al., 2000).

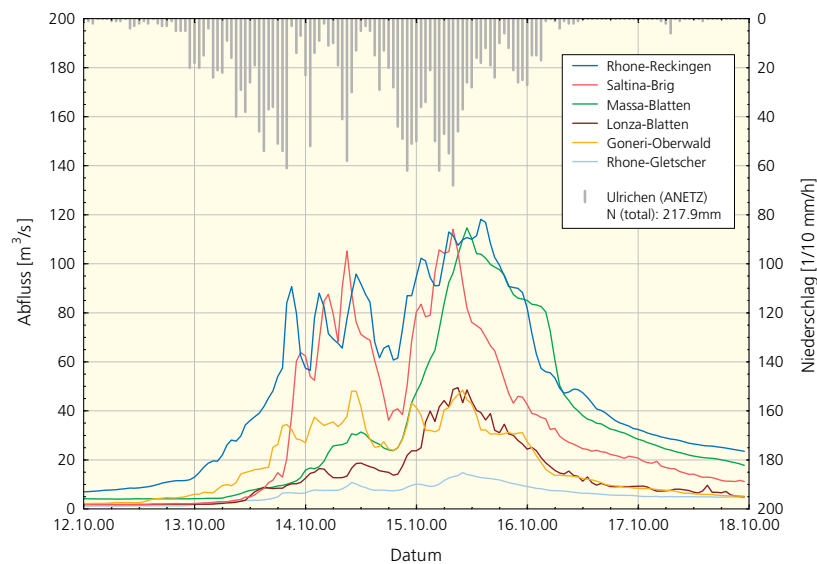


Fig. 3-2: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen im Oberwallis (Stundenwerte 12.–18. 10.2000).

Obwohl im Mittelwallis aus den traditionell trockeneren Seitentälern ein deutlich weniger grosser Wasseranfall zu verzeichnen war ($140\text{--}190\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$), setzte sich das Hochwasser in der Rhone fort und führte an den Stationen Sion, Branson und Porte du Scex zu den höchsten gemessenen Abflussspitzen. Diese liegen im Falle von Sion und Branson in der Grössenordnung der bisherigen Höchstwerte von 1948. Bei Porte du Scex hingegen wurden die bisherigen Spitzenwerte von 1993 ($1090\text{ m}^3/\text{s}$) und 1948 ($1050\text{ m}^3/\text{s}$) mit $1370\text{ m}^3/\text{s}$ um rund 25% übertroffen. Allerdings kam es 1948 zu beträchtlichen Überschwemmungen wegen Dammbrüchen, so dass die verschiedenen Jahre nicht direkt vergleichbar sind.

Bei den Seitenzuflüssen fällt im aktuellen Fall der tiefe Wert der Vispa in Visp auf ($200\text{ m}^3/\text{s}$), obwohl in Saas Balen die Saaser Vispa nach 1993 die zweithöchste Abflussspitze verzeichnete ($110\text{ m}^3/\text{s}$). Der Vergleich mit 1993 ist wegen des Kraftwerksbetriebes schwierig. Sowohl 1993 als auch 2000 konnte Grand Dixence Wasser aufnehmen und so die Vispa entlasten. Beim Mattmarkstausee konnte ein Überlaufen verhindert werden. 1993 sind ca. $80\text{ m}^3/\text{s}$ über die Hochwasserentlastung abgeflossen, womit der Unterschied bei den Spitzenabflüssen erklärt wird.

Im Unterwallis registrierte die Drance in Martigny einen Höchstwert ($180\text{ m}^3/\text{s}$), allerdings ist die Station erst seit 1991 in Betrieb. Eine alte Messreihe von 1907–14 am gleichen Standort weist mit $198\text{ m}^3/\text{s}$ (1914) einen leicht höheren Wert aus. Die höher gelegene Station Drance de Bagnes-Le Châble verzeichnete $52\text{ m}^3/\text{s}$. Daraus lässt sich schliessen, dass auch die Drance d'Entremont und die Drance de Ferret mass-

geblich zum Hochwasser in Martigny beigetragen haben. Die Auswertung der Daten der Rhonestationen zeigt, dass der spezifische Beitrag des unteren Wallis mit $275\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ grösser war als der des Mittelwallis. Die Fig. 3-3 zeigt ausgesuchte Ganglinien unterhalb von Brig zusammen mit dem Niederschlagsverlauf in Sion. Bei der Vispa ist der unruhige Verlauf während der Spitzenabflüsse zu erwähnen. Er rührt hauptsächlich von den Geschiebeschüben des Breiterbaches her, welche jeweils die Vispa aufgestaut und einen zeitweiligen Abflussrückgang verursacht haben. Auffällig ist weiter das mehrstündige Verharren der Rhone-Brig auf dem Spitzenabfluss. Wie weiter oben bereits angesprochen liegt der Grund darin, dass die Abflussspitzen verschiedener Zubringer im Oberwallis zeitlich um wenige Stunden verschoben in Brig eintrafen. Anstelle eines noch höheren Abflusses resultierte so ein etwas kleinerer, dafür länger andauernder Spitzenabfluss. Auch in den Ganglinien der Rhone weiter talabwärts ist der phasenweise Verlauf des Niederschlagsereignisses wiederzuerkennen. Das kurze Nachlassen am 14.10. führte zu einer leichten Abflussberuhigung, doch der nachfolgende Regen bewirkte selbst bei gleichen Niederschlagsmengen wie an den Tagen zuvor ein sehr viel stärkeres Ansteigen des Abflusses. Interessant ist, dass sich das zeitliche Eintreffen der Abflussmaxima an den einzelnen Stationen entlang der Rhone nur wenig unterscheidet (Brig: 10 Uhr, Sion: 11 Uhr, Branson: 13 Uhr, Porte du Scex: 15 Uhr). Dies ist nicht aus den Laufzeiten, sondern nur mit einem grossräumigen Niederschlagsereignis zu erklären, indem weite Teile des Einzugsgebietes mit hohen Abflüssen zum Hochwasser beigetragen haben.

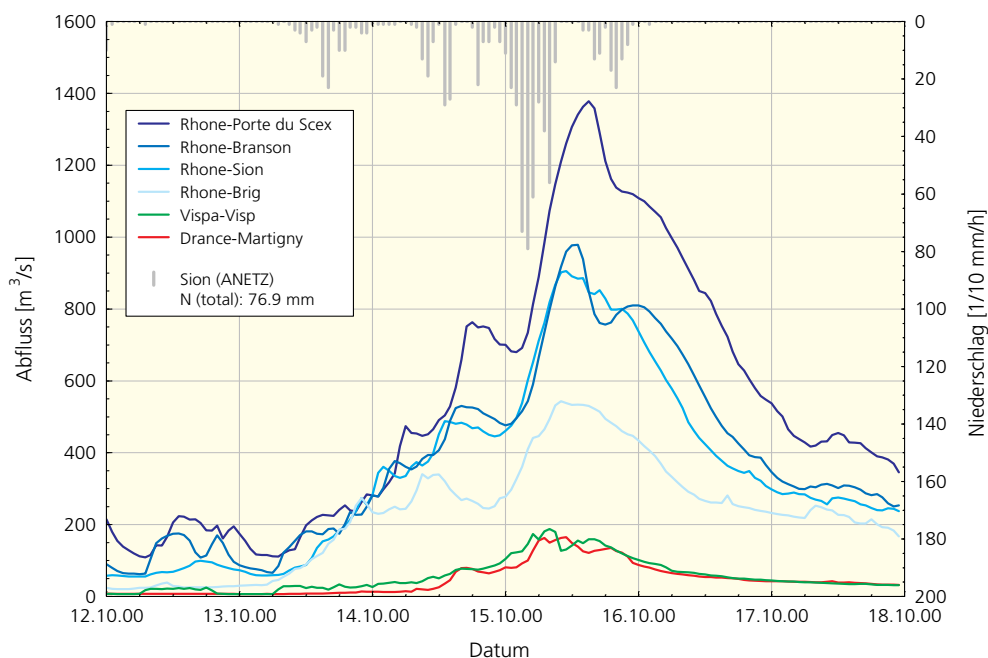


Fig. 3-3: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen unterhalb von Brig (Stundenwerte 12.–18.10.2000).

Messstation	Abfluss- (m³/s)	Fläche (km²)	Abfluss- spende (l/s * km²)	Abfluss- spende Zwischen- gebiet (l/s * km²)
<i>Rhone:</i>				
– Gletsch	15.7	40.7	385	
– Reckingen	120	215	558	599
– Brig	560	913	613	630
– Sion	910	3349	272	144
– Branson	980	3728	263	185
– Porte du Scex	1370	5220	262	261
Goneri – Oberwald	53	40.8	1299	
Massa – Blatten				
b. Naters	120	196	612	
Saltina – Brig	125	77.9	1605	
Saaser Vispa – Saas Balen	110	203	542	
Vispa – Visp	200	790	253	153
Lonza – Blatten	61	77.8	784	
Drance de Bagne – Le Châble	52	254	205	
Drance – Martigny	180	688	262	295
Krummbach – Klutmatten	22	19.8	1111	
Weisse Lütschine – Zweilütschinen	82	61	1344	
Lütschine – Gsteig	190	130	1462	1565

Tab. 3-2: Maximale Abflussspenden während des Ereignisses im Oktober 2000.

Abflussspenden

Die Tab. 3-2 beinhaltet die gemessenen maximalen Abflussspenden der Stationen der LH sowie die daraus abgeleiteten Werte für Zwischeneinzugsgebiete entlang der Stationen an der Rhone. Der Vergleich dieser Zahlenwerte zeigt, dass der Beitrag des Oberwallis mit 600–630 l/s*km² rund vier Mal so gross war, wie derjenige im mittleren Wallis (145–185 l/s*km²), wo aber die Stationen Lonza-Blatten (784 l/s*km²) und die Saaser Vispa-Saas Balen (542 l/s*km²) lokal doch einen deutlich höheren Wert verzeichneten. Absolut betrachtet wiesen die Saltina-Brig (1605 l/s*km²), der Goneri-Oberwald (1299 l/s*km²) und der Krummbach-Klutmatten (1111 l/s*km²) die höchsten Werte auf. Die LHG hat in ihrer Mitteilung Nr. 17 (1991 b) über die Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern eine Abbildung veröffentlicht, welche die maximalen spezifischen Abflussmengen in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse zeigt. Vergleicht man die Werte vom Oktober 2000 mit dieser Abbildung, kann man feststellen, dass insbesondere die Abflüsse der Saltina sowie die der Rhone ab Brig als ausserordentlich zu bezeichnen sind, aber immer noch auf eine entsprechende Hüllkurve passen (Fig. 3-4).

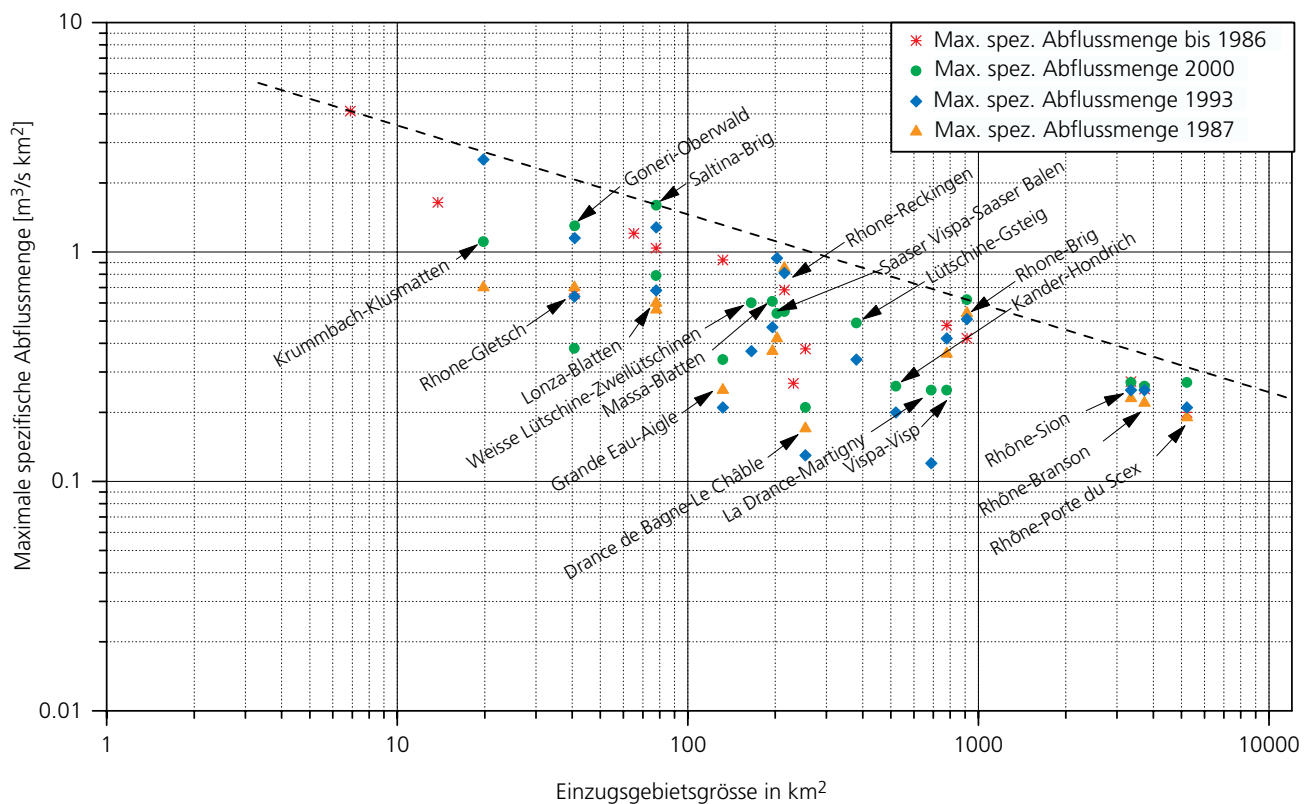


Fig. 3-4: Maximale Abflusspenden Oktober 2000 im Vergleich mit den bisher gemessenen Werten im Rhoneeinzugsgebiet (nach LHG, 1991 b ergänzt).

Vergleich zum Ereignis vom 22.–25.9.1993

Vor dem Oktober 2000 war das Wallis letztmals in den Jahren 1993 und 1987 von Hochwassern grösseren Ausmasses betroffen. Ein Vergleich drängt sich vor allem mit der Periode vom 22.–25.9.1993 auf, wo mit dem Schadensereignis Brig/Saas Almagell/Simplon die gleiche Region intensiv betroffen war (LHG, 1994). Damals wurden an den Stationen Goneri-Oberwald, Saltina-Brig, Saaser Vispa-Saas Balen und Rhone-Porte du Scex die bis anhin grössten Abflussspitzen registriert. Mit Ausnahme der Saaser Vispa wurden diese Werte nun durch das Ereignis vom Oktober 2000 zum Teil massiv überschritten. Die Fig. 3-5 zeigt den Verlauf des Hochwassers von 1993 im Wallis.

Zwischen den beiden Ereignissen gibt es erstaunliche Parallelen. Die Niederschlagsdauer an der Station Ulrichen war mit 4–5 Tagen gleich und verlief auch in zwei Phasen. Der Niederschlagsrückgang dazwischen war allerdings 1993 ausgeprägter, als es mehrere Stunden praktisch nicht mehr regnete. Das Kernereignis mit Niederschlags-Intensitäten von 6–8 mm/h über 7 Stunden war hingegen deutlich kräftiger und liess die Rhone in Reckingen auf über 160 m³/s ansteigen. Dieser Wert wurde nur noch 1987 übertrof-

fen. Auch 1993 lieferten die Saltina und die Massa einen Anteil in der gleichen Grössenordnung und wiederum hinkte die Spitze der Massa derjenigen der Saltina hintennach. Auch 1993 findet sich deshalb in Brig eine abgeflachte Abflussspitze. Der Beitrag der Vispa (330 m³/s) war 1993 um mehr als 50% grösser als im Jahr 2000, derjenige der Drance-Martigny dafür um 50% kleiner. Die Lonza führte bei beiden Ereignissen annähernd gleich viel Wasser. Interessant ist, dass in beiden Jahren die Abflusszunahme in der Rhone zwischen Brig und Sion mit rund 350 m³/s praktisch gleich gross war, die Wassermassen aber aus unterschiedlichen Einzugsgebieten stammen. 1993 war es vor allem die Vispa die den überwiegenden Teil dazu beitrug, im Jahre 2000 dürften neben der Lonza auch der Baltschiederbach, die Dala sowie die anderen südseitigen Zubringer (Gamsen, Turtmänna, La Navissence und La Borgne) verstärkt beteiligt gewesen sein. Entsprechende Schätzungen liegen vor (vgl. Tab. 3-11). In Bezug auf Szenarien für die Rhone lassen sich auch zwischen Brig und Sion noch ungünstigere Verhältnisse als im Jahr 2000 vorstellen. Der Rückhalt in den Stauanlagen der Grande Dixence hat im Oktober für die Hochwasser an der Rhone eine entscheidende,

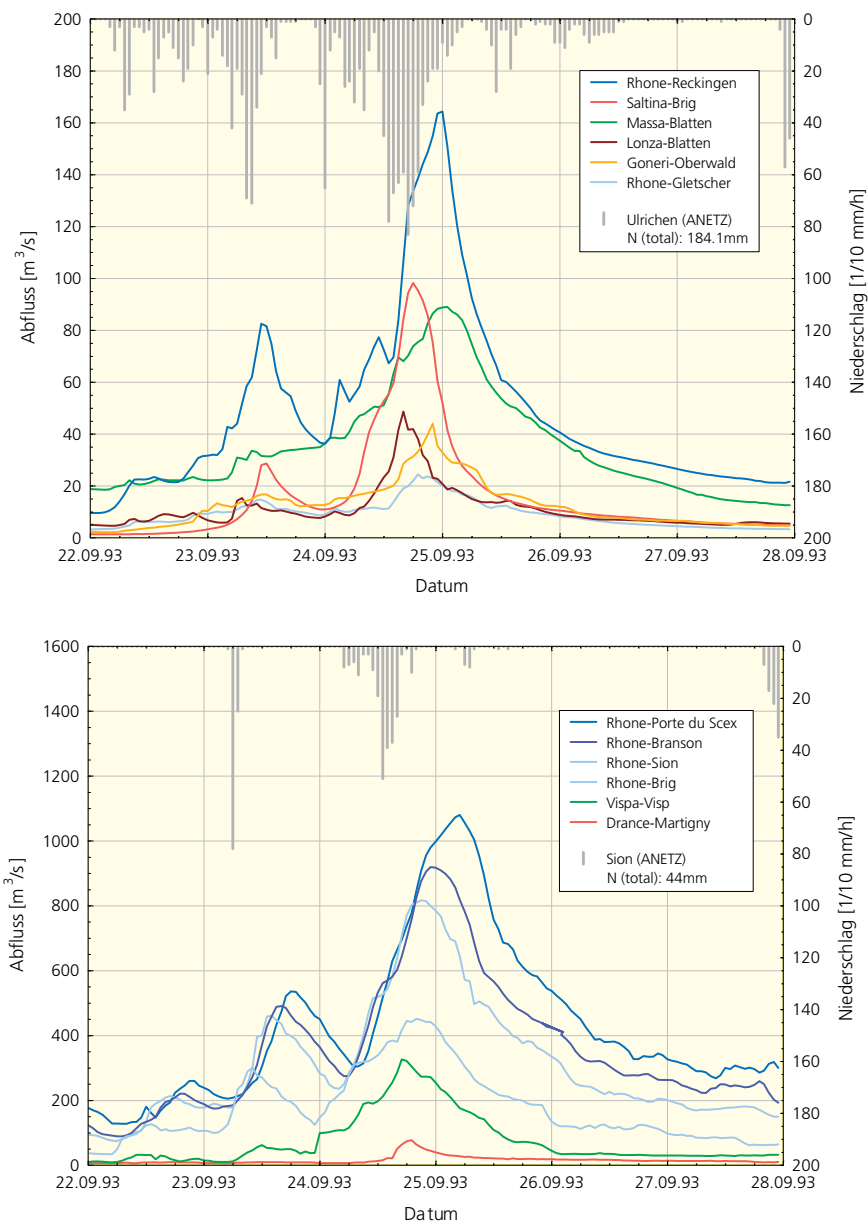


Fig. 3-5: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen (Stundenwerte 22.-28.9.1993).

dämpfende Rolle gespielt (vgl. dazu auch Kap. 6). Weiter flussabwärts zwischen Sion und Porte du Scex sind der Rhone 1993 nur rund 260 m³/s zugeflossen. Im Jahre 2000 waren es 460 m³/s, der grössere Teil davon mit der Drance (180 m³/s). Eine vergleichende Volumenbetrachtung (Tab. 3-3, vgl. auch Anhang 8.3) bestätigt die Aussage in Kapitel 2.2.4, wonach die Bedeutung des Ereignisses vom Oktober 2000 vor allem in der langen Dauer kräftiger Niederschläge liegt. Betrachtet man die maximalen Abflussvolumen über 1–5 aufeinander folgende Tage während der Hochwasserperioden 1993 und 2000

stellt man fest, dass einzig bei den Stationen Rhone-Gletsch und Vispa-Visp das Ereignis von 1993 höhere Volumina aufweist. Dies stimmt mit der bereits gemachten Feststellung überein, dass diese Stationen im Oktober kein spezielles Hochwasser führten. Dies ist jedoch wegen der im Oktober 2000 wesentlich höheren Niederschläge im Einzugsgebiet der Vispa für diese Station unerwartet und kann nur durch eine regional tiefere Schneefallgrenze erklärt werden. Bei allen übrigen Stationen war das Abflussvolumen im Jahr 2000 grösser. Erstaunlich ist dies vor allem für die Station Rhone-Reckingen, da 1993 die Abflussspitze

deutlich höher war als im Jahr 2000 (rund 55 m³/s Unterschied). Die Ganglinie (Fig. 3-5) zeigt aber den ausgeprägten eingipfligen Verlauf des 1993-Ereignisses, wo nach dem Abflauen des Niederschlages auch die Abflusskurve sehr schnell zurückging. Bei der Rhone in Porte du Scex machen die Volumenunterschiede je nach zeitlichem Betrachtungsstabsstab 25–35% aus.

3.1.3 Tessin

Im Tessin waren im Gegensatz zum Wallis an den Fliessgewässern praktisch keine Spitzenwerte zu verzeichnen. Die Ausnahme bildeten Einzugsgebiete im obersten Maggiatal (Riale Calneggia) und auf der Südseite des Simplon (Krummbach).

Station	Maximales Abflussvolumen über 1–5 Tage in Mio m³					
	1993 2000	MaxV1d MaxV1d	MaxV2d MaxV2d	MaxV2d MaxV2d	MaxV3d MaxV3d	MaxV4d MaxV4d
Rhone – Gletsch	1993 2000	1.37 1.00	2.57 1.71	3.59 2.29	4.17 2.72	4.71 3.05
Goneri – Oberwald	1993 2000	2.08 3.11	3.29 6.00	5.20 7.44	6.00 8.61	6.55 9.18
Rhone – Reckingen	1993 2000	7.66 8.81	13.95 15.26	18.52 19.38	20.91 22.78	22.72 25.14
Massa – Blatten bei Naters	1993 2000	5.24 7.61	10.21 11.80	12.85 14.04	15.18 15.98	17.01 16.61
Rhone – Brig	1993 2000	26.27 40.00	46.40 63.59	62.29 81.56	71.11 93.05	78.49 102.56
Saltina – Brig	1993 2000	4.36 6.66	6.11 12.29	7.27 14.69	7.99 15.97	8.47 17.02
Vispa – Visp	1993 2000	17.54 12.36	28.77 18.04	31.94 22.97	34.90 26.17	37.52 27.97
Lonza – Blatten	1993 2000	1.94 3.19	3.15 4.57	3.98 5.79	4.60 6.42	5.21 6.90
Rhone – Sion	1993 2000	44.58 65.32	88.39 106.27	115.00 141.52	136.25 164.59	151.98 175.31
Rhone – Branson	1993 2000	54.09 64.97	99.19 115.08	127.09 151.63	154.14 177.47	174.18 190.43
Drance – Martigny	1993 2000	2.41 10.89	4.73 15.17	6.32 18.57	7.55 21.19	8.28 21.94
Rhone – Porte de Scex	1993 2000	70.76 92.79	118.28 165.37	153.01 210.82	183.00 248.05	208.92 263.95

1993 grösseres Ereignis in Bezug auf Volumen

Tab. 3-3: Maximale Abflussvolumen der Ereignisse 1993 und 2000 über 1 – 5 Tage (Datengrundlage: Tagesmittel des Abflusses).

Station	beob. seit	Dimen- sion	höchster Wert	Jahr	HQ ₂₀₀₀	Datum	Rang	1993	1987
Riale Pincascia – Lavertezzo	1993	m³/s	210	1993	66	13.10.	7	210	–
Verzasca – Lavertezzo	1990	m³/s	720	1992	310	13.10.	8	560	–
Riale Calneggia – Cavigno	1967	m³/s	105	1987	72	14.10.	4	67	105
Maggia – Bignasco	1982	m³/s	650	1992	310	13.10.	10	490	520
Maggia – Locarno	1970	m³/s	4500	1978	1140	13.10.	13	1740	1800
Lago Maggiore – Locarno	1867	m ü. M.	200.23	1868	197.57	17.10.	2	197.23	195.6

Tab. 3-4: Ausgewählte Messstationen: Spitzenwerte Hochwasser Oktober 2000 im Vergleich mit bisherigen Werten.

Im Verlaufe des Ereignisses stieg der Lago Maggiore in Locarno innert 5 Tagen um fast vier Meter auf 197,57 m ü. M., 34 cm über den Stand von 1993, blieb damit aber noch 2.66 m unter der gemessenen Rekordmarke von 1868. In der Zeit vom 11.–17.10. 2000 sind dem See aus schweizerischen Einzugsgebieten im Mittel 1100–1200 m³/s oder rund 700 Mio. m³ Wasser zugeflossen. Der maximale Zufluss wurde am 13.10. erreicht und betrug rund 2300 m³/s. Eine Überschlagsrechnung unter der Annahme eines mittleren Seeausflusses in Sesto Calende von 1800 m³/s zeigt, dass aus den italienischen Einzugsgebieten weitere 1200 Mio. m³ dazugekommen sind. Der wichtigste Zufluss, der Toce, erreichte sein Maximum am 15.10.2000 mit 4200 m³/s.

Die hydrologische Bedeutung liegt in der Dauer des Kern – Niederschlagsereignisses vom 9.–17.10.2000

mit Niederschlagssummen über 700 mm. Dies vermochte zwar in den in der Schweiz gelegenen Einzugsgebieten keine absoluten Spitzenabflüsse zu erzeugen, liess jedoch die Zuflüsse kräftig anschwellen und im Mittel auf hohem Niveau verharren. Die dem See in der Schweiz über 1–2 Tage zugeflossenen Volumina waren kleiner als 1993, über 3 Tage etwa gleich, über 4–6 Tage aber grösser. Damit unterscheidet sich das Ereignis im Oktober 2000 wesentlich von jenem von 1993, als die Niederschlagsperiode im September und Oktober 40 Tage dauerte und von kurzen, sehr intensiven Niederschlagsereignissen von 1–2 Tagen Dauer begleitet war. Die Fig. 3-6 zeigt die beiden Ereignisse im Überblick. Das Niederschlagsgeschehen verlief bei beiden Ereignissen schubweise. Die geringeren N-Intensitäten im Jahr 2000 sind gut zu erkennen, ebenso fällt auf, dass die einzelnen Ereignisse durch

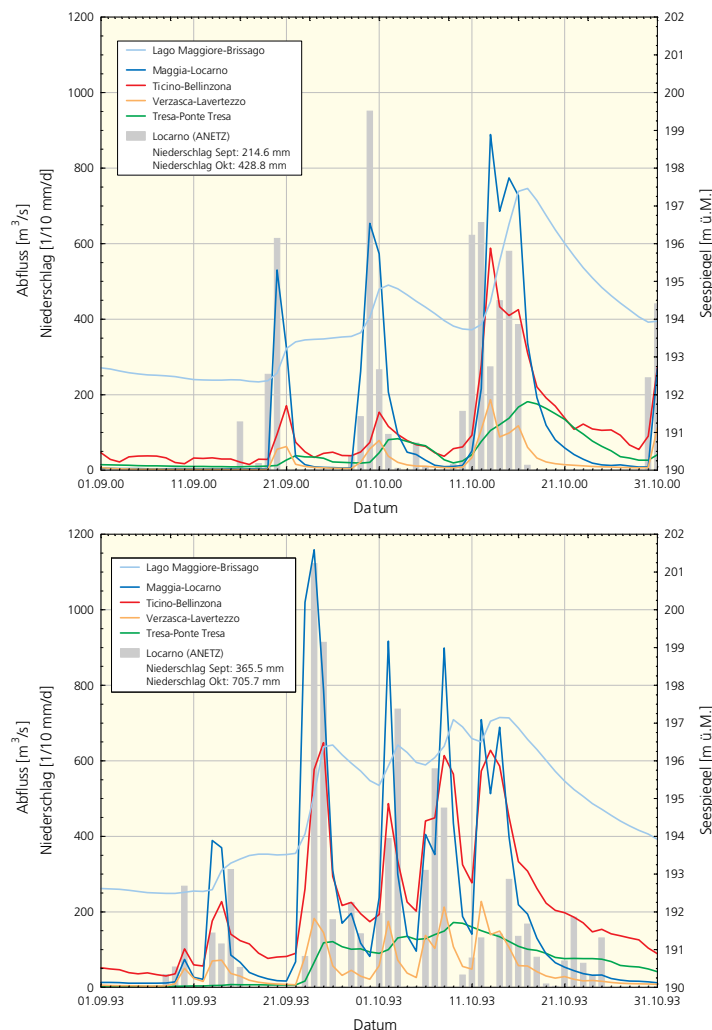


Fig. 3-6: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagssummen ausgewählter Stationen im Einzugsgebiet des Lago Maggiore (Tagesmittelwerte der Perioden 1.9.–31.10. 1993 und 2000).

niederschlagsfreie Tage voneinander getrennt sind. Am 24.9.1993, zu Beginn des Ereignisses, sind dem See maximal gegen 8000 m³/s zugeflossen und haben einen Pegelanstieg von 1.65 m/24 h verursacht. Im Oktober 2000 dürften es 5500 m³/s gewesen sein. Die Ursachen für das jeweils starke Ansteigen des Lago Maggiore sind die grossen Wasservolumen, welche dem See zugeführt werden, und das ungünstige Verhältnis der Flächen des Einzugsgebietes und des Sees. Dieses beträgt 6562 km² zu 212 km² (bei einem Wasserstand von 193.20 m ü.M.), d.h. die Seefläche ist 31 Mal kleiner als das Einzugsgebiet. Ohne Berücksichtigung des Ausflusses verursacht also ein Zufluss von 100 mm ein Ansteigen des Seespiegels von 3,10 m. Beim Ansteigen des Sees auf die Kote vom 17.10.2000 vergrössert der See seine Fläche um ca. 10%.

3.1.4 Datenqualität

In der Zeit seit dem Hochwasser 1993 hat die LH grosse Anstrengungen unternommen, um die Hochwassersicherheit ihrer Messstationen und die Verfügbarkeit der Daten zu verbessern. Zu diesem Zweck wurden gefährdete Messeinrichtungen verstärkt, ersetzt oder durch andere ersetzt und Messbereiche erweitert. Beispielsweise konnte durch den vermehrten Einsatz von Radargeräten für das berührungslose Abtasten der Wasseroberfläche aus der Luft, die mechanische Gefährdung der Einrichtungen durch das Hochwassers wirkungsvoll vermindert werden. Für den bekanntermassen stark gefährdeten Standort der Langenseemessung in Locarno wurde als zusätzliche, hochwassersichere Messung die Messstelle in Brissago entsprechend ausgerüstet.

Anlässlich der Hochwasser 2000 konnte mit Befriedigung zur Kenntnis genommen werden, dass alle LH-Messstationen gut funktioniert und dem Hochwasser standgehalten haben.

Details zu einzelnen Messstationen:

- Rhone-Brig: Durch das Hochwasser hat sich das Flussbett der Rhone im Bereich der Messstation um ca. 50 cm aufgelandet (vermutlich beim Rückgang des Hochwassers).
- Vispa-Visp: Die Hochwasserspitze 2000 liegt erheblich unter derjenigen von 1993. Bemerkenswert in der Hochwasserganglinie sind auch die markanten «Einbrüche». Diese sind zurückzuführen auf die mehrmals auftretenden, enormen Geschiebezufuhren aus dem Beiterbach bei Neubrück, die zu einem vorübergehenden Aufstau der Vispa geführt haben.
- Rhône-Branson: Der Pegel-Messbereich wurde knapp überschritten, die Hochwasserspitze konnte aber aufgrund der Spuren und der benachbarten Messstationen gut ergänzt werden. Es fanden aber

kleinere Ausuferungen oberhalb der Messstation statt.

- Drance-Martigny: Durch das Hochwasser hat sich das Flussbett der Drance im Bereich der Messstation um ca. 10 cm aufgelandet (vermutlich beim Rückgang des Hochwassers).
- Krummbach-Klusmatten: Beim Hochwasser 1993 hat der Ausbruch des Sirvoltesees mit seiner Flutwelle die grosse Abflussspitze verursacht und die Messstation komplett zerstört. Die viel besser geschützte Nachfolgestation konnte diesmal nur durch den Niederschlag geprägten Hochwasserspitze problemlos standhalten. Der Wasserspiegel bei Hochwasser ist im Bereich der Pegelmessung sehr unruhig. Entsprechend schwierig ist es, den repräsentativen Wasserspiegel zu eruieren. Die Sonde für die Wasserstandsmessung ist durch das Hochwasser beschädigt und die Halterung gelockert worden. Aufgrund der Aufzeichnung ist zu vermuten, dass sich dies aber erst nach dem Durchgang der grössten Hochwasserspitze ereignet hat (wahrscheinlich durch Geschiebe). Die kürzlich durchgeführten Abflussmessungen zeigen eine leichte Verschiebung der P/Q-Kurve in Richtung von mehr Abfluss an (<10%). Insgesamt ist deshalb für die Abflussspitze des Hochwassers 2000 von einer Unsicherheit von ca. 20% auszugehen.
- Saaser Vispa-Saas Balen: Bei dieser nur im Auftrag von der LH betriebenen Messstation wurde das Messgerinne durch das Hochwasser teilweise zerstört.

Fazit

Etwa die Hälfte der Abflussmessstationen der Landeshydrologie im Wallis verzeichneten während dem Ereignis vom 13.–15. Oktober den höchsten Spitzenabfluss seit Messbeginn. Eine gewichtige Ausnahme bildet die Vispa, wo seit Messbeginn 16 mal grössere Spitzenabflüsse registriert wurden. Alle gemessenen spezifischen Abflüsse liegen im Bereich von schon früher beobachteten Werten.

Im Tessin stieg der Lago Maggiore im Oktober 2000 34 cm höher an als im Jahre 1993 auf einen in der Messreihe seit 1867 nur einmal überschrittenen Pegel. Dieser hohe Seestand wurde weniger durch grosse Spitzenabflüsse sondern durch die lange Dauer des Ereignisses verursacht. Knapp zwei Drittel des Abflussvolumens stammen aus dem italienischen Einzugsgebiet des Sees.

3.2 Analyse des hydrogrammes des crues 1987, 1993 et 2000

Pierre-Benoît Raboud

Une analyse des différents hydrogrammes des crues de 1987, 1993 et 2000 nous a permis d'en distinguer les différences essentielles. Pour les illustrer, nous avons représenté en Fig. 3-7 les hydrogrammes 1987, 1993 et 2000 des stations LH de Brigue, Viège, Martigny et de Sion (calage des hydrogrammes dans le temps de manière à en faire apparaître les différences essentielles).

La forte intensité et la plus grande étendue des pluies d'octobre 2000 par rapport à celles d'août 1987 et de septembre 1993 (voir chap. 2.2) se manifestent directement sur les hydrogrammes représentés où les crêtes de crues les plus élevées se trouvent en 2000. Le seul hydrogramme qui fasse exception est celui de Viège, à cause d'une plus grande part de précipitations sous forme de neige.

En ce qui concerne l'analyse des hydrogrammes de Sion, nous pouvons les commenter ainsi:

- une crête de crue plus élevée en octobre 2000, env. 100 m³/s en plus par rapport aux deux crues précédentes;

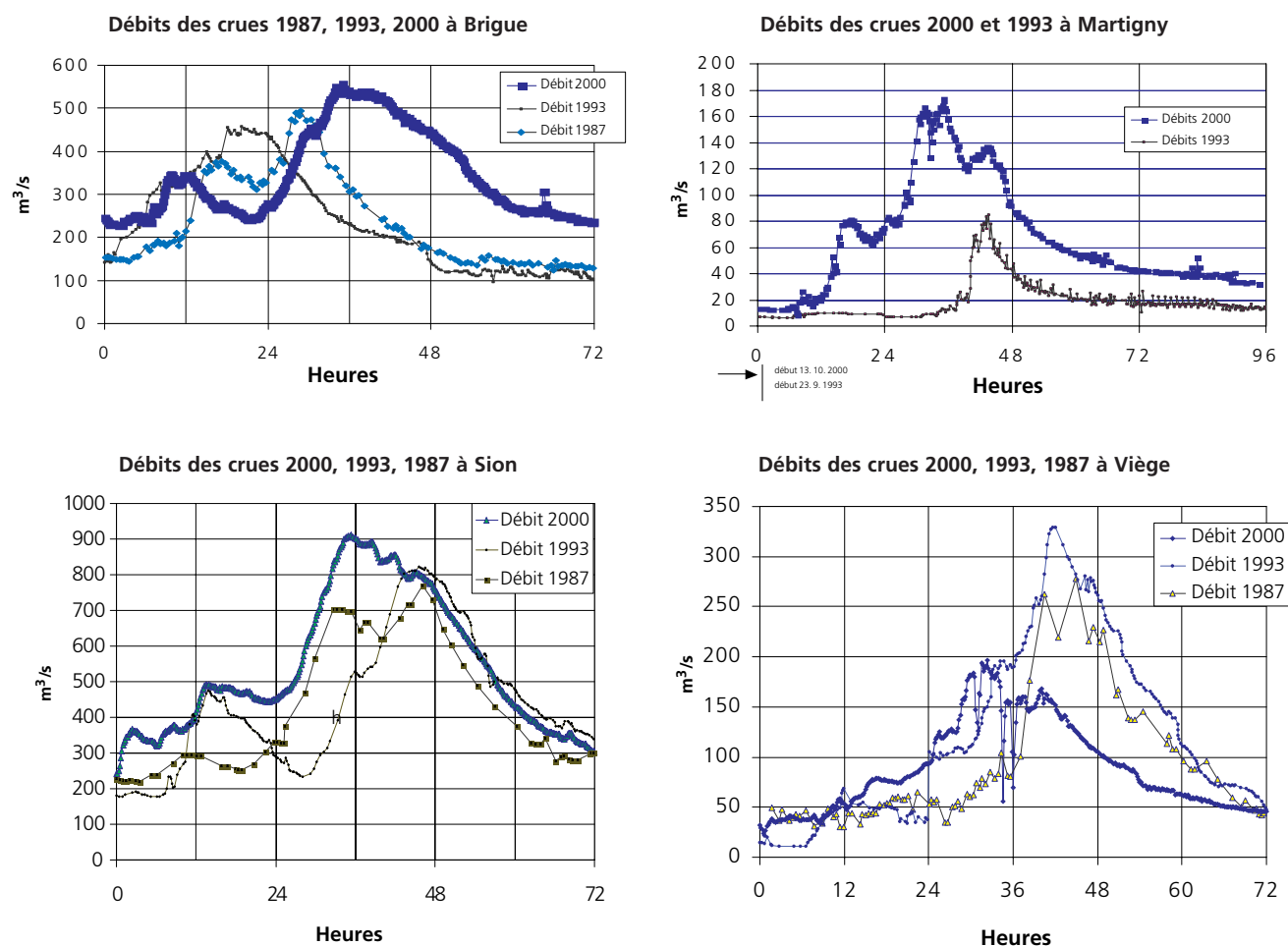


Fig. 3-7: Hydrogrammes des crues de la Rhône à Sion, Viège, Brigue (1987, 1993 et 2000) et de la Drance à Martigny (1993 et 2000).

- dans la plage de débit 700–900 m³/s, on reste en octobre 2000 env. 20 heures, alors qu'en 1993 respectivement 1987 cette valeur est de 12 respectivement 5 heures. La crue d'octobre a ainsi sollicité les digues de manière beaucoup plus importante que lors des crues précédentes. Ceci peut expliquer en partie la rupture de la digue de Chamoson en octobre 2000, qui a eu lieu peu après le passage de la crête de crue.
- le comportement de la crue en octobre 2000 montre bien l'étalement de la crête de crue créé par les fortes précipitations et leur durée dans les différents bassins versants en amont de Sion.

En 1993, on a un phénomène qui est craint – les crêtes de crue de Brigue et de Viège sont en phase – sans heureusement créer trop de problèmes en aval, la crête de crue n'atteignant qu'une valeur de 830 m³/s à Sion. En 1987, la crête de crue constatée est due aux fortes précipitations de la vallée de Conches. Comme la rapidité des phénomènes, lors de la journée du 15 octobre, a surpris plus d'un observateur, nous avons analysé pour octobre 2000 les vitesses de variation par heure des débits respectivement des niveaux d'eau dans le Rhône entre Brigue et la Porte du Scex.

Le calage des hydrogrammes de Brigue et Viège sur ceux de Sion a été obtenu pour chaque crue en déplaçant l'échelle du temps des hydrogrammes de Viège et Brigue de l'équivalent du temps de parcours de l'eau entre la station de mesure de Brigue et celle de Sion respectivement de l'équivalent du temps de parcours de l'eau entre la station de mesure de Viège et celle de Sion.

Les temps de parcours, estimés en tenant compte d'une célérité de l'eau de 4 m/s, sont:

- Brigue-Sion: 3,76 heures
- Viège-Sion: 3,16 heures

Avec ce calage, on se rend compte des phénomènes suivants:

- Crue 2000: la crête de crue de Sion est due à celle de Viège et la deuxième crête de crue (s/maximum) est due à celle de Brigue. Le déphasage de Brigue, par rapport à Sion, ne dépasse pas 3 heures. Sans ce déphasage, la crête de crue à Sion aurait été supérieure d'environ 100 m³/s, ce qui aurait provoqué des inondations plus graves que celles observées en aval de la confluence de la Viège avec le Rhône.

Position	Rubriques	Crue octobre 2000 variation de débit	valeurs extrêmes		Hauteur eau représentée par 100 m³/s (cm/100 m³/s)	2000 1993 1987 Contribution des barrages sur le Rhône et sur la Drance		
		(m³/s*h)	(m³/s*h)	(cm/h)		(m³/s et cm)	(m³/s et cm)	(m³/s et cm)
Brigue	montée avant crête de crue	30 (sur une durée d'env. 10 heures)	53.6	22.9	43	23 m³/s et 10 cm	pas analysé	pas analysé
Viège*/ confluence avec le Rhône	montée avant crête de crue	30 (sur une durée d'env. 7 heures)	80		40 (estimé)	84 m³/s et 33 cm	pas analysé	pas analysé
Sion	montée avant crête de crue	52 (sur une durée d'env. 8 heures)	89.5	40.6	45	125 m³/s et 56 cm	224 m³/s et 100 cm	270 m³/s et 121 cm
Branson	montée avant crête de crue	62 (sur une durée d'env. 6 heures)	94.3	50.3	53	100 m³/s et 53 cm	165 m³/s et 87 cm	209 m³/s et 111 cm
Porte du Sex	montée avant crête de crue	72 (sur une durée d'env. 8 heures)	115	50.1	43.5	213 m³/s et 92 cm	pas analysé	pas analysé
Drance	montée avant crête de crue	30 (sur une durée d'env. 2 heures)	–	–	pas analysé	70 à 110 m³/s	pas analysé	pas analysé

Tab. 3-5: Caractéristiques de la crue d'octobre 2000 – comparaison avec les crues de 1987 et 1993.

*L'hydrogramme de la confluence de la Viège avec le Rhône a été reconstitué avec les hydrogrammes de Brigue et de Viège.

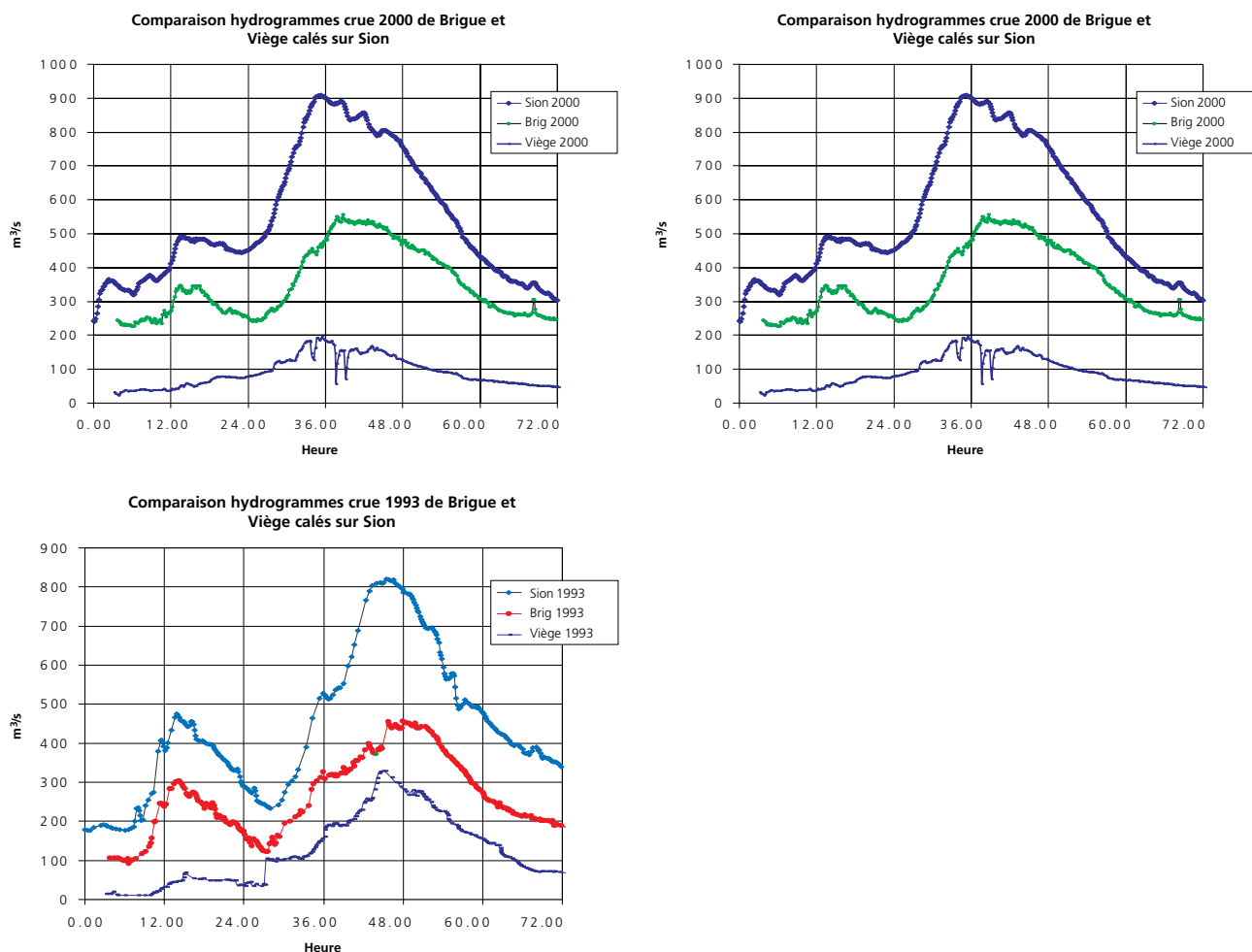


Fig. 3-8: Comparaison des hydrographes des crues de 1987, 1993 et 2000 de Brigue et Viège calés sur ceux de Sion.

- Crue 1993: les deux crêtes de crue de Brigue et Viège sont pratiquement en phase avec celle de Sion. Ceci explique la forme plus pointue de la crête de crue de Sion et le niveau relativement élevé du débit mesuré de crête de crue.
- Crue 1987: on se rend compte ici du fort déphasage de la crête de crue de Viège par rapport à celle de Sion (env. 10 heures). Si ces crêtes avaient été en phase, le débit de crête de crue à Sion aurait été supérieur d'environ 150 m³/s à celui observé qui était de 770 m³/s

Ces comparaisons permettent de conclure ainsi: si le phénomène de la crue de 1993 (crête de crue de Brigue et Viège en phase avec celle de Sion) s'était répété pour les crues de 1987 et 2000, il y aurait eu des inondations plus importantes en aval de la confluence de la Viège avec le Rhône, en particulier pour la crue d'octobre 2000.

Par analogie, nous aurions pu effectuer également une telle comparaison d'hydrographes à la confluence de la Drance avec le Rhône. Bien que ne l'ayant pas faite, nous nous bornons à signaler qu'en 2000, la crête de crue de la Drance est en avance d'env. deux heures sur celle du Rhône et en 1993 elle est en avance d'env. 4 heures.

	Événement d'août 1987		Événement de septembre 1993		Événement d'octobre 2000	
	Q _{observé} m³/s	Q _{naturel} m³/s	Q _{observé} m³/s	Q _{naturel} m³/s	Q _{observé} m³/s	Q _{naturel} m³/s
Bassin versant						
Rhône à Brigue	495	521	460	462	560	583
Vispa à Visp	278	450	330	494	200	257
Rhône à Sion	775	1045	830	1054	910	1035
Rhône à Branson	820	1029	930	1091	980	1080
Drance à Martigny	–	–	86	163	180	env. 275
Rhône Porte du Scex	1004	1318	1088	1350	1390	1600

Tab. 3-6: Valeurs de débits observés et naturels lors des crues de 1987, 1993 et 2000.

Les résultats présentés aux tableaux Tab. 3-5 et Tab. 3-6 nous permettent les commentaires suivants:

- *Aval de Sion jusqu'au Léman*: on a constaté en 2000 quelques débordements et refoulements en plusieurs endroits le long du Rhône (voir chap. 5.2 et les Fallbeispiele). On peut donc dire que les barrages ont empêché en octobre 2000 – grâce à la suppression d'une lame d'eau de 50 à 90 cm entre Sion et la Porte du Scex – une inondation majeure dans la plaine du Rhône. En 1993 et 1987, les débits naturels auraient été supérieurs à 1000 m³/s entre Sion et Branson (voir Tab. 3-6). Ils auraient dépassé ainsi les limites de capacités des digues du Rhône déjà constatées en octobre 2000 pour des débits en dessous de 1000 m³/s.
- *Viège et confluence de la Viège avec le Rhône jusqu'à Sion*: en octobre 2000, sur ce tronçon du Rhône, on a constaté quelques inondations provoquées par des refoulements et quelques débordements (voir chap. 5.2 et les Fallbeispiele). Ainsi, les barrages (dérivation d'eau de la Grande-Dixence dans la région de Zermatt et Mattmark) ont empêché des inondations plus importantes du Rhône (réduction d'env. 30 cm de hauteur d'eau en octobre 2000). A Viège en 1993, le débit de la Viège correspondait à la limite de capacité, la ville a donc été protégée d'une inondation majeure par les barrages de Mattmark et Grande-Dixence, ce qui en même temps a protégé la plaine du Rhône. En 1987, on a un scénario similaire à celui de 1993.
- *Région des Drances jusqu'à la confluence du Rhône*: la crête de crue de l'hydrogramme à la station LH à Martigny avec 180 m³/s se trouvait le 15 octobre proche de la limite de capacité de la Drance. Sans la contribution des barrages de Mauvoisin et d'Emosson comprise entre 77–114 m³/s, la ville de Martigny aurait été gravement inondée. Il est également utile de mentionner que la crête de crue de la Drance à Martigny est à 11h00 et que la crête de crue du Rhône à la confluence de la Drance est à 13h00. Il y a donc un décalage de 2 heures en 2000. Esti-

mée à cette confluence, la contribution des barrages est d'env. 45 m³/s en 2000.

A la station LH de la Drance à Martigny, les crêtes des crues de 1987 et 1993 étaient beaucoup moins élevées, de l'ordre de 100 m³/s. Par rapport à la crête de crue du Rhône, l'effet protecteur des barrages à la confluence de la Drance a été évalué par Biedermann et al. (1996) à env. 25–30 m³/s en 1987 et 1993. Globalement à l'aval de la Salanfe, nous avons estimé la contribution des barrages dans le Rhône à 214 m³/s en 2000. Biederman et al. (1996) ont estimé la contribution à 262 m³/s en 1993 et 314 m³/s en 1987.

En bref

L'examen détaillé des hydrogrammes de débits des crues des années 1987, 1993 et 2000 montre, pour le Rhône, des différences significatives dans la superposition des écoulements provenant des principales rivières latérales. A cet égard, les hydrogrammes du Rhône à Brigue et à Sion lors de la crue de 1993 sont bien différents de ceux de la crue de 2000. En 1993, les apports de tous les cours d'eau latéraux convergèrent pratiquement au même moment à Brigue; plus en aval, le pic de débit de la Viège se superpose, lui aussi, exactement à celui du Rhône. Cet état de choses génère des hydrogrammes du débit du Rhône présentant des pics très prononcés et abrupts. L'hydrogramme de la crue du Rhône d'octobre 2000 à Brigue comme à Sion se caractérise par une forme du pic sensiblement plus étalée. Cela s'explique par le fait que les débits de pointe des affluents parvinrent dans le lit du Rhône chaque fois avant le pic maximal de ce cours d'eau. S'il y avait eu concomitance des apports comme en 1993, les débits de crue dans le Rhône auraient été notablement plus importants que ceux constatés.

3.3 Statistische Einordnung

Hugo Aschwanden, Armin Petrascheck

In Kapitel 3.1.2 wurde anhand der im Rhoneeinzugsgebiet maximal gemessenen Abflussspenden aufgezeigt, dass das Ereignis vom Oktober für die Saltina und die Rhone ab Brig zwar ausserordentlich, aber dennoch aufgrund der Flächen-Abflussbeziehung in einem zu erwartenden Rahmen liegt. Die Fig. 3-9 zeigt, dass es an der Rhone immer wieder grosse Hochwasser gegeben hat, nur in Brig und in Porte du Scex liegen die Abflusswerte deutlich über den bisher beobachteten Spitzenwerten. Hierzu ist anzumerken:

- Die Station Brig lag vor 1965 oberhalb der Saltina-mündung. Da 1922 an der Saltina ein grosses Hochwasser bekannt ist, muss auch für dieses Jahr mit einer Abflussspitze in der gleichen Grössenordnung wie im Oktober 2000 gerechnet werden.
- Bei Porte du Scex wurde der Spitzenabfluss von 1948 durch Dammbürche stark gemildert.

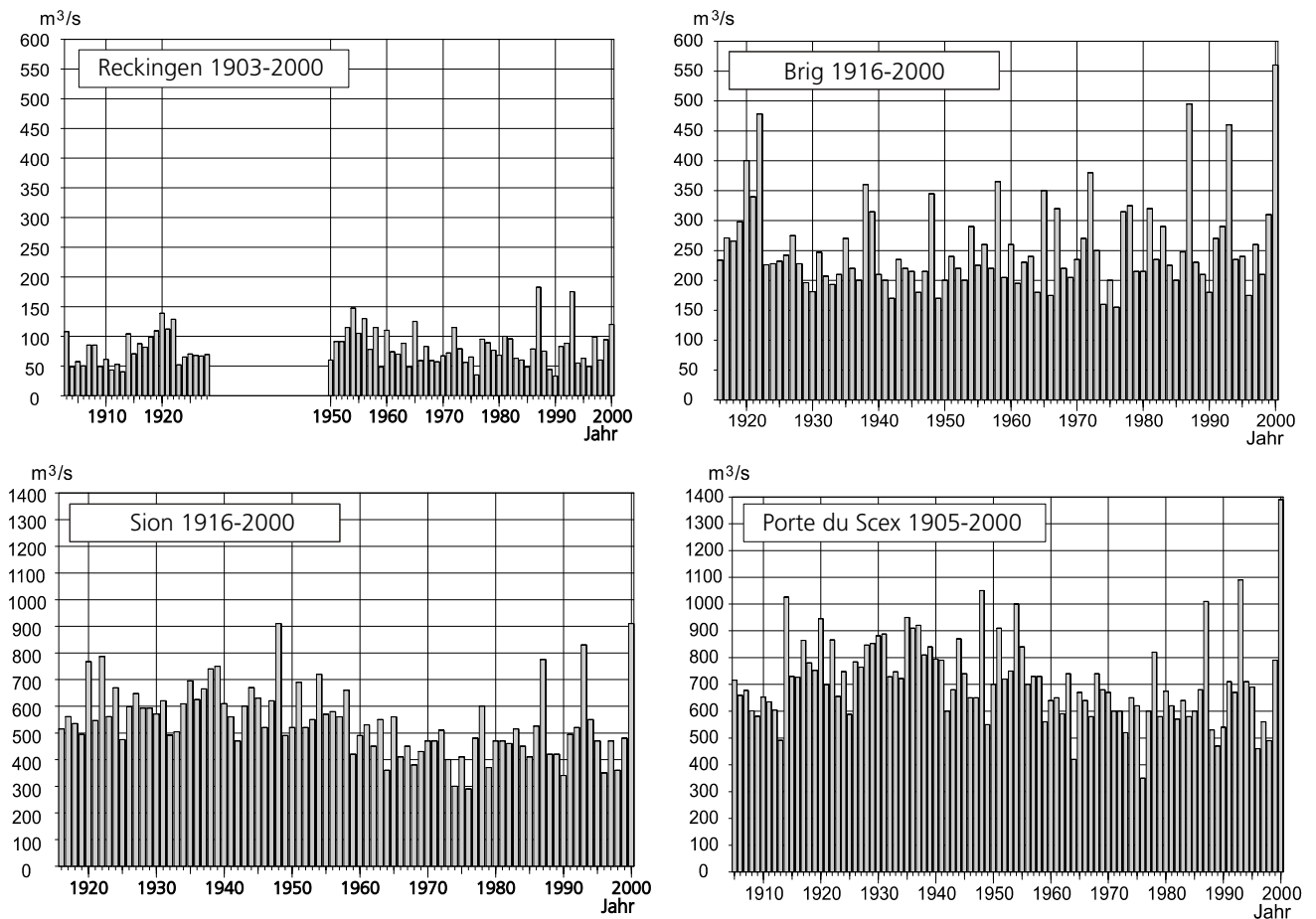


Fig. 3-9: Jährliche Abflusshöchstwerte entlang der Rhone.

Seit ca. 1935 sind die Abflüsse der Rhone unterhalb Brig zunehmend vom Kraftwerkeinfluss geprägt, was auch in Fig. 3-9 bei der Station Sion deutlich erkennbar ist. Unterteilt man die Beobachtungsreihen von Sion und Porte du Scex in eine unbeeinflusste (vor 1957) und in beeinflusste Periode (nach 1957), so können aus den Reihen folgende statistische Masszahlen ermittelt werden:

Station	Beeinflusste Periode	Unbeeinflusste Periode
Sion	1958–2000	1916–1957
Mittelwert (MHQ)	480 m³/s	604 m³/s
Streuung (S)	125 m³/s	95 m³/s
Variationskoeffizient	0.26	0.16
Porte du Scex	1958–2000	1906–1957
Mittelwert (MHQ)	655 m³/s	747 m³/s
Streuung (S)	173 m³/s	161 m³/s
Variationskoeffizient	0.26	0.22

Tab. 3-7: Statistische Masszahlen der Abfluss-Beobachtungsreihen von Sion und Porte du Scex.

Die mittleren Hochwasser haben durch die Retentionswirkung der Kraftwerke in Sion um 125 m³/s (20%) und in Porte du Scex um 100 m³/s (13%) abgenommen. Dafür hat sich die Streuung in Sion markant und in Porte du Scex etwas schwächer erhöht. Diese Veränderung ist eine Folge der Rückhaltewirkung der Speicher, die relativ zur Grösse des Hochwassers gesehen, bei kleinen und mittleren Hochwasser ausgeprägter ist als bei Grossen. Zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit (oder der Wiederkehrperiode) gibt es eine Vielzahl von Methoden. Im Folgenden wurde – um vergleichbare Resultate zu erhalten – für alle Stationen einheitlich die Berechnung der Wahrscheinlichkeit nach Gumbel durchgeführt, wobei die Parameterschätzung nach der Momentenmethode erfolgte. Die Vertrauensgrenzen schliessen 80% der Werte ein. Unabhängig von Verteilungsfunktion oder Parameterschätzmethode besteht jedoch das Problem der Repräsentativität der Messperiode. Lange Reihen sind selten und wenn vorhanden, dann meist beeinflusst und somit nicht direkt vergleichbar. Hinzu kommt ein möglicher Effekt einer Klimaerwärmung. So zeigte die Studie CONSECRU (Lang et al., 1996) dass die Starkniederschläge in den letzten 30 Jahren um 30 bis 50% zugenommen haben. Somit kann auch ein nicht durch den Menschen beeinflusstes Abflussregime Veränderungen aufweisen. Alle Angaben von Eintretenswahrscheinlichkeiten sind daher grundsätzlich Schätzwerte, die innerhalb der Vertrauensgrenzen eine Grössenordnung

angeben. Der Effekt der Messperiode sei am Beispiel der Saltina* aufgezeigt.

Ausgewertete Periode	MHQ (m³/s)	S (m³/s)	HQ ₁₀₀ (m³/s)	WKP von 125 m³/s (Jahre)
1966–1990	42.2	20.0	105	250
1966–1995	44.0	22.0	115	200
1966–2000	44.5	25.7	125	100

Tab. 3-8: Einfluss der Messperiode auf die berechnete Wiederkehrperiode am Beispiel der Saltina.

Durch den Einbezug zweier grosser Abflüsse (1993 = 95 m³/s und 2000 = 125 m³/s) hat sich der Mittelwert (MHQ) um 5% und die Streuung um 30% erhöht. Dies wirkt sich auf die Berechnung eines HQ₁₀₀ mit einer Erhöhung um 19% aus, beziehungsweise einem Abfluss von 125 m³/s hätte man 1990 eine Wiederkehrperiode von 250 Jahren zugeordnet, während diese heute auf etwa 100 Jahre geschätzt werden muss. Dies zeigt auch wie empfindlich die Wiederkehrperiode auf den Einbezug einzelner grosser Hochwasserspitzen reagiert. So steigt die Wiederkehrperiode um das 2.5-fache obwohl der Abflusswert sich nur um 19% ändert. Hinzu kommt, dass bei der Bestimmung der Spitzenabflüsse mit einem Fehler von 10 bis 20% zu rechnen ist. Die Ergebnisse ändern sich nicht mehr substantiell, wenn noch weitere grosse Hochwasser ausserhalb der Messperiode (z. B. 1920 = 65–85 m³/s oder 1922 = 60–80 m³/s) berücksichtigt werden, da die vorhandene Stichprobe bereits zwei sehr grosse Werte einschliesst und somit einen ungewöhnlich hohen Variationskoeffizienten ($S/MHQ = 0,58$) aufweist.

* Verwendet wurden die oberen Grenzwerte der korrigierten Abflusswerte nach VAW (1994).

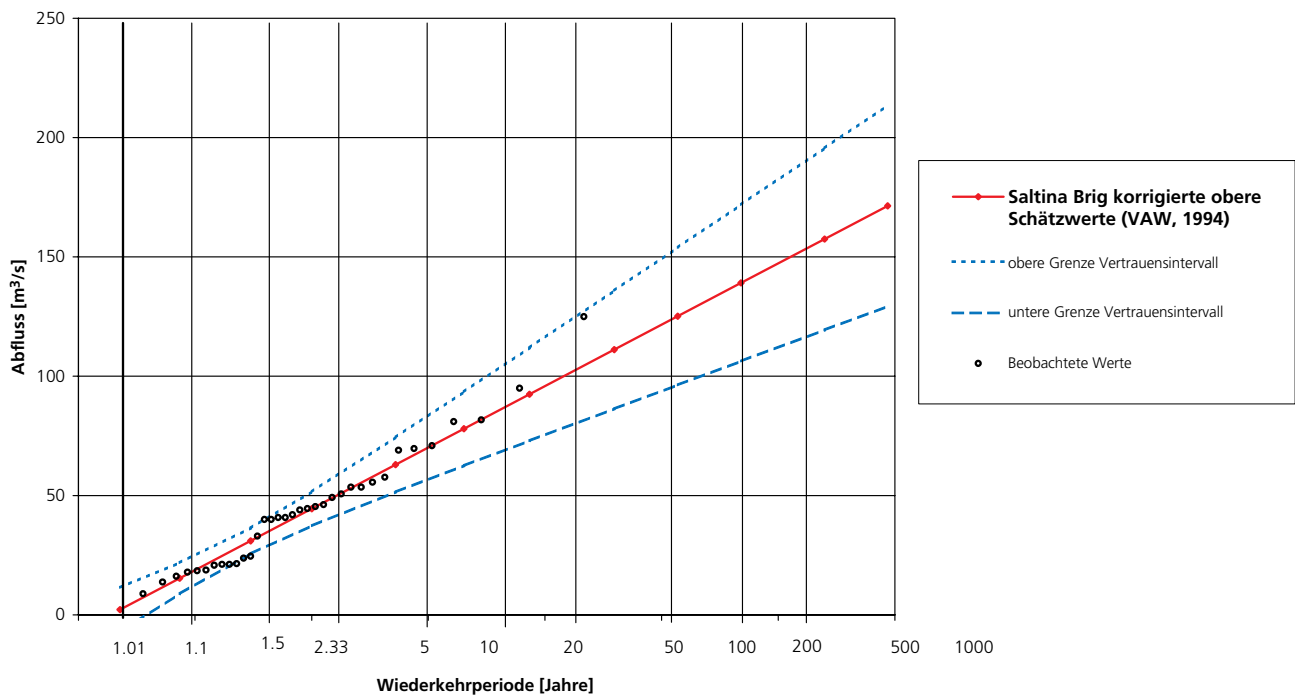


Fig. 3-10: Hochwasserwahrscheinlichkeit der Saltina in Brig.

Die statistischen Berechnungen für die nicht oder nur wenig durch den Kraftwerksbetrieb beeinflussten Stationen sind in Tab. 3-9 zusammen gestellt.

Station	beob. seit bzw. Berechnungszeitraum	HQ _{max} Q (m³/s) vor 2000	Jahr HQ _{max} vor 2000	HQ ₂₀₀₀ (m³/s)	R ₂₀₀₀	Wiederkehr- periode
Goneri – Oberwald	1991	47	1993	53	1	(15)
Rhone – Reckingen	1903–1928, 1950	182.5	1987	120	8	5–10–20
Massa – Blatten bei Naters	1903	196.2	1913	120	7	15–20–40
Saltina – Brig	1966	100	1993	125	1	40–100–1000
Rhone – Brig	1966	495	1987	560	1	40–110–800
Lonza – Blatten	1956	81	1971	61	3	15–30–90
Krummbach – Klusmatten	1952	30.5	1972	22	2	15–30–90
Riale Calneggia – Cavigno	1967	105	1987	72	4	10
W. Lutschinen – Zweilutschinen	1933	110	1933	82	12	10
Lutschine – Gsteig	1920	180	1948	90	1	85

R₂₀₀₀
Wiederkehrperiode

Rangzahl des Hochwassers 2000 innerhalb der gesamten Messreihe
Wiederkehrperioden in Jahren inkl. 10%-Vertrauensintervall: untere Grenze – Mittelwert – obere Grenze.

Tab. 3-9: Wiederkehrperioden der Hochwasser vom Oktober 2000.

Es zeigt sich, dass im Kern des Niederschlagsereignisses im Raum Brig, das Ereignis als ungefähr 100-jährliches bezeichnet, im Goms und nördlich der Rhone jedoch als 20- bis 30-jährliches Ereignis eingestuft werden kann. Unerklärlich ist der relativ kleine Spitzenabfluss des Krummbaches dessen Einzugsgebiet im Niederschlagszentrum lag und wo an den benachbarten Einzugsgebieten (Grosses Wasser, Doveria) gemäss den Beobachtungen sehr hohe Abflüsse auftraten (vgl. Fallbeispiele).

Die durch den Kraftwerksbetrieb beeinflussten Stationen müssen gesondert diskutiert werden. Am Beispiel der Station Sion wurden die Abflüsse der Jahre 1987, 1993 und 2000 um 270, 225 und 125 m³/s erhöht, was der Abminderung durch die Speicher entspricht. Anschliessend wurden die beeinflussten Jahre aus der Periode 1957 bis 2000 durch beliebige Werte der vorangegangenen unbeeinflussten Periode ersetzt. Das Ergebnis ist eine synthetische Reihe, die in ihren statistischen Eigenschaften den natürlichen ungestörten Verhältnissen entspricht.

Füllungsgrad am Beginn des Ereignisses in unterschiedlichem Ausmass, kann die Eintretenswahrscheinlichkeit von Abflüssen grösser als 1000 m³/s niedriger angesetzt werden und dürfte 1/100 pro Jahr nicht überschreiten.

Ähnlich wurde für Porte du Scex vorgegangen, wobei dort der durch die Deichbrüche beeinflusste Wert von 1948 nicht korrigiert werden konnte. Es fällt auf, dass der Wert vom Oktober 2000 deutlich grösser als alle beobachteten Werte ist und dem Ereignis eine Wahrscheinlichkeit zwischen 1/200 und 1/1000 zuzuordnen wäre. Grundsätzlich war auch bei Porte du Scex eine höhere Wiederkehrperiode im Vergleich zu Sion zu erwarten, da 1987 und 1993 der Beitrag der Drance deutlich geringer war. Starkniederschläge, die sich auf das Oberwallis beschränken, sind häufiger als Wetterlagen, die das gesamte Wallis betreffen. Vergleichbare grossflächige Niederschlagsituationen traten 1948 oder 1920 auf.

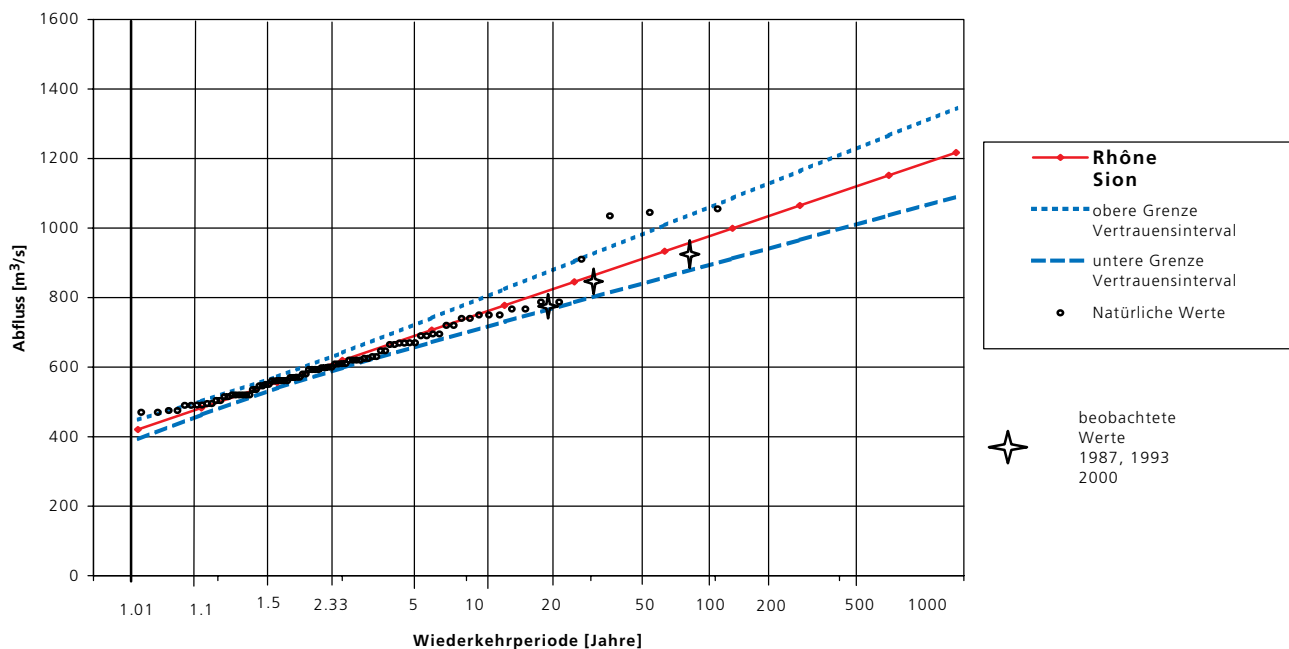


Fig. 3-11: Hochwasserwahrscheinlichkeit der Rhône bei Sion. Durch den Kraftwerksbetrieb unbeeinflusste Reihe 1916–1957 ergänzt bis 2000. Die beobachteten Hochwasserabflüsse vom Oktober 2000 wurden um den Rückhalt der Kraftwerksspeicher erhöht.

Man erkennt, dass die drei erwähnten Hochwasser mit Werten zwischen 1000 und 1050 m³/s etwa gleich gross gewesen wären und ihnen eine Wiederkehrperiode zwischen 50 und 200 Jahren zuzuordnen wäre*. Diese Angabe der Wahrscheinlichkeit bezieht sich auf das unbeeinflusste Ereignis. Da jedoch der Speicherrückhalt immer wirken wird, jedoch, je nach

* Die Berechnungen wurden mit einer Gumbelverteilung und einem Vertrauensintervall von 80% durchgeführt. Die Parameterschätzung erfolgte nach der Momentenmethode.

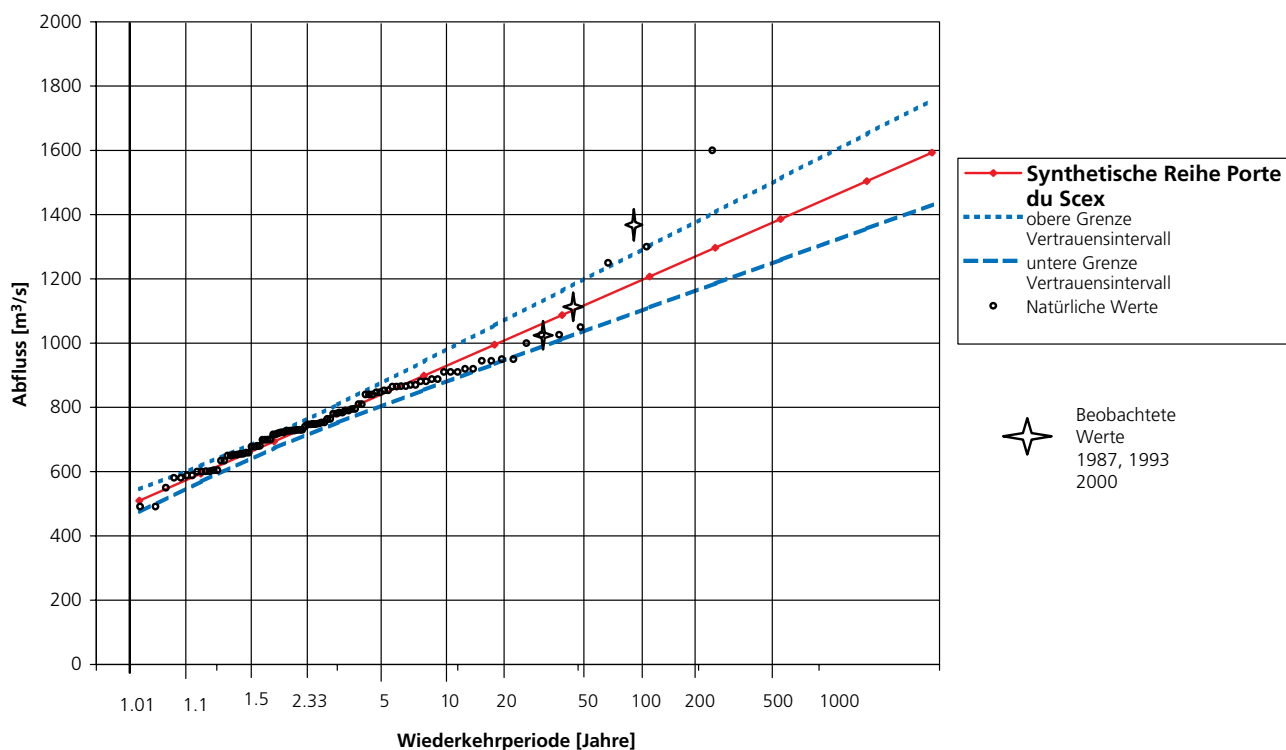


Fig. 3-12: Hochwasserwahrscheinlichkeit von Porte du Scex. Unbeeinflusste Periode von 1905–1957 verlängert bis 2000. Die beobachteten Hochwasserabflüsse vom Oktober 2000 wurden um den Rückhalt der Kraftwerksspeicher erhöht.

Für Branson ist die unbeeinflusste Periode (1941–1957) zu kurz um vergleichbare Bestimmungen der Wahrscheinlichkeit zu machen. Es wurden der Einfachheit halber nur die statistischen Parameter der natürlichen Periode 1941 bis 1957 bestimmt und die Wahrscheinlichkeit des um den Speichereinfluss bereinigten Wertes mit diesen Parametern berechnet. Die gleichen Argumente gelten für die Drance in Martigny. Dieses Vorgehen führt zu einer Überschätzung der Wiederkehrperiode, da die kurze beobachtete Reihe keine grossen Abflusswerte enthält, welche die Streuung erhöhen würden.

Statistisch ausreichendes Material bietet noch die Vispa in Visp, wobei 1993 der beobachtete Wert durch das Anspringen der Hochwasserentlastung im Speicher Mattmark innerhalb der beeinflussten Periode ausserordentlich hoch ist. Im Oktober 2000 konnte durch ein besonders geschicktes Bewirtschaften verhindert werden, dass die Hochwasserentlastung erneut ansprang. Ohne Kraftwerkseinfluss würde das Ereignis Oktober 2000 etwa den 4. Rang einnehmen und ist deutlich kleiner als 1993, 1987 und 1948. Der beobachtete Abfluss von 200 m³/s hätte natürlich eine Wiederkehrperiode von drei Jahren, der rekonstruierte umbeeinflusste Abfluss von 280–300 m³/s eine von etwa 20 Jahren, was dem 4. Rang nach 1993, 1987

und 1948 in der seit 1922 beobachteten Station entspricht. Dass die Abflüsse an der Vispa – trotz der deutlich über 1993 liegenden Niederschlagsmengen – vergleichsweise als relativ häufig einzuordnen sind, hat seine Erklärung im Temperaturverlauf (vgl. Kap. 3.5). Für die beeinflussten Abflussreihen werden die Wahrscheinlichkeiten in Tab. 3-10 wiedergegeben, wobei unterschieden wird zwischen der Wiederkehrperiode des beobachteten Abflusses, errechnet aus der beeinflussten Reihe und der Wiederkehrperiode des Ereignisses, also des rekonstruierten natürlichen Abflusses aus einer unbeeinflussten Reihe.

Station	Beob. seit bzw. Be- rechnungs- zeitraum	HQ _{max} (m³/s)	Jahr HQ _{max}	HQ ₂₀₀₀ (m³/s)	R ₂₀₀₀	Wiederkehrperiode von HQ ₂₀₀₀	
						Beobachtete beeinflusste Periode	Natürlich rekonstruiert
Saaser Vispa – Saas Balen	1956	190	1993	110	2	–	–
Vispa – Visp	1903	375	1948	200	17	8-12-40	10-20-30
– beeinflusste Periode	1965–2000						
Rhone – Sion	1916–2000	910	1948	910	1	50-150-800	80-200-900
– beeinflusste Periode	1957–2000						
Rhone-Branson	1941	940	1948	980	1	40-200-1000	50-200>1000
– beeinflusste Periode	1957–2000						
Rhone-Porte du Scex	1905–2000	1090	1993	1370	1	100–450->1000	200-900>1000
– beeinflusste Periode	1957–2000						
Drance-Martigny	1907–14	97	1994	180	1	(10-50-500)	(5-20-500)
– beeinflusste Periode	1991–2000						

R₂₀₀₀ Rangzahl des Hochwassers 2000 innerhalb der gesamten Messreihe.

Wiederkehrperiode Wiederkehrperiode in Jahren inkl. 10% Vertrauensintervall: untere Grenze – *Mittelwert* – obere Grenze.

Tab. 3-10: Wahrscheinlichkeiten des Hochwassers Oktober 2000 für die durch den Kraftwerksbetrieb beeinflussten Stationen.

Die aus der meist kürzeren beeinflussten Periode gewonnenen Wiederkehrperioden unterscheiden sich nicht signifikant von den durch Rekonstruktion gewonnen Wahrscheinlichkeiten. Eine Tendenz zur Überschätzung der Wiederkehrperiode muss zumindest für Sion und Branson angenommen werden, denn die 85 Jahre lange Messperiode enthält drei Ereignisse, die ohne Kraftwerke den Abfluss von 1000 m³/s überschritten hätten. Dies entspricht einer empirischen Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{30}$ und nicht dem rechnerischen Wert von $\frac{1}{(150-200)}$.

Fazit

In einer zusammenfassenden Beurteilung lässt sich das Hochwasser der Rhône im Goms als 20-50-jährliches von Brig bis Sion als 100- jährliches und unterhalb als 200- bis 300- jährliches Ereignis einstufen. Die Wiederkehrperioden der seitlichen Zubringer liegen im Bereich von 20 bis 50 Jahren, wobei für die Niederschlagszentren (Binna, Saltina) 100 Jahre und im Simplongebiet noch höhere Wiederkehrperioden angenommen werden können.

3.4 Analyse der Spitzenabflüsse im Einzugsgebiet der Rhone

Christoph Hegg, Daniel Näf, Christoph Graf,
Franziska Schmid, Dieter Rickenmann,
Stéphanie Besson

Um eine möglichst breit abgestützte Analyse der Spitzenabflüsse zu erlauben, wurden diese ergänzend zu den in Kap. 3.1 beschriebenen Abflussmessungen der Landeshydrologie für verschiedene Gerinne im Einzugsgebiet der Rhone anhand von Querprofilen abgeschätzt. In der Regel wurden dazu ein bis zwei Profile in den wichtigsten, nicht mit einer Abflussmessstelle ausgerüsteten Zuflüssen der Rhone, unmittelbar oberhalb des Kegelhalses vermessen. Ausnahmen bilden der Baltschiederbach und die Gamsa, wo im Rahmen weiterführender Untersuchungen zahlreiche Profile eingemessen und auch Niederschlags-Abfluss-Analysen durchgeführt wurden (vgl. Fallbeispiele «Baltschieder» und «Gamsa»). Eine weitere Ausnahme bildet die Lonza, wo eine Abflussmessung der Kraftwerksgesellschaft einen wesentlichen Teil des Einzugsgebiets berücksichtigt und so eine genauere Schätzung des Spitzenabflusses am Kegelhals ermöglichte (vgl. Fallbeispiel «Lonza»). Die Abflussmessung des Elektrizitätswerks an der Navisance in Mottec ist zu weit vom Kegelhals entfernt, als dass sie Wesentliches zur genaueren Bestimmung des Spitzenabflusses in Chipis beitragen könnte. Sie wird aber in den nachfolgenden Erläuterungen ebenfalls berücksichtigt. Für die Berechnung der in Tab. 3-11 angegebenen Bandbreiten der Spitzenabflüsse aus den durch die

WSL vermessenen Querprofilen wurden verschiedene Abschätzformeln zur Bestimmung der Fliessgeschwindigkeit verwendet (Barnes, 1967, Hicks and Mason, 1991, Jarret, 1984, Rickenmann, 1996). Dabei wurden auch Verfahren verwendet, welche den Einfluss des Geschiebetransports berücksichtigen. Aus den Bandbreiten, welche diese verschiedenen Formeln mit plausiblen Parameterwerten ergeben, wurden gutachterlich die in Tab. 3-11 bzw. Fig. 3-13 angegebenen oberen und unteren Grenzwerte des Spitzenabflusses bestimmt.

Zusätzlich sind in Tab. 3-11 die spezifischen Spitzenabflüsse der Einzugsgebiete angegeben. Dabei fallen insbesondere der Mundbach, die Lienne, die Printse und die Lizerne auf. Der Mundbach, die Lizerne und die Printse weisen ausserordentlich hohe spezifische Abflüsse auf, die Lizerne einen ausserordentlich tiefen. In der Lizerne und in der Lienne könnten nicht quantifizierte Einflüsse von Kraftwerken eine gewisse Rolle gespielt haben. Allerdings können auch Messfehler nicht ausgeschlossen werden. Im Mundbach und in der Printse dürfte die Ursache darin liegen, dass kein Profil gefunden wurde, dessen Querschnitt nicht massiv durch die während dem Ereignis aufgetretene Erosion verändert wurde. Die vier Gerinne werden deshalb in den nachfolgenden Überlegungen nicht berücksichtigt.

Einzugsgebiet	Einzugsgebietsfläche (km ²)	Spitzenabfluss (m ³ /s)	Spez. Spitzenabfluss (m ³ /s*km ²)	Bemerkung
Binna	118	80–180 180	0.68–1.53 1.53	Q: Profil WSL Messung LH
Kelchbach-Naters	31.1	25–40	0.8–1.3	Q: Profil WSL
Mundbach	22.9	50–100	2.2–4.4	Q: Profil WSL <i>sehr unsicheres Profil</i>
Gamsa-Gamsen	38.9 38.9 38.9	70–150 65–70 65–75	1.8–3.8 1.7–1.8 1.7–1.9	Q: Profil WSL Q: Profil Bodenmann Q: Profil Jäggi
Baltschiederbach-Baltschieder	44.7	80–120	1.7–2.7	Q: Profil WSL
Lonza-Ferden	124.2	90.5	0.73	Abflussmessung EW
Lonza-Steg	161.9 161.9	50–100 90–95	0.3–0.6 0.56–0.59	Q: Profil WSL Q: vgl. Fallbeispiel
Turtmanna – Turtmann	107.7	15–20	0.13–0.19	Q: Profil WSL
Dala-Leuk	55.5	20–30	0.37–0.55	Q: Profil WSL Kraftwerkszufluss nicht berücksichtigt
Navisance – Mottec	90	22.0	0.24	Abflussmessung EW
Navisance – Chippis	254	50–80	0.2–0.32	Q: Profil WSL
La Lienne	76.9	2–4	~0	Q: Profil WSL
La Borgne – Bramois	387.5	50–65	0.13–0.17	Q: Profil WSL
La Printse – Aproz	71.1	60–130	0.85–1.8	Q: Profil WSL <i>sehr unsicheres Profil</i>
La Morge – Conthey	66.8	30–50	0.45–0.75	Q: Profil WSL
La Lizerne – Ardon Kanal, KW – Einfluss unklar	62.5	130–150	2.0–2.4	Q: Profil WSL
Le Trient – Vernayaz	160.9	50–100	0.31–0.62	Q: Profil WSL
La Vièze – Monthey	145.2	45–90	0.31–0.62	Q: Profil WSL
Grosses Wasser	46.8	350–450	7.5–9.6	Q: vgl. Fallbeispiel
Doveria	123.2	200–300	1.6–2.4	Q: vgl. Fallbeispiel

Tab. 3-11: Spitzenabflüsse in ausgewählten Seitengerinnen der Rhone während dem Hochwasserereignis vom 15./16. Oktober 2000. Kursiv geschriebene Messungen sind in den weiteren Erläuterungen nicht berücksichtigt.

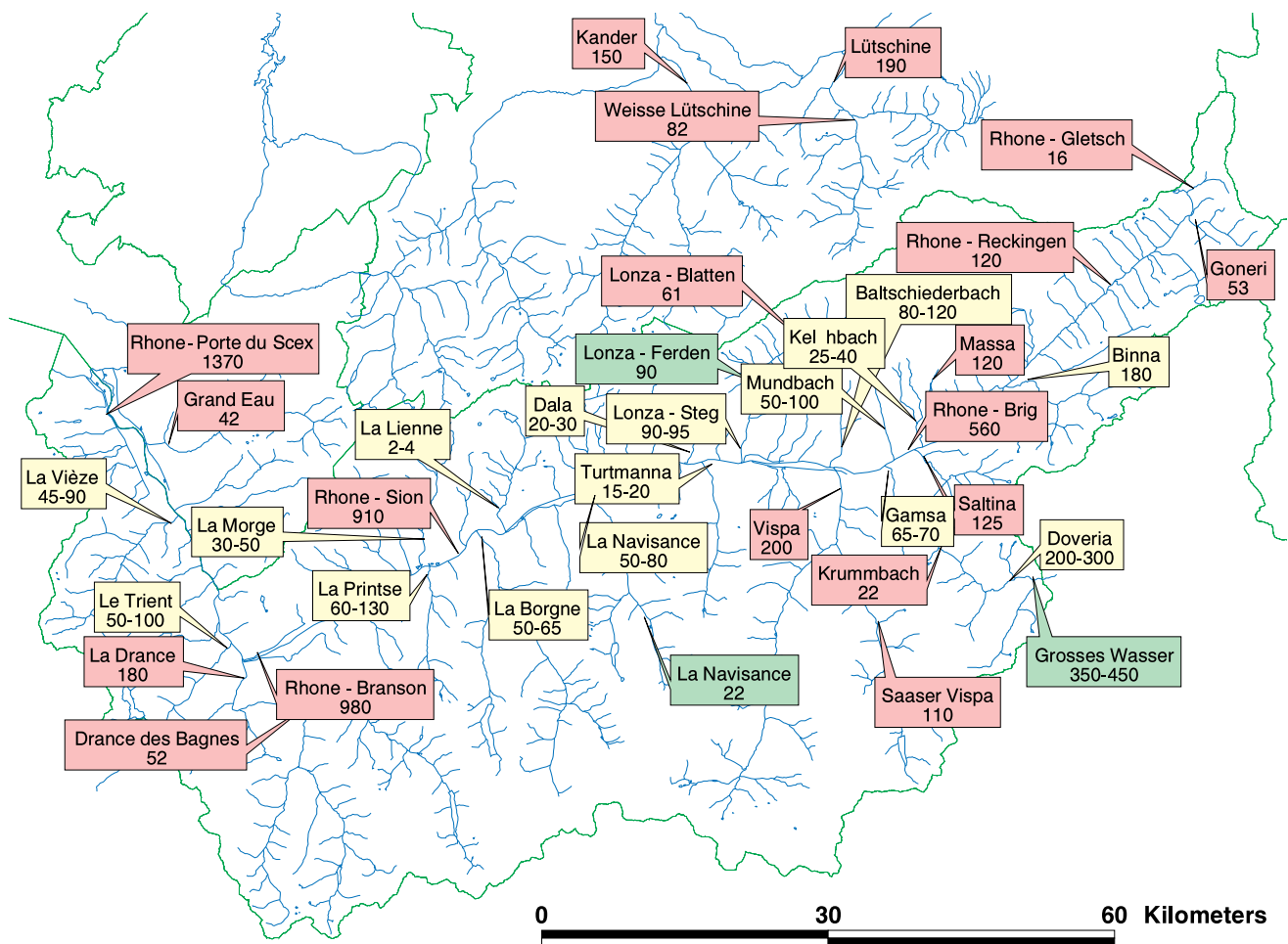


Fig. 3-13: Spitzenabflüsse anlässlich dem Hochwasser vom 15. Oktober 2000. Rot hinterlegt sind die Abflussmessungen der Landeshydrologie, grün jene von Kraftwerksbetreibern und gelb die anhand von Hochwasserspuren geschätzten Spitzenabflüsse aus Tab. 3-12. Alle Angaben in m³/s.

In Tab. 3-12 und in Fig. 3-13 sind alle Angaben zu Spitzenabflüssen zusammengestellt, die aus dem Valais sowie den angrenzenden vom Hochwasser betroffenen Gebieten verfügbar sind. Dort wo für einen Gerinnequerschnitt mehrere Angaben zur Verfügung standen, ist jeweils nur die beste Schätzung dargestellt. In der untenstehenden Tabelle sind ergänzend die wichtigsten Einzugsgebietseigenschaften sowie die jeweiligen Gebietsniederschläge angegeben. Der Gebietsniederschlag wurde anhand der 1-stündlichen räumlichen Interpolationen des Niederschlagsfeldes bestimmt, welche auch den Analysen in Kapitel 2.2.6 zugrunde gelegt wurden.

Die spezifischen Spitzenabflüsse aus Tab. 3-12 sind in Fig. 3-14 ebenfalls räumlich dargestellt. Bei Bächen für die eine Bandbreite für den Spitzenabfluss angegeben ist, wurde jeweils der Mittelwert verwendet. Aus dieser Karte geht hervor, dass sich die hohen spezifischen Spitzenabflüsse vor allem im Oberwallis konzentrieren, dass aber auch die Morge, die Vièze und der Trient erstaunlich hohe spezifische Abflüsse aufweisen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Abflüsse für diese drei Gerinne anhand von Querprofilen abgeschätzt wurden. Wird nämlich anstelle des Mittelwerts der untere Grenzwert der in angegebenen Bandbreite für den spezifischen Spitzenabfluss berücksichtigt, liegen die Werte durchaus im Bereich der benachbarten Einzugsgebiete.

2000 Einzugsgebiet	mittl. Einzugs- gebiethöhe (m ü.M.)	Fläche (km²)	Spitzenabfluss (m³/s)	spez. Spitzenabfluss (m³/s*km²)	Gebietsnieder- schlag 13.– 15.10.2000 (mm)
Grosses Wasser – Gondo	2071	46.8	350–450	7.5–9.6	610.15
Batschiederbach	2233	44.7	80–120	1.7–2.7	152.16
Gamsa	2179	38.9	65–70	1.65–1.8	297.42
Saltina – Brig	2025	77.9	125	1.60	403.75
Goneri – Oberwald	2372	40.8	53	1.30	232.46
Krummbach – Klusmatten	2263	19.8	22	1.11	495.13
Kelchbach – Naters	1955	31.1	25–40	0.8–1.3	180.87
Lonza – Blatten	2642	78	61	0.78	163.57
La Morge – Conthey	2096	66.8	30–50	0.45–0.75	78.89
Dala-Leuk	2045	55.5	20–30	0.37–0.55	92.73
Rhone – Gletsch	2712	40.70	15.7	0.38	98.41
Navisance–Mottec	3595	90	22	0.24	126.71
Doveria	2301	123.3	200–300	1.6–2.4	532.30
Binna	2237	118	80–180	0.68–1.53	471.44
Lonza – Ferden	2511	124.2	83.4	0.67	159.40
Massa – Blatten	2932	195.6	120	0.61	168.85
Lonza–Steg	2353	161.9	92	0.57	151.03
Rhone – Reckingen	2306	217.3	120	0.55	205.60
Saaser Vispa – Saas Balen	2793	202.7	110	0.54	390.95
Lütschine – Gsteig	2017	380.4	190	0.50	77.37
Weisse Lütschine – Zweilütschinen	2131	165.6	82	0.49	96.39
Le Trient – Vernayaz	1930	160.9	50–100	0.31–0.62	116.85
La Vièze – Monthey	1604	145.2	45–90	0.31–0.62	65.54
Grand Eau – Aigle	1539	134	4	0.31	61.87
Kander–Hondrich	1767	520	150	0.29	72.61
Drance de Bagnes – Le Chable	2635	254	52	0.20	176.34
La Navisance – Chippis	2405	254	50–80	0.2–0.32	118.46
Turtmanna – Turtmann	2509	107.7	15–20	0.13–0.19	128.33
La Borgne – Bramois	2378	387.5	50–65	0.13–0.17	135.45
Rhone–Brig	2339	909.1	560	0.62	269.61
Rhone – Sion	2335	3349	910	0.27	197.52
Rhone – Port du Sex	2193	5220	1370	0.26	170.15
Rhone – Branson	2264	3728	980	0.26	183.54
La Drance – Martigny	2237	688.3	180	0.26	173.72
Vispa – Visp	2655	789.6	200	0.25	264.84

Tab. 3-12: Abfluss- und Niederschlagskennwerte der analysierte Einzugsgebiete. Die drei Teile für kleine (< 100 km²), mittlere (100–600 km²) und grosse (> 600 km²) Einzugsgebiete sind nach abnehmendem spezifischem Spitzenabfluss sortiert.

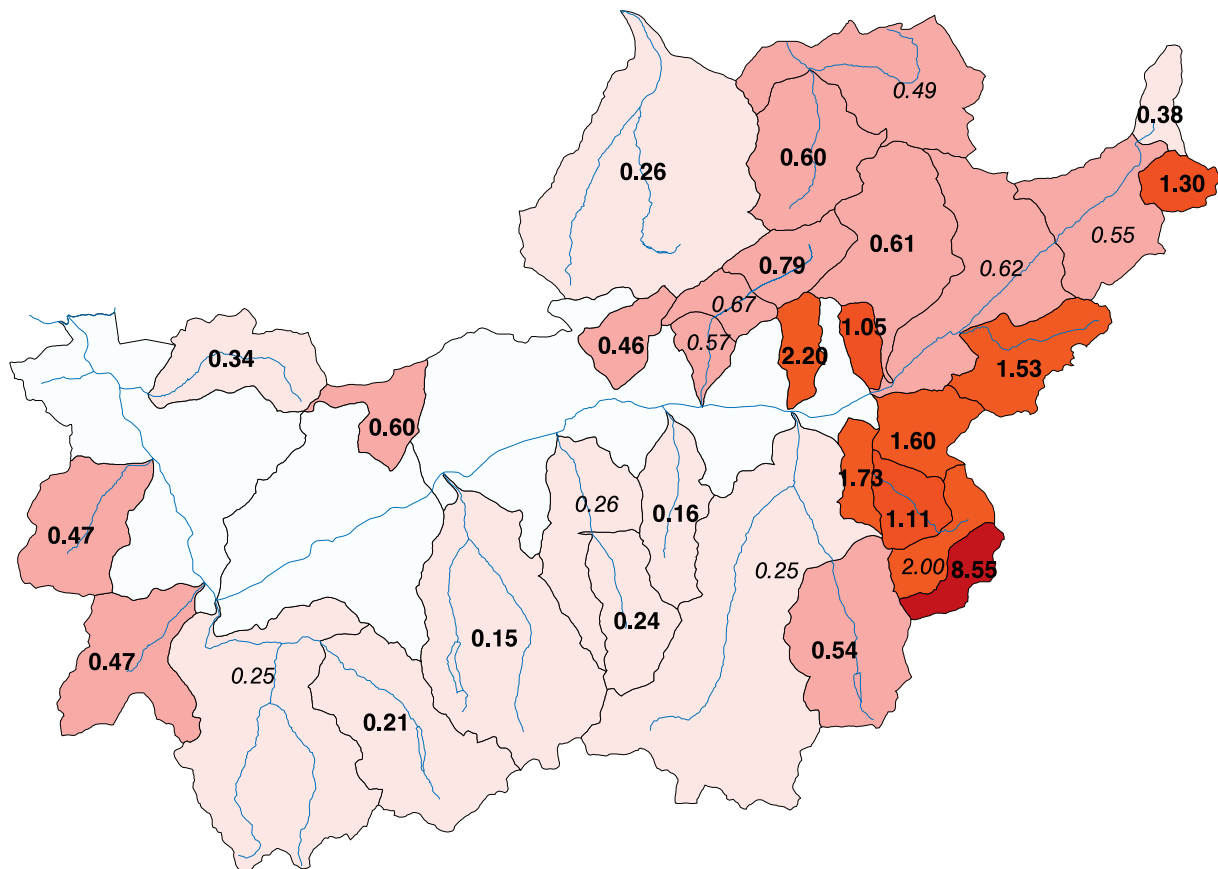


Fig. 3-14: Karte der spezifischen Spitzenabflüsse während dem Ereignis vom Oktober 2000. Die einzelnen Angaben sind in Tab. 3-13 aufgeführt. Für Einzugsgebiete, bei welchen dort eine Bandbreite angegeben ist, wurde der Mittelwert – fett geschrieben – eingesetzt. Zahlen, die kursiv geschrieben sind, beziehen sich auf das ganze Einzugsgebiet, inklusive allen obenliegenden Einzugsgebieten, für die eigene Werte angegeben sind.

Vergleicht man die Karte in Fig. 3-14 mit der Karte der Niederschläge während dem Ereignis von Oktober 2000 in Fig. 2-6 fällt auf, dass der Krummbach aber auch das ganze Einzugsgebiet der Vispa überraschend kleine Abflüsse aufweisen. So ist es auf den ersten Blick nicht erklärlich, weshalb der Krummbach einen deutlich tieferen spezifischen Abfluss aufweisen soll als sein Vorfluter, die Doveria. Während dies allenfalls noch mit dem nach Norden abnehmenden Niederschlag erklärt werden kann, ist es ohne detailliertere Analyse kaum erklärbar, weshalb die nördlich anschliessenden Einzugsgebiete der Gamsa und der Saltina deutlich höhere spezifische Spitzenabflüsse aufweisen sollen.

Auch das Einzugsgebiet der Vispa weist mit $0,25 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ einen überraschend tiefen spezifischen Spitzenabfluss auf. Dieser liegt in einer ähnlichen Grössenordnung wie die der westlich anschliessenden Einzugsgebiete bis zur Drance, obwohl zumindest der

süddöstliche Teil der Vispertäler von ausserordentlich heftigen Niederschlägen heimgesucht wurde. Wie weit dies mit der überdurchschnittlichen Höhenlage der Vispertäler und der in Kap. 2.3 erläuterten Tatsache, dass die Schneefallgrenze in den südlichen Zuflüssen der Rhone zeitweise sehr tief lag, zusammenhängt, wird in Kap. 3.5 erläutert.

Betrachtet man die spezifischen Spitzenabflüsse von Rhone, Vispa und Drance unterhalb von Brig, fällt auf, dass diese alle sehr ähnlich sind. Dies zeigt sich auch Fig. 3-15, wo die stetige Zunahme des Abflusses in der Rhone ersichtlich wird. Diese stetige Zunahme ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Niederschläge praktisch im ganzen Wallis intensiv und sehr ausgiebig waren und entsprechend verbreitet hohe Abflüsse beobachtet wurden.

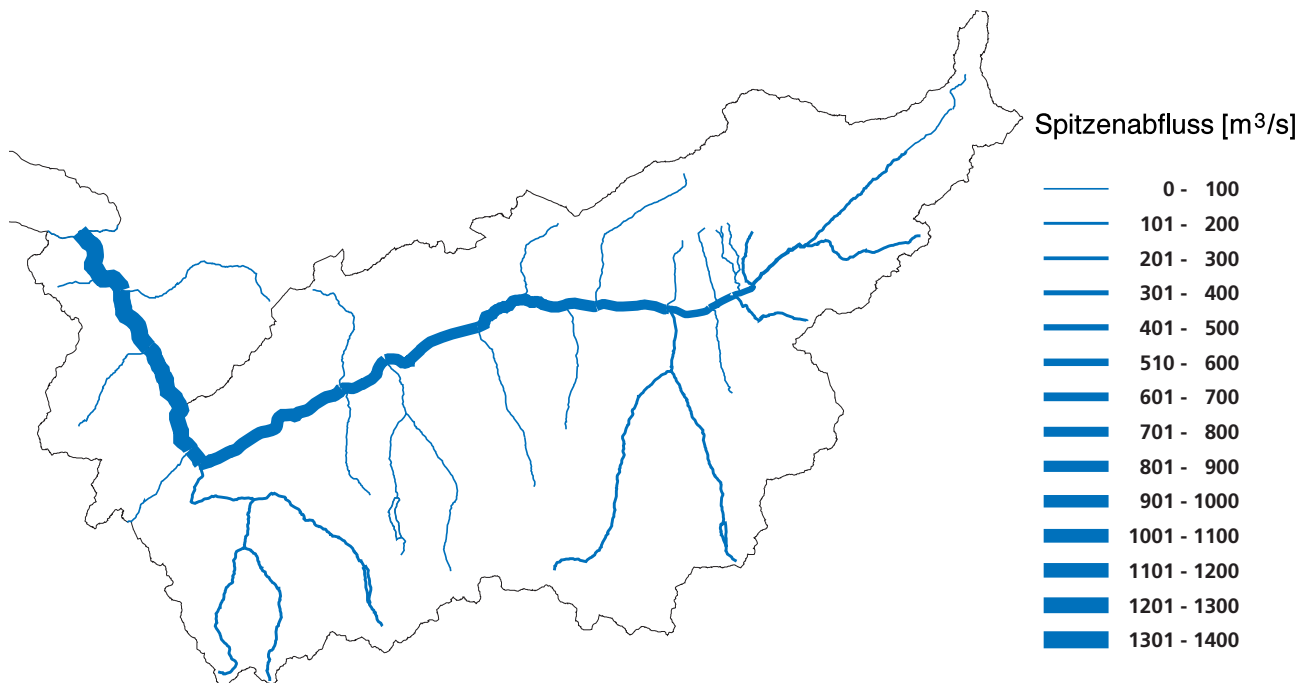


Fig. 3-15: Karte der Spitzenabflüsse im Einzugsgebiet der Rhone. Die Strichdicke symbolisiert den gemessenen bzw. den anhand von Querprofilen abgeschätzten Spitzenabfluss. Die seitlichen Zuflüsse der Rhone sind auf ihrer ganzen Länge entsprechend dem Spitzenabfluss bei der Mündung in die Rhone dargestellt. Für die Rhone wurde die Zunahme des Abflusses zwischen den einzelnen Messstellen proportional zum Ausmass der jeweiligen Zuflüsse aufgeteilt.

Ein weiteres Bild über das Ausmass der Abflüsse anlässlich des Hochwassers vom Oktober 2000 vermittelt die Fig. 3-16. Die Grundlage dazu bildet Fig. 3-4, welche hier aber um die Abflüsse ergänzt ist, die nicht von der Landeshydrologie (LH) gemessen wurden. Dabei zeigt sich, dass fast alle Gerinne, mit Ausnahme des Grossen Wassers und der Doveria auf der Südseite des Simplons, Spitzenabflüsse aufweisen, die innerhalb oder in der Nähe der Umhüllenden der an

den Stationen der LH gemessenen Werte liegen. Im Einzugsgebiet der Rhone liegen einzig der Baltschiederbach und die Binna im Bereich bzw. leicht oberhalb der bisher beobachteten Werte. Angesichts der grossen Schäden in Baltschieder bzw. der ausserordentlich intensiven Niederschläge und der entsprechenden Schäden im Binntal sind aber für diese Gerinne besonders hohe Abflüsse durchaus plausibel.

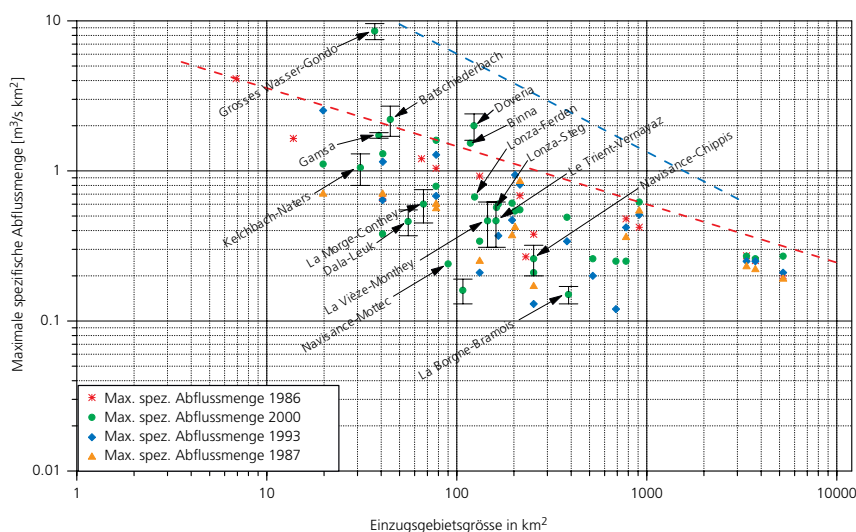


Fig. 3-16: Maximale Abflusspenden im Rhoneeinzugsgebiet. Die rote gestrichelte Linie verbindet die höchsten bisher im Rhoneeinzugsgebiet an Stationen der LH gemessenen Abflusspenden, die blau gestrichelte jene aus dem Einzugsgebiet des Ticino.

Vergleicht man die Spitzenabflüsse der Doveria und des Grossen Wassers mit bisher auf der Alpensüdseite gemessenen Werten liegen sie im Rahmen dieser Werte. Erstaunlich ist vielmehr der Krummbach, liegt er doch deutlich unter dem maximalen Spitzenabfluss, der aufgrund von Fig. 3-16 für Einzugsgebiete seiner Grösse auf der Alpensüdseite erwartet wird. Zusammenfassend kann man deshalb sagen, dass alle beim Hochwasser vom Oktober 2000 beobachteten Spitzenabflüsse im Bereich der früheren Werte liegen. In Anbetracht der verbreitet sehr grossen Niederschlagsmengen sind auch weniger die hohen, als vielmehr die teilweise sehr tiefen Abflüsse überraschend, wie sie in verschiedenen Gerinnen beobachtet wurden. In Kap. 3.5 werden deshalb die Niederschlags-Abflussverhältnisse anhand der Messungen an den Stationen der Landeshydrologie im Hinblick darauf genauer untersucht, ob allenfalls der in Kap. 2.3 erläuterte unterschiedliche Temperaturverlauf einen wesentlichen Einfluss auf das Abflussgeschehen hatte.

Fazit

Die Analyse aller Angaben zu Spitzenabflüssen im Wallis (Abflussmessungen verschiedener Stellen und Abflussschätzungen basierend auf Querprofilen) zeigt, dass ein Grossteil der Walliser Bäche und Flüsse vom Hochwasser vom Oktober 2000 betroffen waren. Die beobachteten Abflüsse liegen teilweise im Bereich, oft aber unter den höchsten bisher gemessenen Werten. Dies gilt auch für Gerinne südlich des Simplons, wenn zum Vergleich Abflüsse aus dem Einzugsgebiet des Ticino verwendet werden.

3.5 Einfluss der Schneefallgrenze auf die Abflussbildung

Christoph Hegg

Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss sind erwiesenermassen recht komplex. Entsprechend kann in der Regel nicht direkt von den Jährlichkeiten für Niederschläge auf jene der daraus resultierenden Abflüsse geschlossen werden. Trotzdem ist es überraschend, wenn beim Ereignis vom Oktober 2000 in verschiedenen Gegenden Niederschläge gemessen wurden, die rechnerisch ausserordentlich selten zu erwarten sind (vgl. Kap. 2.2.5 und 2.2.6) während die gemessenen Abflüsse wohl in der Regel durchaus beträchtlich waren, ihre statistische Häufigkeit aber zum Teil um über 1 Grössenordnung unter jener der Niederschläge liegt (vgl. Kap. 3.3). Wie in Kap. 2.3 erläutert wurde, trat während dem

Hochwasser vom Oktober 2000 in den südlichen Walliser Tälern zum Zeitpunkt der intensivsten Niederschläge eine deutliche Abkühlung ein. Dabei sank die Schneefallgrenze im Gebiet zwischen dem Saastal und dem Val Ferret während einiger Stunden so stark ab, dass bis auf Höhen von etwa 2600 m ü. M. hinunter die Bildung einer Schneedecke beobachtet werden konnte. Diese hydrologisch bedeutende Grenze der Bildung einer Schneedecke kann für den von der Abkühlung nicht betroffenen Bereich für den 15. Oktober auf etwa 3000 m ü. M. angenommen werden. In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, wie sich die daraus resultierenden Schneefälle auf das Abflussgeschehen im Einzugsgebiet der Rhone ausgewirkt haben und wie weit sie die oben erwähnten Diskrepanzen zwischen Abflüssen und Niederschlägen erklären können. Dazu werden einerseits die Abflussspitzen und andererseits die Abflussvolumen, die an den Stationen der LH gemessen wurden, mit den Gebietsniederschlägen verglichen.

Da verschiedene Einzugsgebiete sehr unterschiedlich auf Niederschläge reagieren, werden dabei weniger die Abflussreaktionen im Oktober 2000 untereinander verglichen. Statt dessen werden die Verhältnisse beim Ereignis vom September 1993 als Referenz beigezogen. Damals lag die Schneefallgrenze etwa auf 3500 m ü. M.. Der Einfluss einer sich bildenden Schneedecke auf die Abflussbildung kann bei einer so hoch liegenden Schneefallgrenze weitgehend vernachlässigt werden, weisen doch die Massa und die Vispa mit je etwa 10% Fläche über 3500 m ü. M. als einzige Teileinzugsgebiete der Rhone einen grösseren Flächenanteil in diesem Höhenbereich auf.

Weil das Ereignis vom September 1993 die Station im Krummbach und in Saas Balen stark beschädigt hat, wird der Krummbach nicht und die Station Saas Balen nur für die Analyse der Abflussspitzen berücksichtigt.

3.5.1 Analyse der Abflussspitzen

Wie erwähnt, lag beim Ereignis vom September 1993 die Schneefallgrenze so hoch, dass ein Rückhalt in einer sich bildenden Schneedecke nur einen geringen Einfluss auf die Abflussverhältnisse hatte. Das Ereignis kann deshalb als Beispiel dafür verwendet werden, in welcher Art und Weise die Teileinzugsgebiete der Rhone aufgrund ihrer Gebietseigenschaften auf einen langdauernden Starkregen reagieren. Entsprechend sind im linken Bild in Fig. 3-17 die spezifischen Spitzenabflüsse aus dem September 1993 gegenüber den jeweiligen 3-Tages Gebietsniederschlägen aufgetragen. Die einzelnen Zahlenwerte für das Ereignis vom September 1993 sind in Tab. 3-13 zusammengestellt. Die Einzugsgebiete streuen erstaunlich wenig um die

Regressionsgerade, wenn man die unterschiedlichen Eigenschaften, wie z.B. eine unterschiedliche Dämpfung der Spitzen durch Speicherseen berücksichtigt. Offensichtlich trägt der aufsummierte Gebietsniederschlag einen erheblichen Teil zur Erklärung der Abflussreaktion der verschiedenen Gebiete bei. Ein wesentlicher Anteil der Streuung dürfte zudem auf die unterschiedlichen Einzugsgebietsgrößen zurückzuführen sein. So sind bei vergleichbaren Niederschlä-

gen die Spitzenabflüsse in grossen Einzugsgebieten eher kleiner als in kleinen Einzugsgebieten. Da die hier erläuterte Analyse vor allem für den Vergleich der Ereignisse 2000 und 1993 verwendet wird, und sich die unterschiedlichen Einzugsgebietsflächen bei beiden Ereignissen etwa gleich ausgewirkt haben, wird darauf verzichtet, in der Beziehung zwischen Niederschlag und Spitzenabfluss zusätzlich die Einzugsgebietsfläche zu berücksichtigen.

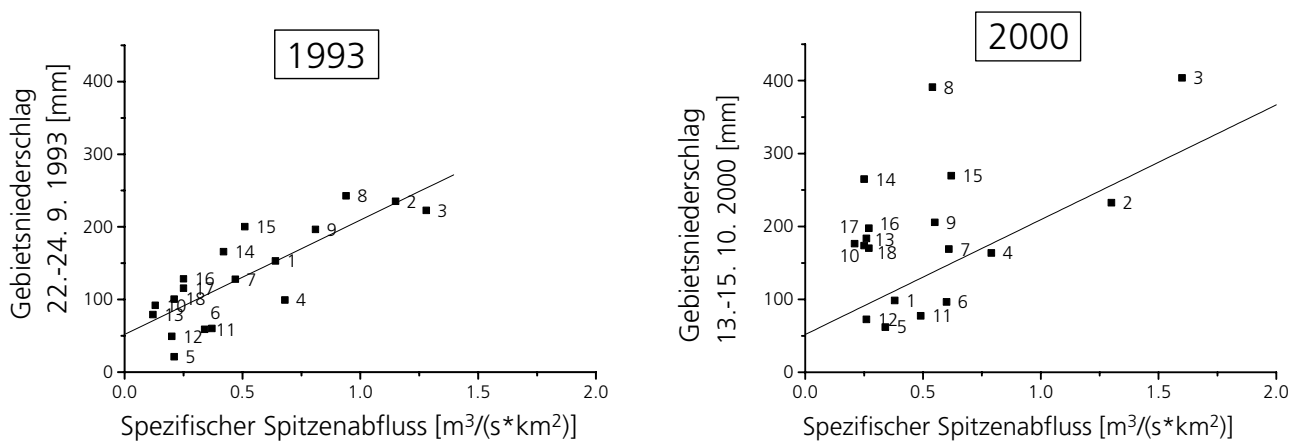
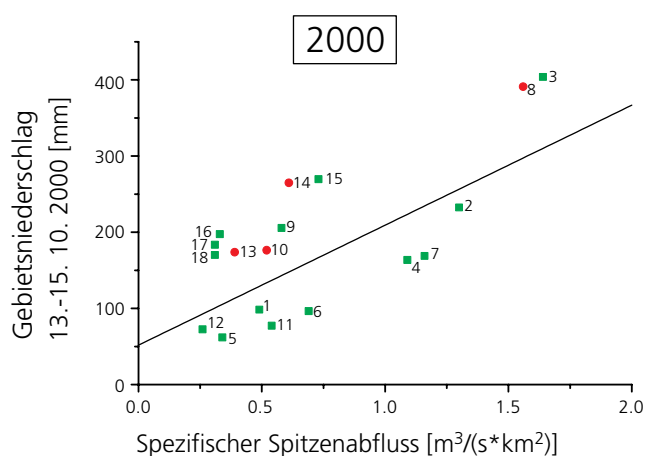


Fig. 3-17: Darstellung des spezifischen Spitzenabflusses gegenüber der entsprechenden Summe des Gebietsniederschlags für die Hochwasserereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000. Die Nummern bei den einzelnen Datenpunkten wurden nach aufsteigender Einzugsgebietsgrösse vergeben und sind in Tab. 3-13 angegeben. In beiden Diagrammen ist zusätzlich die Regressionsgerade für das Ereignis vom September 1993 eingetragen.

1993 Einzugsgebiet	Nr.	Fläche (km²)	Spitzenabfluss (m³/s)	Spez. Spitzenabfluss (m³/s*km²)	Gebietsniederschlag 22.-24.9. 1993 [mm]
Rhone – Gletsch	1	40.70	26.00	0.64	152.92
Goneri – Oberwald	2	40.8	47.00	1.15	235.11
Saltina – Brig	3	77.9	100	1.28	222.57
Lonza – Blatten	4	78	53	0.68	99.14
Grand Eau – Aigle	5	134	28	0.21	21.12
Weisse Lütschine – Zweilütschinen	6	165.6	61	0.37	60.00
Massa – Blatten	7	195.6	91	0.47	127.84
Saaser Vispa - Saas Balen	8	202.7	190	0.94	242.70
Rhone – Reckingen	9	217.30	175	0.81	196.36
Drance de Bagnes – Le Chable	10	254	32	0.13	91.86
Lütschine – Gsteig	11	380.4	130	0.34	58.93
Kander-Hondrich	12	520	105	0.20	49.16
La Drance – Martigny	13	688.3	85	0.12	79.21
Vispa – Visp	14	789.6	330	0.42	165.73
Rhone-Brig	15	909.1	460	0.51	200.14
Rhone – Sion	16	3349	830	0.25	128.35
Rhone – Branson	17	3728	930	0.25	115.41
Rhone – Porte du Scex	18	5220	1090	0.21	100.44

Tab. 3-13: Abfluss- und Niederschlagskennwerte von ausgewählten gemessenen Einzugsgebieten für das Hochwasser vom September 1993. Die Einzugsgebiete sind nach aufsteigender Einzugsgebietsfläche sortiert.

Stellt man nun die Niederschläge und die Spitzenabflüsse für das Ereignis vom Oktober 2000 gleich dar, wie dies im linken Bild in Fig. 3-17 für das Ereignis vom September 1993 geschehen ist, ergibt sich das Resultat im rechten Bild. Dabei weichen die Punkte zum Teil deutlich von der Regressionsgerade des Ereignisses vom September 1993 ab und streuen auch gegenseitig viel stärker. Besonders auffällig sind dabei die Saaser Vispa (Nr. 8) und die Vispa bis Visp (Nr. 14), weisen diese doch einen ausserordentlich tiefen spezifischen Spitzenabfluss auf.



Berücksichtigt man aber, wie in Fig. 3-18 dargestellt, die in Kap. 2.3 erläuterten Schneefallgrenzen für die jeweiligen Einzugsgebiete, wird die Streuung viel kleiner und die Werte gruppieren sich um die Regressionsgerade aus dem September 1993. Die einzelnen Zahlenwerte zum Ereignis vom Oktober 2000 sind in Tab. 3-14 zusammengestellt.

Einen besonders starken Einfluss hatte die tiefe Lage der Schneefallgrenze im Einzugsgebiet der Vispa, ist doch der spezifische Spitzenabfluss sowohl in Visp als auch in Saas Balen 2–3 mal grösser, wenn man nur die berechnete statt der ganzen Einzugsgebietsfläche berücksichtigt. Da sich auch für die beiden Stationen an der Drance mit einer Grenze für die Bildung einer Schneedecke von 2600 m ü. M. vernünftiger Werte ergeben, als mit einer von 3000 m ü. M., kann davon ausgegangen werden, dass das Absinken der Schneefallgrenze in den südlichen Wallisertälern einen massgebenden Einfluss auf die Spitzenabflüsse in diesen

Fig. 3-18: Darstellung des spezifischen Spitzenabflusses gegenüber der entsprechenden Summe des Gebietsniederschlags für das Hochwasserereignis vom Oktober 2000 unter Berücksichtigung der Schneefallgrenze. Für die grün dargestellten Punkte wurde eine Grenze für die Bildung einer Schneedecke von 3000 m ü. M. angenommen, für die rot dargestellten eine von 2600 m ü. M. Im Diagramm ist zusätzlich die Regressionsgerade für das Ereignis vom September 1993 eingetragen.

Einzugsgebiet 2000	Fläche (km²)	Spitzenabfluss (m³/s)	Spez. Spitzenabfluss (m³/s*km²)	Anteil Fläche über 3000 m (-)	Spez. Spitzenabfluss über 3000 m (m³/s*km²)	Anteil Fläche über 2600 m (-)	Spez. Spitzenabfluss über 2600 m (m³/s*km²)	Gebiets-Niederschlag 13.-15.10.2000 (mm)
Rhone – Gletsch	40.70	15.7	0.38	0.24	0.51	0.64		98.41
Goneri – Oberwald	40.8	53	1.30	0.00	1.30	0.28		232.46
Saltina – Brig	77.9	125	1.60	0.02	1.64	0.16		403.75
Lonza – Blatten	78	61	0.78	0.27	1.08	0.56		163.57
Grand Eau – Aigle	134	42	0.31	0.00	0.31	0.01		61.87
Weisse Lütschine – Zweilütschinen	165.6	82	0.49	0.12	0.56	0.34		96.39
Massa – Blatten	195.6	120	0.61	0.47	1.16	0.75		168.85
Saaser Vispa – Saas Balen	202.7	110	0.54	0.35		0.65	1.56	390.95
Rhone – Reckingen	217.30	120	0.55	0.06	0.58	0.29		205.60
Drance de Bagnes – Le Chable	254	52	0.2	0.31		0.60	0.51	176.34
Lütschine – Gsteig	380.4	190	0.5	0.10	0.55	0.21		77.37
Kander-Hondrich	520	150	0.29	0.00	0.29	0.11		72.61
La Drance – Martigny	688.3	180	0.26	0.15		0.34	0.40	173.72
Vispa – Visp	789.6	200	0.25	0.33		0.58	0.61	264.84
Rhone – Brig	909.1	560	0.62	0.16	0.73	0.35		269.61
Rhone – Sion	3349	910	0.27	0.17	0.33	0.37		197.52
Rhone – Branson	3728	980	0.26	0.15	0.31	0.34		183.54
Rhone – Porte du Sex	5220	1370	0.26	0.13	0.30	0.30		170.15

Tab. 3-14: Abfluss- und Niederschlagskennwerte von ausgewählten gemessenen Einzugsgebieten für das Hochwasser vom Oktober 2000 unter Einbezug einer Schneefallgrenze von 3000 m ü. M. bzw. von 2600 m ü. M. Es ist jeweils nur der Wert für die effektiv berücksichtigte Schneefallgrenze angegeben.

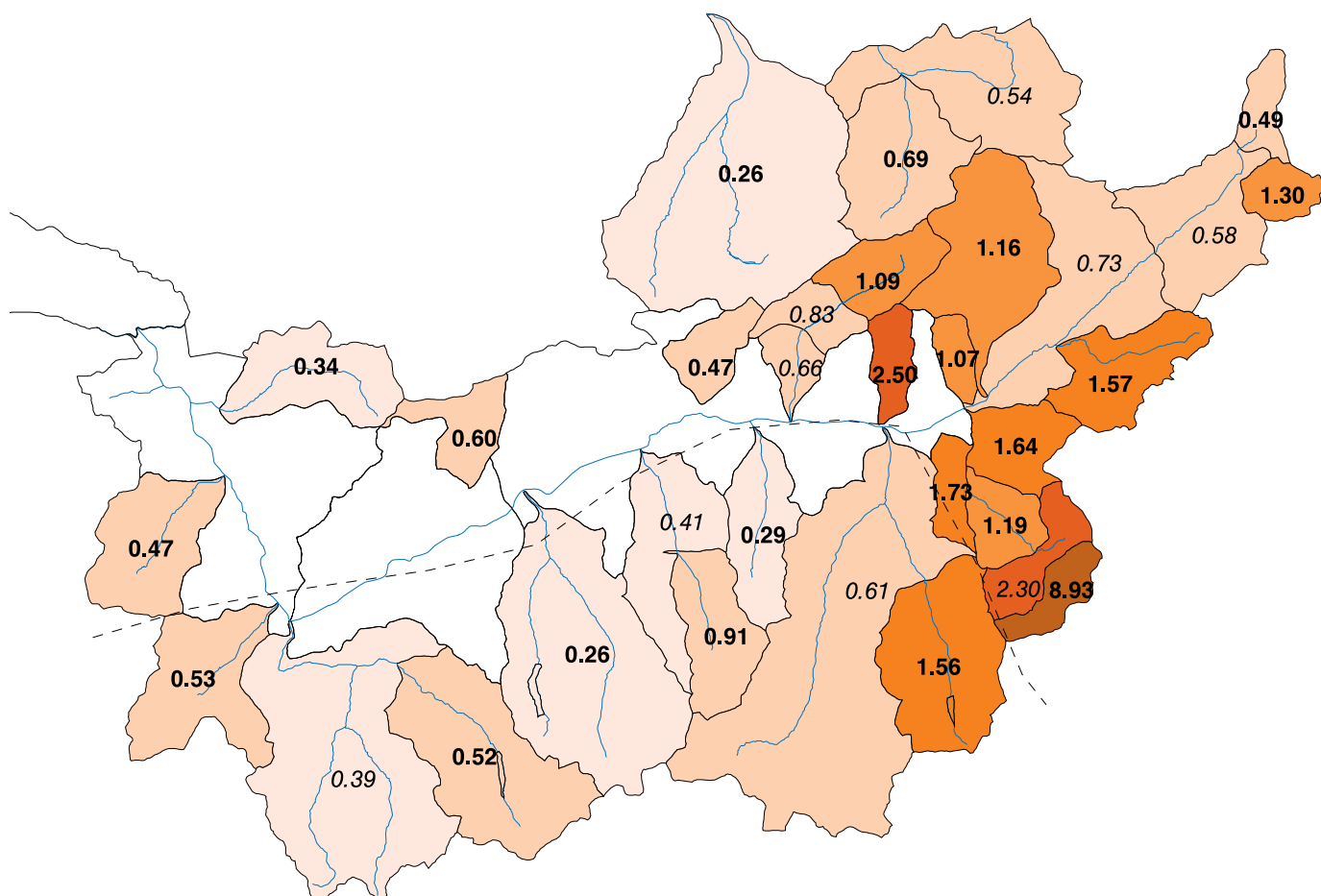


Fig. 3-19: Karte der spezifischen Spitzenabflüsse beim Hochwasser vom Oktober 2000 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schneefallgrenzen (modifiziert nach Fig. 3-14). Südlich der gestrichelten Linie beziehen sich die angegebenen spez. Spitzenabflüsse auf die Fläche unterhalb 2600 m ü.M., nördlich davon auf die Fläche unterhalb von 3000 m ü. M.

Gebieten hatte. Entsprechend ist in Fig. 3-19 eine Karte der spezifischen Spitzenabflüsse dargestellt, welche die unterschiedliche Lage der Grenze für die Bildung einer Schneedecke berücksichtigt. Diese Karte widerspiegelt die Niederschlagsverteilung (vgl. Kap. 2.2) wesentlich besser, als dies die Karte in Fig. 3-14 tut, bei welcher die Schneefallgrenze nicht berücksichtigt ist.

Insgesamt haben die verbreiteten Schneefälle südlich der Rhone zum Zeitpunkt der intensivsten Niederschläge eine erhebliche Reduktion des Abflusses in der Rhone unterhalb von Visp um mehrere 100 m³/s bewirkt. Eine genauere Quantifizierung kann nur mit detaillierten hydrologischen Modellierungen vorgenommen werden, welche nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen bildeten.

3.5.2 Analyse der Abflussvolumen

Dass sich die Abkühlung zum Zeitpunkt der intensivsten Niederschläge auf die Abflussspitzen ausgewirkt hat, ist nicht überraschend. Inwieweit sich dieses

Absinken der Schneefallgrenze auch auf die Abflussvolumen ausgewirkt hat, soll hier aufgezeigt werden. Dazu wird wiederum das Ereignis aus dem Jahr 1993 als Referenz verwendet. Für beide Ereignisse wurde dabei das gesamte Abflussvolumen verwendet, d.h. die Summe des an den Stationen gemessenen Abflusses und des Rückhaltes in den Speicherseen (vgl. Kap. 6). In Fig. 3-20 sind die Niederschlags- und Abflussvolumen für die Ereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000 dargestellt. Generell entwickeln sich Niederschlags- und Abflussvolumen in den einzelnen Gebieten etwa parallel. So sind in der Rhone bei Gletsch sowohl Niederschlag wie Abfluss beim Ereignis vom Oktober 2000 tiefer als bei jenem vom September 1993. Bei der Station Rhone-Reckingen sind die Abflüsse und die jeweiligen Gebietsniederschläge bei beiden Ereignissen praktisch gleich hoch. Alle übrigen Einzugsgebiete, mit Ausnahme des Goneri in Oberwald und der Vispa in Visp, erhielten im Oktober 2000 teilweise beträchtlich grössere Niederschlagsmengen als im September 1993 und weisen auch entsprechend grössere Abflussvolumen auf.

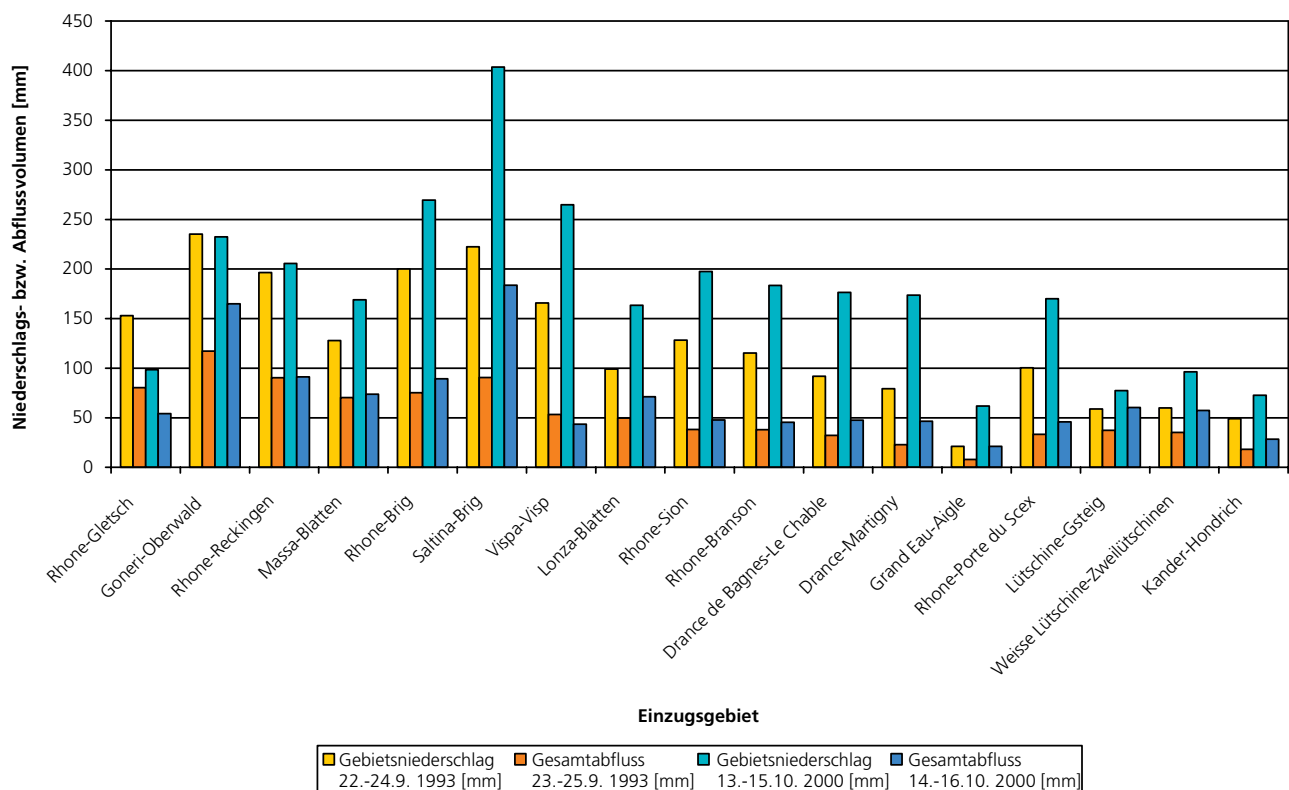


Fig. 3-20: Niederschlags- und Abflussvolumen während der Hochwasserereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000. Die Niederschläge beziehen sich jeweils auf die Periode 7 Uhr des erstgenannten Tages bis 7 Uhr auf den dem letztgenannten Datum folgenden Tag. Die Angaben zu den Abflüssen beziehen sich auf ganze Tage von Mitternacht bis Mitternacht und umfassen den an den Stationen der LH gemessenen Abfluss und den Rückhalt der Speicherseen.

Der Goneri weist trotz praktisch gleichem Gebietsniederschlag im Jahre 2000 ein deutlich grösseres Abflussvolumen auf als im Jahre 1993. Als Ursache dafür kommt neben einem anderen Niederschlagsverlauf vor allem das Abschmelzen einer in der Anfangsphase des Ereignisses gebildeten Schneedecke in Frage. Das Abschmelzen einer vorhandenen Schneedecke könnte allenfalls auch die erstaunlich hohen Volumenabflusskoeffizienten erklären, welche ausser für den Goneri auch für die Einzugsgebiete Rhone-Gletsch, Massa-Blatten, Lütschine-Gsteig, Weisse Lütschine-Zweilütschinen und allenfalls auch für die Lonza in Blatten berechnet werden, wenn dort die Grenze der Bildung einer Schneedecke von 3000 m ü. M. berücksichtigt wird (vgl. Fig. 3-21). Hinweise darauf, dass ein solches Abschmelzen von Schnee tatsächlich stattgefunden hat, finden sich in den Aufzeichnungen verschiedener IMIS Stationen im Bereich der oben erläuterten Einzugsgebiete (vgl. Anhang 8.2 und Fig. 2-24). Die Aufzeichnungen der IMIS Stationen zeigen aber auch, dass ein Abschmelzen von Schnee vor allem zu Beginn des Ereignisses

ausgeprägt war. Zum Zeitpunkt der intensivsten Niederschläge am Morgen des 15. Oktobers war die Schneedecke bei verschiedenen Stationen praktisch geschmolzen (z.B. bei den Stationen im Gebiet Oberwald) bzw. die Schneehöhe bleibt konstant (z. B. Station Gandegg). Nur wenige Stationen (z. B. Trubelboden oder Vallée de la Sionne) zeigen eine fortgesetzte Abnahme der Schneedecke bis zum Eintreten der generellen Abkühlung am Nachmittag des 15. Oktobers 2000. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass dieses Abschmelzen der schon vorhandenen Schneedecke wohl einiges zu den gesamten Abflussvolumen beitrug, aber keine massgebliche Erhöhung der maximalen Abflussspitzen am Morgen des 15. Oktobers verursacht hat.

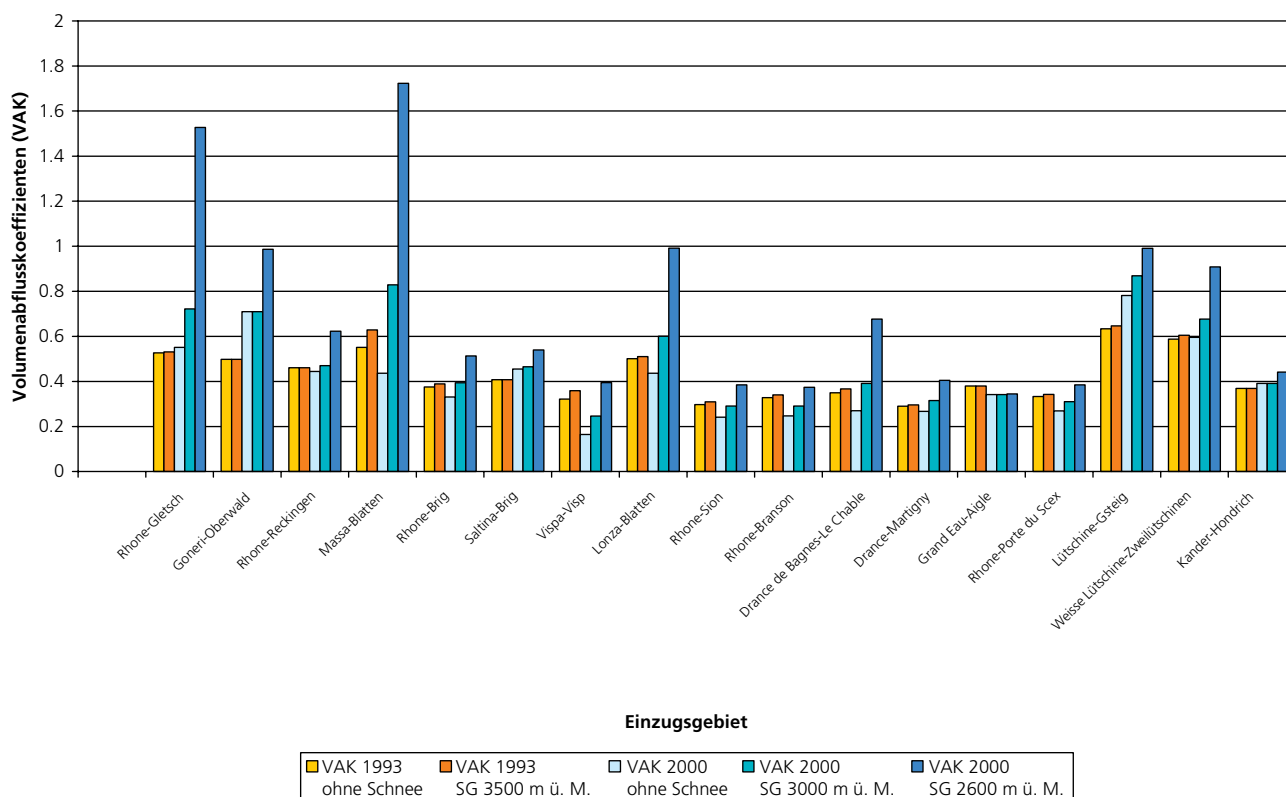


Fig. 3-21: Volumenabflusskoeffizienten (VAK) für unterschiedliche Grenzen für die Bildung einer Schneedecke (SG) bei den Ereignissen vom September 1993 bzw. vom Oktober 2000.

Ganz anders präsentiert sich die Situation in der Vispa bei Visp. Hier ist das gesamte Abflussvolumen unter Einbezug des Rückhalts in den Speicherseen im Oktober 2000 deutlich kleiner als im September 1993, obwohl es im Oktober 2000 wesentlich mehr geregnet hat (vgl. Fig. 3-20). Dies kann praktisch nur mit einem massgeblichen Rückhalt von Niederschlag in der sich bildenden Schneedecke erklärt werden. Auch die Volumenabflusskoeffizienten legen dies nahe, ergibt doch erst eine mittlere Grenze für die Bildung einer Schneedecke von 2600 m ü. M. einen Koeffizienten in einer ähnlichen Grössenordnung wie dies im Jahre 1993 der Fall war.

Der Einfluss des Schnees auf die Abflussvolumen beim Ereignis vom Oktober 2000 ist somit je nach Einzugsgebiet sehr unterschiedlich. Auch hier würde, wie bei den Abflussspitzen, eine detailliertere Beurteilung der Auswirkungen umfangreiche hydrologische Modellierungen bedingen, welche nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen bilden konnten.

Fazit

Aufgrund der in Kap. 2.3 beschriebenen Abkühlung fiel in den südlichen Zuflüssen der Rhone ein grosser Teil des Niederschlags zum Zeitpunkt der intensivsten Niederschläge in Form von Schnee und wurde dadurch in den Einzugsgebieten zurückgehalten. Dies hatte unter anderem zur Folge, dass in der Vispa deutlich weniger Wasser abfloss als 1993, obwohl es mehr als 50% mehr geregnet hat. Auch andere Einzugsgebiete wie z.B. die Drance haben dank der Abkühlung weniger Abfluss geliefert, als man dies einzig aufgrund der Niederschläge vermuten würde. Eine genaue Quantifizierung des Einflusses, den die Abkühlung in den südlichen Wallisertälern auf den Abfluss der Rhone hatte, wurde nicht vorgenommen. Beim Spitzenabfluss dürfte er sich aber in jedem Fall im Bereich von mehreren 100 m³/s bewegen.

4 Die Schäden

Alexandre Badoux, Franziska Schmid, Alessia Bassi, Christoph Hegg

Die in Kap. 2 beschriebenen andauernden und z. T. sehr intensiven Niederschläge über weite Gebiete der Alpensüdseite führten am 14./15. Oktober zu schweren Schäden. Heimgesucht wurden der Kanton Wallis, die Region am Lago Maggiore (TI), das Waadtländer Chablais (Bezirk Aigle) sowie einzelne Gebiete des Kantons Bern.

Das verheerende Unwetter forderte in der Schweiz 16 Todesopfer und verursachte einen Gesamtschaden in der Höhe von rund 670 Millionen Franken. Tausende von Personen mussten während dem Ereignis evakuiert werden, viele Häuser und Kulturen wurden zerstört oder beschädigt.

Besonders stark in Mitleidenschaft gezogen wurden im Kanton Wallis die Orte Gondo, Baltschieder und Stalden-Neubrück sowie im Kanton Tessin das Gebiet Locarno-Ascona. Einen Überblick über die regionale Verteilung der Schäden in den betroffenen Gebieten vermittelt die Fig. 4-1.

Die nachfolgenden Erläuterungen zum Kanton Wallis basieren im Wesentlichen auf Erhebungen, welche private Büros im Auftrag von Bund, Kanton und Gemeinden unmittelbar nach dem Ereignis anhand von vorgegebenen Formularen durchgeführt haben. Weiter berücksichtigt wurden Angaben von Versicherungen, eigene Erhebungen und Informationen aus Zeitungsartikeln. Die Erläuterungen zum Kanton Tessin basieren weitgehend auf Zeitungsartikeln sowie auf Angaben von Versicherungen. Für verschiedene Schadenorte finden sich mehr Details in den Fallbeispielen.

4.1 Wallis

Der Mitte Oktober vom Unwetter weitaus am schwersten betroffene Kanton war mit einem Gesamtschaden von rund 470 Millionen Franken das Wallis. Die zerstörerische Kraft des Wassers und die damit ver-

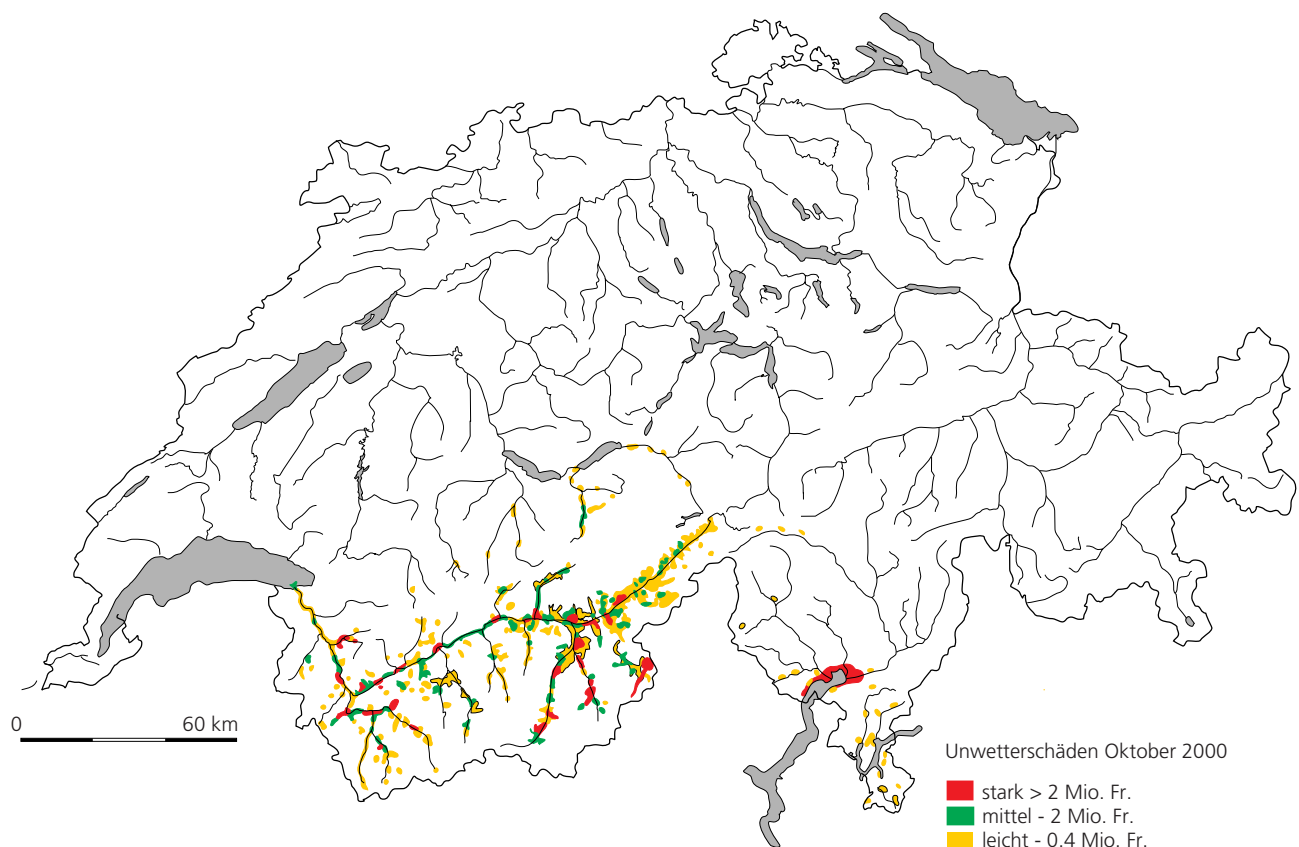


Fig. 4-1: Ort und Stärke der durch die Starkniederschläge von Mitte Oktober 2000 in der Schweiz angerichteten Schäden.

bundenen Prozesse wie Erosion, Rutschungen und Murgänge verursachten im ganzen Kantonsgebiet flächendeckend Schäden verschiedener Intensität. Dies sowohl an der öffentlichen Infrastruktur als auch an Gebäuden, Fahrwege, dem Wald sowie an landwirtschaftlichen Kulturen u.ä.

Im Kanton Wallis überwiegen die Schäden im öffentlichen Bereich mit rund 290 Millionen Franken die Schäden im privaten Sektor, welche bei ca. 180 bis 190 Millionen Franken anzusiedeln sind.

Drittel des Dorfes. Allein dieses Ereignis forderte 13 Todesopfer, 10 Häuser wurden mitgerissen und teilweise in die Doveria getragen, weitere Gebäude wurden beschädigt (darunter der 300 Jahre alte Stockalperturm), über 100 Personen waren evakuiert und schliesslich entstand auch ein sehr grosser Schaden an der Infrastruktur (Strassen u.a.). Zudem richtete das Hochwasser in der Doveria sehr hohe wasserbauliche Schäden an. Im Bereich von Gondo wurden am rechten und linken Flussufer Schutzmauern weggespült



Fig. 4-2: Hauptschadenorte im Kanton Wallis.

Während dem Hochwasser vom 14./15. Oktober deutlich am meisten gelitten hat das *Oberwallis*, wo 15 der insgesamt 16 Todesopfer zu beklagen waren. Beim weitaus schwersten Ereignis, in *Gondo*, löste sich oberhalb der Ortschaft eine Rutschmasse, staute sich hinter einer Schutzmauer gegen Steinschlag, welche dem grossen Druck nicht standhalten konnte und brach. Das in der Folge herabstürzende Gemisch aus Wasser, Erde, Geröll und tonnenschweren Teilen des Schutzwalles zerstörte in Sekundenschnelle einen

sowie der Blocksatz teilweise zerstört bzw. unterspült. Aus dem Zwischbergental waren Schäden entlang dem Grossen Wasser zu verzeichnen. Die Gesamtschadenssumme der schweren Unwetterkatastrophe von Gondo (Wasserbau, Strassen, Bahnen, Landwirtschaft, öffentliche und private Bauten) dürfte sich auf über 30 Millionen Franken belaufen. In *Stalden-Neubrück* ereignete sich am 15. Oktober frühmorgens im Beiterbach ein schwerwiegendes Murgangereignis. Der Murgang trat im Kegelbereich

(in der Ortschaft Neubrück) aus dem verbauten Gerinne, zerstörte fünf Gebäude und forderte zwei Todesopfer und sechs Verletzte. Das Ereignis dauerte mehrere Stunden und führte dabei schubweise mehrere zehntausend Kubikmeter Material zu Tale. Zerstört wurden ein dreistöckiges Restaurant, ein Wohnhaus sowie drei Landwirtschaftsgebäude. Zudem wurden mehrere weitere Gebäude im Kegelbereich beschädigt. Das Murgangereignis führte weiter auch zum Unterbruch der Kantonsstrasse und der BVZ-Bahnlinie. Während die Strassenverbindung nach 5 Tagen wieder geöffnet werden konnte, blieb die Bahnlinie ca. 3 Wochen gesperrt (vgl. unten). Der in Folge des Murgangs entstandene Rückstau der Vispa verursachte ausserdem die Überflutung der ARA Stalden (Totalschaden) und diverser weiterer Gebäude. In Neubrück beläuft sich die Gesamtschadensumme auf über 20 Millionen Franken.

Ein weiterer Murenschub ereignete sich im Oberwallis in der Gemeinde *Mörel*. Dort verursachte am 15. Oktober frühmorgens ein Murgang aus dem Dorfbach schwere Beschädigungen im Bereich der Kantonsstrasse. Das Murgangmaterial staute sich beim Brückendurchlass der Hauptstrasse auf und wurde in der Folge auf der Strasse und dem anliegenden bewohnten Gebiet abgelagert. Das Ereignis forderte einen Verletzten, zerstörte ein Wohnhaus sowie fünf weitere Gebäude und beschädigte die Infrastruktur des Dorfes. Neben den zerstörten Liegenschaften wurden des Weiteren 22 Gebäude beschädigt (darunter 6 Wohnhäuser). Insgesamt mussten 105 Bewohner von Mörel vorübergehend evakuiert werden. Das Ereignis führte zum Unterbruch der FO-Bahnlinie (ca. 20 Tage) und mehrerer Strassenverbindungen. Die Hauptstrasse erlitt keine gravierenden Schäden, das Trasse der Bahnlinie hingegen wurde erodiert und unterspült. Die Gesamtkosten des Unwetters in Mörel belaufen sich auf über 10 Millionen Franken.

Im übrigen Goms waren nur vereinzelt schwerere Schäden zu verzeichnen. Eine Ausnahme bildet diesbezüglich das *Binntal*, welches ab dem 15. Oktober rund zehn Tage von der Aussenwelt abgeschnitten blieb, da die Verbindung von Ernen nach Binn – die einzige Strasse ins Tal – an mehreren Orten verschüttet und unterspült wurde und zudem auch die Telefon- und Natelverbindungen unterbrochen waren. Für die Lebensmittel- sowie die medizinische Versorgung musste eine Luftbrücke eingerichtet werden. In der Gemeinde Binn kam es zu beträchtlichen Schäden in der Höhe von rund 2.5 Millionen Franken an Landwirtschaft, Infrastruktur (Wasserbau, Flurstrassen, Fassungen, Leitung u.ä.) und Gebäuden. Zudem wurde im Goms die Linie der FO-Bahn (neben den Schäden in Mörel) zwischen Brig und Oberwald an diversen ande-

ren Stellen unterbrochen. So entstanden z. B. in der Gemeinde *Grengiols* erhebliche Schäden, wo unterhalb der FO-Station Betten eine Rutschung die Geleise verschüttete und sich beim Bahnhof Grengiols das ganze Trasse absenkte.

Zu den finanziell schwersten Schäden im Kanton Valais kam es während dem Oktober-Hochwasser in der Gemeinde *Baltschieder*. Am Schicksal dieser Ortschaft wurde eindrücklich aufgezeigt, dass Hochwasser im Alpenraum auch immer mit intensivem Geschiebetransport verbunden sind. Ursache für die Unwetterkatastrophe war der Baltschiederbach, welcher am frühen 15. Oktober beim Austritt aus dem Baltschiederental – noch vor den ersten Gebäuden der Ortschaft – infolge Verlandung über die Ufer trat, sich einen neuen Weg durch den Bachkegel suchte und auf diese Weise beinahe das gesamte Wohngebiet der Gemeinde überschwemmte und mit Geschiebe überführte. Gesamthaft lagerte der Hochwasser führende Bach ca. 120 000 m³ Material ab. Am stärksten in Mitleidenschaft gezogen wurde der obere Dorfteil, dort wurden einzelne Häuser drei bis vier Meter hoch mit grobem Geröll verschüttet. Mit zunehmender Distanz zur Austrittsstelle konnte eine Abnahme der Ablagerungshöhe sowie eine Verfeinerung der Ablagerungen festgestellt werden. Beim Ereignis wurden acht Wohnhäuser zerstört oder sehr schwer beschädigt – gesamthaft wurden in Baltschieder gegen 200 Gebäude beschädigt. Zudem waren immense Schäden an der Infrastruktur zu verzeichnen, so wurden unter anderem grosse Teile der Kanalisation vollständig zerstört. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass es den Rettungskräften gelang, in kurzer Zeit rund 900 Personen ohne grössere Zwischenfälle zu evakuieren. Die Unwetterkatastrophe in Baltschieder verursachte einen Gesamtschaden von gegen 80 Millionen Franken, wobei etwa die Hälfte dieses Betrags auf Gebäudeschäden zurückzuführen ist.

Schäden infolge Geschiebetransport traten des Weiteren zwischen Brig-Glis und Visp im Bereich der *Mündung der Gamsa* auf. Die A9-Baustelle (Nationalstrasse) sowie das SBB- und BVZ-Trasse wurden durch die Ablagerung von grossen Mengen Geschiebe aus der Gamsa stark in Mitleidenschaft gezogen. Das Wasser aus der Gamsa floss – vorerst auf dem Bahntrasse und danach auf der Strasse – über Eyholz, wo vereinzelt Gebäude überflutet wurden, teilweise bis nach Visp. Durch eine künstliche Bresche im linken Rhonedamm konnte das Wasser schliesslich abgeleitet werden. Reichlich Geschiebe brachte auch der Kelchbach in *Naters*. Nur dank ständigem Einsatz von Baggern an den kritischen Stellen und vorbereiteten Erhöhungen der Uferwände gelang es, den Bach in seinem Bett zu behalten (von einigen kleinen Überschwappungen

abgesehen). Ähnliche Bedingungen herrschten in *Brig*, wo die *Saltina* im Oktober 2000 deutlich mehr Wasser brachte als beim Ereignis von 1993. Infolge einer zeitweise leichten Stauung bei der Fussgängerbrücke drang Wasser in den Keller der Rehabilitationsklinik. Ein der *Saltina* angrenzendes Haus musste wegen Löchern in den Ufermauern evakuiert werden. In der Gemeinde *Brig* wurden alle Brücken im Verlaufe des Samstags oder Sonntags angehoben, abgebrochen oder demontiert. Dank den seit 1993 realisierten Massnahmen konnten grossräumige Überflutungen verhindert werden.

Problematisch war am 15. Oktober die Lage in *Naters* auch an der hochgehenden *Rhone*. Die Brücke der FO-Bahn war bereits am 14. angehoben worden und stellte dadurch kein Hindernis dar (es fehlten jedoch nur wenige Zentimeter). An der unteren *Rhone*brücke und am Fussgängersteg hingegen verfrachten sich grosse Mengen Treibholz. Trotz der Intervention der Einsatzkräfte kam es mittags zu Überflutungen in den tiefer gelegenen Teilen von *Naters*. Auch in *Visp* gestaltete sich am 15. Oktober die Lage an der *Rhone* kritisch. Auf der Höhe von *Eyholz* drohte der Fluss über den Damm in das naheliegende Industriegelände der *Lonza* zu strömen. Dank dem Grosseinsatz der Wehrkräfte und den seit 1993 realisierten Massnahmen (Dammerhöhung durch Ufermauer) konnte eine schwerwiegende Überflutung verhindert werden. In den Gemeinden *Brig-Glis*, *Ried-Brig*, *Naters* und *Visp* wurden fast ausschliesslich öffentliche Schäden verzeichnet. Stark ins Gewicht fielen hierbei die wasserbaulichen Schäden an der *Saltina*, an der *Gamsa* (*Brig-Glis*) sowie am *Rufengraben* (*Ried-Brig*).

Zu den finanziell schwerwiegendsten Schäden im *Matter-* und *Saastal* kam es in der Gemeinde *Zermatt*. Dies, obwohl das Dorf selber glücklicherweise weitgehend von den Auswirkungen des Unwetters verschont blieb. Schäden entstanden am 15. Oktober nachmittags v.a. beim Dorfausgang Richtung *Visp*. Murgangablagerungen aus den drei Hauptgräben des *Lüegelgebietes* führten dort zum Rückstau der *Mattervispa*. In der Folge bildete sich im Bereich *Gruben/Eggen/Teil Spiss* ein See, der zahlreiche Gebäude unter Wasser setzte. Sofort wurde nach dem Ereignis mit Baumaschinen eingegriffen und im betroffenen Gebiet Evakuierungen vorgenommen. *Zermatt* blieb aufgrund der Beeinträchtigungen der Verkehrsverbindungen (vgl. unten) sowie der Kommunikationsleitungen im *Matter-* und *Vispertal* vorübergehend von der Aussenwelt abgeschnitten. Bei Gebäudeschäden von über 5 Millionen Franken dürfte sich die Gesamtschadenssumme des Unwetters in der Gemeinde *Zermatt* auf gegen 10 Millionen Franken belaufen.

Des Weiteren waren im *Mattertal* u.a. in der Gemeinde

St. Niklaus erhebliche Schäden zu verzeichnen – hauptsächlich an der Infrastruktur. Das Hochwasserereignis verursachte Unterspülungen, Beschädigungen und Aufschüttungen in Flüssen, Bächen und an Schutzdämmen. Zu beklagen waren zudem weggespülte Brücken (*Strassen-* und *Wanderwegnetz*), stark beschädigte *Kantons-*, *Gemeinde-*, *Flur-* und *Forststrassen* sowie Kulturschäden auf *Matten* und *Wiesen*. Neben zahlreichen Rutschungen an Böschungen wurden in der Gemeinde *St. Niklaus* aus praktisch allen Gräben der *Talflanken* beidseitig des *Talbodens* Murgänge gemeldet. Bei den Einmündungen in die *Mattervispa* waren umfangreiche Materialablagerungen zu verzeichnen. So verschüttete z. B. ein Murgang aus dem *Ritigraben* die *Kantonsstrasse* und riss ein Stück der *Abwasserkanalisation* weg. Auch wurden an mehreren Stellen die Anlagen des Netzes der *Trinkwasserversorgungen* (u. a. *Fassungen*) stark in *Mitleidenschaft* gezogen.

Wie im unteren *Mattertal* gingen auch im unteren *Saastal*, in der Gemeinde *Eisten*, in mehreren Gerinnen beider *Talflanken*, Murgänge nieder. Auf der rechten Talseite zerstörte ein Murgang im *Leidbach* eine Verbindungsstrasse an zwei verschiedenen Stellen vollständig und richtete Schäden in *Millionenhöhe* an. Auf der linken Talseite wurden drei *Galerien* der *Hauptstrasse* (*Fallowina*, *Putzi*, *Hüotlowina*) durch Murgänge in *Mitleidenschaft* gezogen. Bemerkenswert ist diese Häufung von Murgängen im Raum *St. Niklaus-Stalden-Eisten*.

Ebenfalls hohe Schäden – grösstenteils an öffentlichen Einrichtungen, *Strassen* und *Wegen* – entstanden beim Unwetter im Oktober 2000 in den Gemeinden *Saas Balen*, *Saas Grund*, *Saas Fee* und *Saas Almagell* im oberen *Saastal*.

Entlang der *Saaser Vispa* entstanden im Bereich *Tamatten*, an der Grenze der Gemeinden *Saas Balen* und *Saas Grund* Schäden am *Blockwurf* (auf 100 Meter zerstört und auf 500 Meter beschädigt) und an der *Strasse*. Böschung und *Blockwurf* wurden auch auf dem Teilstück von *Tamatten* nach *Saas Balen* hinunter in *Mitleidenschaft* gezogen, oberhalb *Tamatten* verursachte der Fluss *Überschwemmungsschäden* an Häusern. Schäden erlitt in der Gemeinde *Saas Grund* zudem die *Trinkwasserversorgung* in den Bereichen *Triftalp* und *Dählwald* infolge *Erosion*. Auch in der Gemeinde *Saas Fee* wurden beim Unwetter *Quellfassungen* und *Trinkwasserleitungen* in *Mitleidenschaft* gezogen. Ebenfalls ins Gewicht fielen in *Saas Fee* die *Unterspülung* von *Stützmauern* entlang der *Feevispa* sowie diverse weitere Beschädigungen an öffentlichen Bauten. In *Saas Almagell* entstanden hohe *wasserbauliche* Schäden entlang der *Saaser Vispa*. In den Bereichen *Zer Meiggern* und *Moossand* wurden *Blockwurf* und *Uferstützmauern* weggespült bzw. beschädigt.

oder weggerissen. Die Gesamtkosten des Unwetters in den vier genannten Saaser Gemeinden belaufen sich nach einer ersten Schätzung auf 15 bis 20 Millionen Franken.

Schliesslich gilt es kurz auf die Schäden an der *BVZ-Bahnlinie* einzugehen. Über ein Drittel der 44 Kilometer langen Strecke zwischen Brig und Zermatt war durch das schwere Unwetter in Mitleidenschaft gezogen worden. Neben den bereits erwähnten Grossschäden in den Bereichen Gamsamündung und Stalden-Neubrück war die Bahnlinie v.a. im Kipferwald (Gemeinde St. Niklaus) vom Ereignis betroffen. Bei der Kreuzungsstation Kipferwald waren Bahnunter- und -oberbau auf einer Länge von rund 400 Meter komplett beschädigt. In die Vispa gestürzte Felsmassen hatten den Fluss gestaut, worauf sich das Wasser einen Weg über das Bahntrasseesuchte. Nach 24 Tagen konnte schliesslich die Strecke von Brig nach Zermatt wieder geöffnet werden. Die Gesamtschäden an der Infrastruktur der BVZ belaufen sich schätzungsweise auf 18 Millionen Franken.

Hohe Schäden – vorwiegend im privaten Sektor – waren im Walliser Haupttal infolge des Hochwassers zudem im Raum *Steg-Gampel* zu verzeichnen. Die Lonza führte während dem Ereignis Hochwasser (schätzungsweise 90 bis 95 m³/s im Dorfbereich Steg) mit viel Geschiebe. Ein Ausbruch der Lonza konnte dank der realisierten Hochwasserschutzmassnahmen und dem Einsatz von Baggern im Bereich der Dorfbrücke und der Brücke zur Zentrale des KW Lötschen verhindert werden. Entlang des Bachlaufes fanden jedoch beidseitig (Gemeinden Steg und Gampel) teilweise beträchtliche Böschungserosionen und grosse Geschiebeablagerungen statt, was erhebliche wasserbauliche Schäden verursachte. Zwischen der KW-Zentrale und der Mündung in die Rhone wurde das Bachbett der Lonza durchschnittlich eineinhalb Meter hoch mit Material gefüllt (Ablagerungen von ca. 24 000 m³). In der Gemeinde Steg trat der Galdi-Kanal hauptsächlich infolge Rückstau durch die Hochwasser führenden Flüsse Rhone und Lonza über die Ufer und überschwemmte grosse Flächen im Talgrund. Betroffen waren 37 Wohnhäuser, 16 Industrie- und Gewerbebetriebe (darunter die Alcan Aluminium Valais SA) sowie einige landwirtschaftliche Gebäude. Garagen und Keller wurden bis zu eineinhalb Meter unter Wasser gesetzt. In der Gemeinde Gampel kam es ebenfalls zu Überschwemmungen, nachdem der Kanal Grosse Grabu – ähnlich wie der Galdi-Kanal – über die Ufer trat. Das Ausmass der (u.a. Gebäude-) Schäden war jedoch weniger schwer als in Steg. In den Gemeinden Steg und Gampel entstanden Mitte Oktober 2000 gesamthaft Unwetterschäden von über 25 Millionen Franken.

Das Unwetter hinterliess auch zwischen Steg-Gampel und Leuk in der Talsohle seine Spuren. So trat die Rhone in Niedergampel und Getwing (Gemeinden *Bratsch* und *Leuk*) über die Ufer. Überflutungen waren zudem aus dem Leukerfeld in Leuk und den Bereichen Obereju und Bahnhof/Industrie in der Gemeinde *Turtmann* zu melden. Ein Murgang aus dem Tennbach zwischen Gampel und Turtmann überführte die Kantonsstrasse und verursachte erhebliche Schäden an Infrastruktur, Wald- und Landwirtschaftsflächen. Grosse Probleme hatte die SBB in der Gemeinde Leuk. Bei der Ausfahrt aus dem Leuker Bahnhof Richtung Salgesch unterspülte das Hochwasser in der Rhone das Fundament des östlichen Brückenpfeilers. Zudem wurde auf der Höhe der Dala-Mündung in die Rhone die Böschung fast bis ans Trasseesweggeschwemmt. In Leuk waren allgemein hohe wasserbauliche Schäden entlang der Rhone zu verzeichnen.

Zwischen *Varen* und *Salgesch* im Pfywald kam es am 15. Oktober auf einer Länge von 100 Meter zu einem Bruch des Rhonedammes. In der Folge flossen sehr grosse Wassermassen in das Hinterland der beiden Gemeinden und überfluteten dieses. Schäden entstanden u. a. an Gewerbebetrieben, landwirtschaftlichen Gebäuden und an einer Fischzucht. Im Bereich der öffentlichen Infrastruktur wurden v.a. Strassen und Wege, ein Grundwasserpumpwerk und Leitungen (Wasserfassung, Kanalisation) in Mitleidenschaft gezogen sowie zwei Brücken zerstört. Zudem füllte das Hochwasser den Kanal Russubrunnen auf einer Länge von 200 Meter mit Geschiebe. Die Gesamtsumme der Unwetterschäden in Varen und Salgesch dürfte in etwa die Höhe von dreieinhalb Millionen Franken erreichen.

Eher glücklich abgelaufen ist das Oktoberunwetter im Bezirk Sierre im Allgemeinen und im Bereich *Sierre-Chippis* ganz speziell. In Sierre waren nur kleinere Schäden an den Rhonedämmen zu beheben – private Schäden blieben sogar ganz aus. In Chippis wurde die Navisence zwar von der Rhone zurückgestaut, es kam aber glücklicherweise nur zu leichten Überschwemmungen, welche die Gebäude der Alcan Aluminium Valais SA (sehr grosses Schadenpotential) lediglich tangierten. Das Industrieunternehmen hatte schliesslich v. a. Schadenskosten infolge Produktionsunterbruch zu verzeichnen. Was zurückblieb war eine beträchtliche Geschiebeablagerung im Mündungsbereich Navisence.

Die grössten Schäden traten im Mittelwallis entlang der Rhone auf. In *Sion* trat der Canal de Vissingen über die Ufer, weil er von der Hochwasser führenden Rhone zurückgestaut wurde. Das Wasser stand in der Folge teilweise bis zu 50 Zentimeter hoch in den Strassen und zog gesamthaft über 30 Gebäude – darunter

auch einige Gewerbebetriebe und Lagerhallen – in Mitleidenschaft. Die Wehrdienste mussten Betriebe evakuieren und das Wasser mit Sandsäcken zurückhalten. Die Überflutungen in dieser Zone verursachten Schäden im privaten Sektor von mindestens drei Millionen Franken. Bei der Mündung der Printse in die Rhone kam es in der Gemeinde Sion zudem zu einem Dammbruch. Erheblich beschädigt wurden dabei das Flussbett und die Uferböschungen der Printse; eine angrenzende Industrieanlage wurde unter Wasser gesetzt.

In den südlichen Seitentälern Val d'Hérens und Val d'Héremence traten in den Gemeinden *Héremence* und *Evolène* in erster Linie wasserbauliche Schäden auf. Betroffen waren hauptsächlich die kleinen Wildbäche, welche in die Dixence und die Borgne entwässern. Zwischen Les Haudères und Evolène wurden jedoch auch die Uferböschungen der Borgne an zahlreichen Stellen durch Erosion in Mitleidenschaft gezogen.

Das *Mittelwallis* wies somit vergleichsweise tiefe Unwetterschäden von 10 bis 20 Millionen Franken auf.

Neben dem Oberwallis gab es während dem Hochwasser vom 14./15. Oktober ein sekundäres Schadenzentrum, das sich auf das *Unterwallis* erstreckte. Schwerpunkt war neben dem Rhonehochwasser die Region Martigny. Verschiedentliches, glücklicherweise nicht allzu schweres Ausufern der Drance erinnerte an das grosse Gefahrenpotential dieses Flusses. Im weiteren waren es vor allem die kleineren Bäche, die zu Schäden führten. Auch im Unterwallis war ein Todesopfer zu beklagen: Oberhalb Martigny wurde eine Autofahrerin von einem Murgang verschüttet und konnte nur noch tot geborgen werden.

Am Sonntag, 15. Oktober gegen 13 Uhr brach im Bereich des Weilers *St-Pierre-de-Clâges* in der Gemeinde *Chamoson* der rechtsufrige Rhonedamm auf einer Länge von 100 m. Über 240 ha Land wurden unter Wasser gesetzt und teilweise mit einer dicken Geröll- und Schlammsschicht überdeckt. Schäden waren vor allem am Kulturland zu verzeichnen, aber auch an Gebäuden. Im weiteren wurde die Schaltanlage der Energie Ouest Suisse (EOS) unter Wasser gesetzt, die Schäden waren dort jedoch gering. Als Folgeprozess erreichte der Sion – Riddes Kanal seine Kapazitätsgrenze und ein Dammbruch unter der Kantonsstrasse führte am Montag, 16. Oktober zu weiteren Überschwemmungen in der Ebene von *Leytron*. Infolge der grossen Wassermengen trat auch der Leytron-Saillon-Fully Kanal unterhalb der Unterführung der Salentze über seine Ufer und setzte 140 ha Land in der Gemeinde *Saillon* unter Wasser. Alle Weinkellereien, weitere Keller und Garagen wurden überflutet.

Betroffen waren 150 Wohnungen und 40 Gebäude, über 500 Personen mussten evakuiert werden. Die Schadenssumme der Privaten wird in Millionenhöhe geschätzt. Besonders hart trifft diese Überschwemmung die Wein- und Obstbauern, die in dieser Region in der Regel gegen Elementarschäden nicht versichert sind.

Auch in der Ebene von *Fully* gab es Überflutungen durch den Leytron-Saillon-Fully-Kanal. Vorsorglich wurden am Samstag, den 14. Oktober, gegen 2000 Personen in den Quartieren zwischen dem Kanal und der Rhone wegen Überschwemmungsgefahr von der Rhone her evakuiert, grössere Schäden wurden jedoch nicht verzeichnet. Erhebliche Schäden verursachte dagegen ein Murgang im Gerinne des Torrent du Bossay, der sich am Sonntagmorgen ereignete. Er verschüttete im Gebiet La Fontaine das Rebland bis zu fünf Meter hoch, kam aber glücklicherweise unmittelbar vor den Häusern des Dorfes zum Stillstand. Aus diesem Grund mussten Teile des Dorfes ein zweites Mal evakuiert werden. Im weiteren gab es in der Gemeinde Fully kleinere Rutschungen, die z. T. die Strassen in die Weiler blockierten und beschädigten. Der Schaden durch die Unwetter beläuft sich insgesamt auf über 4 Millionen Franken, betroffen waren vor allem Infrastrukturanlagen und Rebland.

In *Saxon*, auf der linken Rhoneseite, brachte u.a. der Torrent Vella grosse Geschiebemengen und beschädigte den Canal du Syndicat. Abgesehen von den grossen Geschiebemassen in den Sammlern, die ausgeräumt werden müssen, wurden aber keine Schäden verursacht.

Die Schäden im Raum *Martigny* waren durch zwei Murgänge und den hohen Geschiebetrieb der Drance innerhalb der Gemeinde *Martigny-Combe* geprägt. Da die Kapazität der Überführungspasserelle überstiegen wurde, ergoss sich der Murgang aus dem Wildbach Lavanchy bei Le Brocard auf die Hauptstrasse zum Grossen St. Bernhard. Eine Autolenkerin wurde von den Geröllmassen erfasst und getötet. Die Strasse blieb in der Folge während mehreren Stunden gesperrt. Grosse Schäden an Infrastruktur und Kulturen verursachte zudem der Wildbach St. Jean, vom Col de la Forclaz herkommend. Auf seinem Weg trat er mehrmals über die Ufer und beschädigte Strassen und Wege. So war die Strasse auf den Pass während längerer Zeit unterbrochen. Im Kegelbereich und bei der Mündung in die Drance riss der Murgang eine Brücke mit und beschädigte zwei weitere. Schäden waren auch an Rebbergen, Weiden und Obstgärten zu verzeichnen. Ebenfalls wurden Telefon- sowie Stromleitungen in Mitleidenschaft gezogen. Schon oberhalb der Einmündung des St. Jean trat die Drance über die Ufer und überführte dann in La Croix das Fussballfeld

und weitere Gebiete mit Geröll und Schlamm. In der Stadt *Martigny* wurde an der Drance einen Höchstwert (175 m³/s) gemessen, allerdings ist die Station erst seit 1991 in Betrieb. Eine alte Messreihe von 1907–14 am gleichen Standort weist mit 198 m³/s einen leicht höheren Wert aus. Vorsorglich wurden über 1000 Personen in den flussnahen Quartieren (La Bâtiaz) evakuiert, dank Sofortmassnahmen konnten aber glücklicherweise Überflutungen (trotz sehr geringem Freibord) und somit Schäden weitgehend verhindert werden. Insgesamt beläuft sich die Schadenssumme in den Gemeinden Martigny und Martigny-Combe auf über 7 Millionen Franken, wobei hauptsächlich öffentliche Anlagen betroffen waren. Besonders durch das Hochwasser der Drance betroffen war zudem der Raum *Sembrancher*, wo Geröll und Schlamm abgelagert wurde. Zwischen der Mündung vom Wildbach Le Merdenson und Les Trappistes gab es die grössten Schäden: dort wurde eine Passerelle weggerissen und weite Teile mit Schlamm überführt, so der Campingplatz und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Bei La Douay wurde die Böschung erodiert und Strasse und Stromleitungen weggerissen. In diesem Bereich wurden ca. 6 Millionen Franken Schäden verursacht.

Auch im Oberlauf der Drance, sowohl im Val d'Entremont, wie auch im Val de Bagnes, gab es entlang des Uferbereiches grosse Erosionsschäden. In der Gemeinde *Orsières* mussten z. T. Häuser evakuiert werden, neben einigen überschwemmten Kellern, gab es aber hauptsächlich Schäden im Bereich Wasserbau. Daneben haben in dieser Gemeinde, besonders im Val Ferret, zahlreiche kleinere Gerinne grosse Giesbe-massen transportiert und an Wald, Landwirtschafts-land und Strassen beträchtliche Schäden angerichtet. Auch in den Gemeinden *Liddes* und *Bourg-St-Pierre* führten neben der Drance v. a. die Seitengerinne sowie kleinere Erdrutsche zu Schäden.

Die Schäden im Val de Bagnes wurden vor allem durch den hohen Giesbebetrieb der Seitenbäche der Drance, sowie Murgänge oder Erdrutsche verursacht. Besonders verheerend war der Torrent du Verbier, der auf seinem Weg mehrmals die Strasse überführte. Verschiedene Teile der Gemeinde *Bagnes* mussten aufgrund der drohenden Rutschgefahr evakuiert werden. Im Abschnitt Le Châble – Villette riss der Wildbach eine Brücke mit und unterspülte das Fundament eines Gebäudes. Weitere Gebäude wurden durch Geröll-ablagerungen ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen. Die Bahnlinie Le Châble – Sembrancher wurde mit Geröll überführt und blieb während 15 Tagen unterbrochen. Auch im Abschnitt Le Borgeaud wurde die Bahnlinie durch einen Murgang beschädigt. Im hinteren Val de Bagnes zwischen Lourtier und Fionnay

wurden zwei Strassen beschädigt; zudem zerstörte der Torrent du Grenays eine Schutzgalerie (1.5 Millionen Franken). Insgesamt waren im Val de Bagnes über 7 Millionen Franken Schäden an Infrastrukturanlagen (ohne Bahn), Wald und Landwirtschaft verursacht worden.

Unterhalb von Martigny war vor allem das Hochwasser der Rhone für Unwetterschäden verantwortlich. Einzig in den Gemeinden *Champéry* und *Val d'Illeaz* führten Murgänge und Rutschungen zu grösseren Schäden. In Miéville in der Gemeinde *Vernayaz* trat der Kanal Pissvache über die Ufer und setzte einige der angrenzenden Keller unter Wasser, mehrere Personen mussten evakuiert werden. Bei der Einmündung des Kanals in die Rhone gab es einen Rückstau, private Gebäude und Kulturland in La Balmaz in der Gemeinde *Evionnaz* wurden überflutet. Weiter flussabwärts trat die Rhone über ihr linkes Ufer und überschwemmte weite Teile. Betroffen war die Gewerbe- und Industriezone sowie mehrere Häuser im Bereich des Bahnhofs. Im weiteren war die Autobahn und Kulturland überflutet. Die Schäden waren im privaten Bereich beträchtlich. In diesem Gebiet trat die Rhone auch auf der rechten Seite über die Ufer und setzte landwirtschaftliches Land in der Gemeinde *Collonges* unter Wasser. Ein Bewässerungskanal überschwemmte ca. 7 angrenzende Häuser. Hier waren aber nur geringe Schäden zu beklagen.

Auf der Walliser Seite der Rhone waren im untersten Abschnitt besonders bei *St. Maurice* grössere Schäden zu verzeichnen. In den flussnahen Quartieren wurden mehrere Erdgeschosse und Gärten zuerst infolge des Grundwasseranstiegs, dann durch Rhonewasser in Mitleidenschaft gezogen. Ab dem 15. Oktober waren zeitweise jegliche Verbindungen (Strasse und Bahn) zwischen den Kantonen Waadt und Wallis unterbrochen. Die Autobahn A9 zwischen Bex und Martigny blieb auch am 16. Oktober noch geschlossen, das Wallis konnte dann jedoch wieder über die Kantonsstrasse erreicht werden.

In den Walliser Gemeinden *Massongex*, *Monthey*, *Collombey* und *Vouvry* herrschte entlang der Rhone aufgrund des Hochwassers eine prekäre Lage: viele Menschen wurden evakuiert. Dank Sicherungsmassnahmen an den Dämmen konnten Überflutungen aber grösstenteils verhindert werden. In *Le Bouveret*, an der Rhonemündung in den Lac Léman sammelten sich über 10 000 m³ Holz an. Die Gesamtschadenssumme der Unwetters vom 14./15. Oktober beläuft sich im Unterwallis auf über 70 Millionen Franken (davon rund 50 Millionen Franken an Gütern der öffentlichen Hand).

4.2 Tessin

Mitte Oktober 2000 wurde neben dem Kanton Wallis auch der *Kanton Tessin* stark vom Unwetterereignis betroffen. Im Unterschied zum Hochwasser im Wallis war das Ansteigen des Lago Maggiore ein langsamer Prozess, der sich ankündigte. Die Schäden beschränken sich auf die überschwemmten Gebiete entlang des Seeufers und auf die Magadinoebene und betreffen v.a. Gebäude und deren Inventare (privater Sektor). Die Schäden an der öffentlichen Infrastruktur sind vergleichsweise gering.

Im Tessin kann von einer Gesamtschadenssumme von gegen 170 Millionen Franken ausgegangen werden. Die unwetterbedingten Schäden im privaten Sektor belaufen sich laut Privatversicherern auf rund 155 Millionen Franken. Darin enthalten sind die Schäden an Gebäuden, Fahrhabe, Motorfahrzeugen sowie die Betriebsunterbrüche. Die Gesamtschadenskosten der öffentlichen Hand betragen 10 bis 15 Millionen Franken. Für das Tessin erwies es sich als schwierig, die privaten Schäden anhand der zur Verfügung stehenden Presseinformationen räumlich zuzuordnen. Nur rund 90% der durch die Versicherungen gemeldeten privaten Schäden von 155 Millionen Franken konnten lokalisiert werden.

Lang anhaltende Regenfälle während der Periode vom 11. bis zum 17. Oktober führten zum Anstieg des Wasserstandes des Lago Maggiore. Am 13. Oktober um Mitternacht erreichte der Seepiegel die kritische Grenze von 195 m ü. M. – zu diesem Zeitpunkt betrug der Anstieg stündlich rund 5 bis 6 Zentimeter. Am Samstag, dem 14. Oktober, trat der See vormittags über seine Ufer und setzte erste Gebiete der Altstadt von Locarno unter Wasser. In der Folge stieg der Wasserstand des Lago Maggiore stündlich noch um etwa 3 Zentimeter an, um schliesslich einen Höchststand von 197.57 m ü. M. in der Nacht auf den 17. Oktober zu verzeichnen, was dem Rekordniveau im 20. Jahrhundert entspricht. Der Wasserspiegel ging danach stetig aber langsam zurück, am Freitag, dem 20. Oktober, wurden vormittags 196.44 m ü. M. gemessen, die Stadt Locarno war somit wieder beinahe wasserfrei. Das Schadenzentrum im Kanton Tessin lag infolge der Überflutungen durch den Lago Maggiore in den Regionen *Locarnese* und *Gambarogno*. Insbesondere betroffen waren die Städte Locarno und Ascona sowie weitere Gemeinden im Uferbereich des Sees. Im Gegensatz zum Ereignis 1993 gab es im Oktober 2000 in den Tälern praktisch keine Probleme mit Erdbeben. Dies vor allem deshalb, weil das Niederschlagszentrum weiter westlich im Einzugsgebiet des Toces (Italien) lag, wo grosse Verwüstungen zu verzeichnen waren.

Locarno war die am stärksten durch das Hochwasser betroffene Gemeinde. Allein in der Stadt entstanden Schäden von rund 40 Millionen Franken. Der See hatte die Promenade auf ihrer ganzen Länge, die Piazza Grande sowie zahlreiche Gebäude der ufernahen Wohnquartiere überschwemmt und richtete dabei grosse Schäden an. Überflutet wurden auch das Lido (Schwimmbad und Stadion), die Post, die unterirdische Tiefgarage Largo Zorzi, die Kläranlage, Geschäfte und Hotels. Auf den Strassen herrschten zum Teil chaotische Zustände: die Seestrasse wurde für den Verkehr am 14. Oktober gesperrt, die Strassenzufahrt von und nach Locarno war gänzlich blockiert. Am 15. Oktober mussten die meisten Schulen in Locarno geschlossen werden. Zudem gab es in einigen Teilen der Stadt Probleme mit der Stromversorgung. Durch die Überflutungen ebenfalls stark betroffen waren im Uferbereich des Lago Maggiore die Gemeinden *Ascona*, *Brissago*, *Gordola*, *Minusio*, *Muralto*, *Tenero-Contra* und im Gambarogno v. a. die Gemeinden *Magadino* und *Vira-Gambarogno*. In diesen Gemeinden wurden zahlreiche Häuser, Restaurants, Hotels, Schulen, Parkanlagen, Sportanlagen, Geschäfte und Kliniken überschwemmt. Die Stromversorgung konnte vielerorts nicht mehr garantiert werden und das Telefonnetz erlitt in vielen Regionen Störungen. Auch in der Magadino-Ebene gab es Beeinträchtigungen infolge des Unwetters: unterbrochene Verkehrsverbindungen, Schwierigkeiten bei der Stromversorgung und beträchtliche Schäden an den Kulturen (hauptsächlich Maisernten, Gartenbau und Blumenzucht). Der Flughafen Locarno-Magadino stellte seinen Flugbetrieb während mehreren Tagen ein. Insgesamt wurden in der Region Locarnese ca. 2000 Personen evakuiert, davon 1500 alleine in der Stadt Locarno. Ende Oktober konnten alle evakuierten Bewohner in ihre Häuser und Wohnungen zurückkehren. Aus dem *Luganese* und dem *Mendrisiotto* wurden nur kleinere Schäden gemeldet. Der Dauerregen führte vereinzelt zu überschwemmten Kellergeschossen sowie in einigen Gemeinden (*Torricella-Taverne*, *Robasacco*, *Tesserete* und *Losone*) zur Verschmutzung des Trinkwassers.

Im Weiteren waren verschiedene Verkehrswege durch das Hochwasser betroffen. So wurde die Nationalstrasse A13 zwischen Locarno und Bellinzona während der Periode vom 16. bis zum 18. Oktober (vormittags) gesperrt und der Verkehr musste auf die rechte Talseite umgeleitet werden. Die Hauptstrasse entlang des Sees im Gambarogno blieb vom 15. Oktober abends bis zum 20. geschlossen, diese Gemeinden waren nur mit dem Zug erreichbar. Zudem wurden eine Vielzahl weiterer Strassenverbindungen vom Seewasser überflutet und waren folglich unbefahrbar. Während die

Schiffsverbindungen zwischen Locarno und Gamba-rognio sowie zwischen Locarno und Italien ebenfalls vorübergehend eingestellt werden mussten, war die Bahn glücklicherweise kaum betroffen.

Nach dem Rückgang des Hochwassers war ausgelaufenes Heizöl und Benzin das Hauptproblem. Im Vergleich zum Hochwasser 1993 war die Verschmutzung durch Heizöl aber weniger schlimm, weil in vielen Gebäuden präventive Massnahmen Erfolg gezeigt hatten. Trotzdem wurden zahlreiche Fälle von Ölverschmutzung festgestellt. Am härtesten traf es Viragambarogno, wo 4000 Liter Heizöl aus den Keller-geschossen einer Mittelschule ausliefen.

Auch wenn beim Unwetter im Herbst 2000 der Lago Maggiore ein höherer Wasserspiegel (197.57 m ü. M) als beim Hochwasser 1993 (197.24 m ü. M.) erreichte, fielen die Schäden geringer als bei der letzten grossen Überschwemmung aus. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass im Tessin ein effizientes Katastrophendispositiv zum Tragen kam, welches zusammen mit baulichen Schutzmassnahmen geholfen hat, die Schäden zu vermindern.

4.3 Schäden in den Kantonen Waadt und Bern

Während dem Unwetter vom 14.–15. Oktober 2000 waren neben den sehr stark betroffenen Kantonen Wallis und Tessin auch in den Kantonen *Waadt* und *Bern* Schäden zu beklagen.

Infolge des Rhonehochwassers im Wallis wurde die Lage auch entlang der *Waadtländer* Uferpartien ziemlich prekär. Trotzdem hielten sich die durch die Rhone verursachten Schäden im Waadtländer Chablais stark in Grenzen. Am 16. Oktober um 2.30 Uhr morgens hörte es in der Region auf zu regnen, die Rhone sank in der Folge deutlich, nachdem sie am 15. Oktober bei der Station Porte du Scex einen maximalen Wert von 1370 m³/s erreichte, was den höchsten je gemessenen Wert darstellt. Die Dämme im Waadtländer Abschnitt der Rhone wurden intensiv überwacht, hielten den enormen Wassermengen jedoch überall stand. Dennoch kam es an diversen Orten zu kleineren Überschwemmungen. So wurde z.B. das Elektrizitätswerk von *Lavey* vom Hochwasser tangiert. Ein spektakulärer Unwetterschaden ereignete sich in der Industriezone von *Aigle*, wo die Rhone die Passerelle aus Metall nach Illarsaz (VS) wegriss und somit vollständig zerstörte.

Zu den schwersten Schäden kam es im Kanton Waadt während dem Oktober-Unwetter jedoch nicht entlang der Rhone, sondern in der Gemeinde *Bex* im Bereich

von verschiedenen Seitenbächen. So trat u.a. am Sonntag, den 15. Oktober, der Bach La Croisette – zwischen Le Châtel und Bex – über die Ufer, was zur Überflutung zahlreicher Gebäude führte. Im Bereich Bévieux zerstörte der Hochwasser führende Wildbach Le Bey de Sérissou, welcher sein Bachbett verlassen hatte, die Geleise der Bex-Villars-Bretaye Bahn (BVB) auf einer Länge von 300 m. Zudem kam es bei diesem Ereignis zur Überflutung des anliegenden Bahndepots der BVB. Am härtesten vom Unwetter getroffen wurde die Gemeinde Bex entlang des Baches L'Avançon – dem Vorfluter oben genannter kleinen Bäche.

Zwischen dem Bereich Sublin und Frenières-sur-Bex richtete der Bach an der teilweise bis vollständig zerstörten Forststrasse, der Trinkwasserleitung nach Bex, am havarierten Bachbett sowie an der Brücke des Kraftwerks Sublin Schäden von gegen zwei Millionen Franken an. In der Ortschaft Bex verursachte der Avançon glücklicherweise keine Unwetterschäden. Im Kanton Waadt entstanden gesamthaft Schäden von gegen 20 Millionen Franken. Dabei wurde der private Bereich leicht stärker belastet als der öffentliche Sektor (die bei der Gebäudeversicherung gemeldeten Schäden betragen rund 7 Millionen Franken, die Fahrhabschäden etwa 5 Millionen Franken).

In der Nacht auf den 15. Oktober 2000 waren auch in den zum Kanton Wallis angrenzenden Gebieten des Kantons *Bern* ziemlich heftige Niederschläge zu verzeichnen. Dies führte v.a. im *Berner Oberland* zu Hochwasserschäden – in den Bezirken Interlaken, Frutigen, Obersimmental und Saanen traten Fliessgewässer örtlich über die Ufer. Dabei mussten Keller ausgepumpt und Schwemmholz entfernt werden, vereinzelt waren auch leichte Gebäudeschäden zu verzeichnen. Zudem wurde an verschiedenen Orten der Strassen- und Schienenverkehr beeinträchtigt (u. a. Unterbrüche bei den Jungfraubahnen).

Im Kanton Bern am stärksten in Mitleidenschaft gezogen wurde die Gemeinde *Lauterbrunnen*. Stark betroffen waren das Flussbett und die Böschung der Lutschine im Bereich der Bornigen Brücke zwischen der Station der Schilthornbahn und dem Dorfeingang. Dort deponierte das Hochwasser gegen 20 000 m³ Geschiebe, was zur Ausuferung der Lutschine und in der Folge zu Überschwemmungen im linken und rechten Uferbereich führte. Glücklicherweise hielten sich die Gebäudeschäden in der Oberländer Gemeinde in Grenzen. Gesamthaft dürften die Schäden des Oktober-Unwetters im Kanton Bern einige wenige Millionen Franken betragen haben.

4.4 Bewertung und Einordnung

Wie in den vorangehenden Abschnitten erläutert, belaufen sich die direkten finanziellen Schäden für die Ereignisse vom Oktober 2000 gesamthaft auf 670 Millionen CHF. Davon entfallen 470 Millionen auf den Kanton Wallis und 170 Millionen auf den Kanton Tessin. Damit sind beide Ereignisse vom finanziellen Schaden her nicht als aussergewöhnlich zu betrachten. Wie in Fig. 4-3 dargestellt, hat das Ereignis im Wallis den 5. grössten und das im Tessin den 9. grössten finanziellen Schaden seit 1972 verursacht. Würde zudem noch die Teuerung berücksichtigt, käme das Ereignis im Tessin in der Reihenfolge noch weiter hinten zu liegen.

Eindeutig aussergewöhnlich ist das Ereignis vom Oktober 2000 in Bezug auf die Zahl von 16 Todesopfern. So muss man bis ins Jahr 1927 zurückgehen, um ein Ereignis in der Schweiz zu finden, das eine ähnlich hohe Anzahl von Menschenleben gefordert hat, wie die Rutschungen und Murgänge im Wallis. Damals kamen bei einem Hochwasser im Kanton Graubünden 12 Personen ums Leben. Im August 1978 hatte ein Unwetter im Tessin 9 Todesopfer gefordert. Nicht direkt vergleichen lassen sich das Canyoning Unglück im Saxetbach von 1999 und der Gletschersturz von Mattmark im Jahre 1965, welche mit 21 bzw. 65 Todesopfern wesentlich mehr Opfer gefordert hatten. Räumlich haben sich die Schäden im Wallis während dem Hochwasser im Oktober vor allem auf zwei

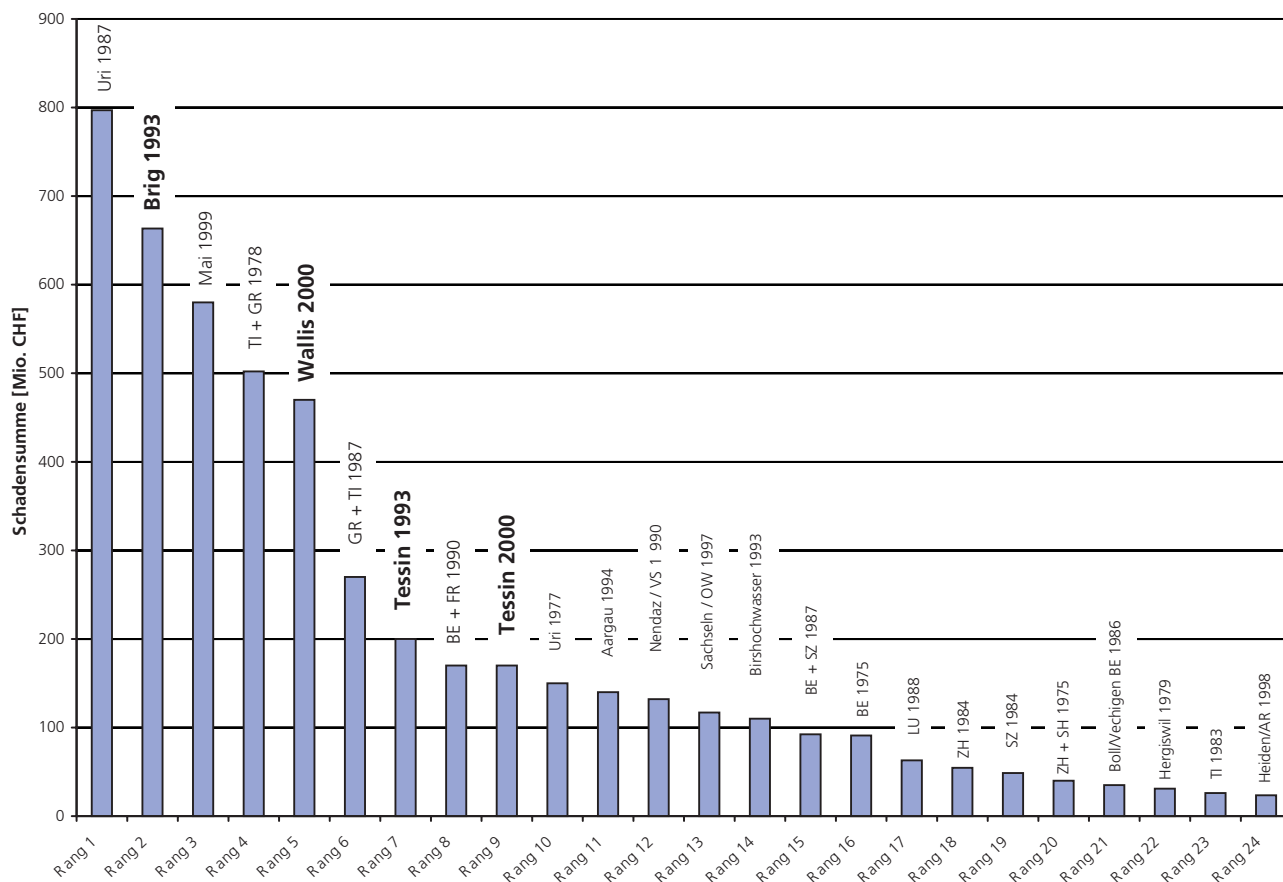


Fig. 4-3: Direkte finanzielle Schäden der 24 grössten Unwetterereignisse in der Schweiz seit 1972 (Die Unwetterereignisse werden als von einer Wetterlage ausgelöst verstanden, die Angaben beziehen sich auf den Schadensschwerpunkt, vgl. Rölthlisberger 1991). Die Zahlen sind nicht teuerungsbereinigt.

Zentren konzentriert: einerseits in der Region Brig – Visp – Simplon, andererseits im Raum Martigny. Im Mittelwallis waren dagegen kaum grössere Schäden zu verzeichnen. Wiederum – nach 1993 – wurde der Raum Brig von einem schweren Hochwasser in Mitleidenschaft gezogen. Tatsächlich sind sich die zwei Ereignisse 1993 und 2000 nicht nur in meteorologischer und hydrologischer Hinsicht, sondern auch in ihrem Schadenbild recht ähnlich. Eine Analyse der Schadenkosten, die trotz grossräumigerem Schadengebiet im Oktober 2000 um fast einen Drittel tiefer sind (vgl. Fig. 4-3), drängt sich darum auf.

Nach dem schweren Hochwasserereignis 1993, das grossen materiellen Schaden in Brig angerichtet hatte, wurde ein umfassendes Hochwasserschutzkonzept für die Stadt erarbeitet. Dieses beruht auf baulichen Massnahmen, die eine Hubbrücke über die Saltina miteinschliesst, sowie temporären Massnahmen. Obwohl im Oktober 2000 ein höherer Abflusswert an der Saltina gemessen wurde, konnten dank diesen Massnahmen grössere Schäden verhindert werden. Im Weiteren wurden sowohl in Naters, als auch in Visp Hochwasserschutz-Massnahmen ergriffen. Vor allem in letzterer Gemeinde hätte eine Überflutung des Industriegebietes durch die Rhone zu immensen Schäden geführt. Auch in der Gemeinde Gampel-Steg bewährten sich die erst kürzlich in Kraft gesetzten mobilen Schutzmassnahmen. Überall zeigte sich, wie wichtig, neben den baulichen Massnahmen, ein gut organisiertes und funktionierendes Alarmdispositiv ist. Gesamthaft konnte beim Ereignis im Oktober 2000 durch die seit 1993 getroffenen Massnahmen Schäden in Milliardenhöhe verhindert werden.

Im Allgemeinen fielen die Schadenzahlen aber ebenfalls weniger hoch aus als im 1993, weil im Oktober 2000 vorwiegend kleinere Siedlungen betroffen waren (Gondo, Stalden, ...) und nicht grössere Zentren, die ein hohes Schadenpotential aufweisen. Obwohl die Pro-Kopf-Belastungen in diesen Gemeinden zum Teil sehr hoch sind, ergeben sich daraus in der Summe vergleichsweise kleine Schadenkosten.

Zum Teil spielten im Oktober 2000 auch Zufälligkeiten wie z.B. die Nieseschlagsverteilung oder die Abfluss- und Erosionsbereitschaft der Gerinne ein Rolle: Dies wird deutlich, wenn man sich vor Auge führt, wie gering die Freiborde z.B. an vielen Orten an der Rhone oder an der Drance bei Martigny waren.

Die Verteilung der Schäden auf Güter von Privaten bzw. der öffentlichen Hand bewegt sich im Wallis 2000 etwa im üblichen Rahmen für Ereignisse im Gebirge, d.h. je ungefähr 50% der Schäden entfallen auf Private und die öffentliche Hand (Fig. 4-4). Eine leichte Verschiebung hin zur grösseren Belastung der öffentlichen Hand ist beim Ereignis 2000 im Vergleich

zu jenem von 1993 feststellbar: Rund 180 Millionen CHF oder 38% entfielen auf Private, 290 Millionen CHF oder 62% auf die öffentliche Hand. Bei letzterer fielen vor allem die Schäden am Wasserbau ins Gewicht. Von den in diesem Bereich im November gemeldeten Schäden von 130 Millionen CHF waren per Mitte August 2001 effektiv knapp 100 Millionen CHF in Rechnung gestellt worden.

Die höhere Zahl der Schadensumme im öffentlichen Bereich rührt daher, dass aufgrund der grossen räumlichen Ausdehnung des Ereignisses überall im Kanton Wallis Verkehrswege, Infrastrukturanlagen und Wasserbauten betroffen waren. Daneben waren im Allgemeinen tiefere Schadenzahlen der Privaten zu verzeichnen, da weniger die grossen Zentren, sondern die kleineren Siedlungen in Mitleidenschaft (kleineres Schadenpotential) gezogen wurden.

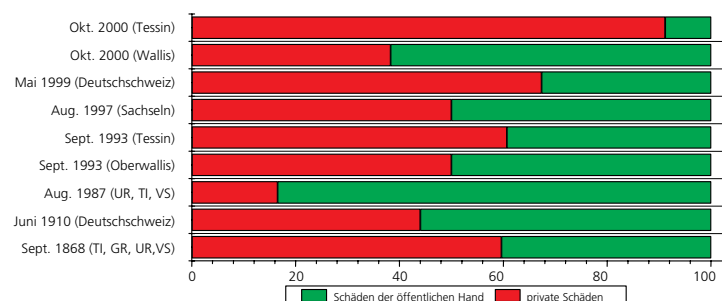


Fig. 4-4: Vergleich der Anteile der öffentlichen und der privaten Schäden für ausgewählte Unwetterereignisse. (nach BWG, 2000 ergänzt).

Im Tessin überwiegen die privaten Schäden jene der öffentlichen Hand in einem bis jetzt nicht beobachteten Ausmass. Auffällig ist dabei vor allem der Rückgang der Schäden der öffentlichen Hand seit 1993, obwohl der See im Oktober 2000 um 70 cm über den Maximalpegel von 1993 gestiegen ist. Dies lässt den Schluss zu, dass die öffentliche Hand im Tessin die Konsequenzen aus dem Ereignis von 1993 gezogen und offensichtlich erfolgreich Massnahmen zur Reduktion des Schadensausmasses vorgenommen hat. Etwas anders sieht dies bei den Schäden im privaten Sektor aus, welche etwa in der gleichen Grössenordnung liegen wie 1993. Die Tatsache, dass die Schäden mit dem höheren Pegelstand nicht angestiegen sind, ist ein Hinweis darauf, dass auch die Privaten verschiedene Vorkehrungen zur Schadenbegrenzung vorgenommen haben. Diese Massnahmen waren aber offensichtlich nicht so weitreichend wie bei der öffentlichen Hand, sei es weil weniger unternommen wurde oder weil bewusst ein höheres Risiko eingegangen

wird, um einen Standortvorteil auszunutzen, wie ihn z. B. ein Seeufer bietet.

Fazit

Gesamthaft verursachte das Hochwasser vom Oktober 2000 Schäden von ca. 670 Mio. Franken. Davon entfallen 470 Mio. auf den Kanton Wallis, 170 Mio. auf den Tessin, 30 Mio. auf die Kantone Waadt und Bern. Die Schäden sind sowohl im Tessin wie auch im Wallis im Vergleich zu früheren Ereignissen und in Anbetracht der vergleichsweise hohen Niederschläge und Abflüssen eher klein. Dies ist, trotz allem Unglück teilweise glücklichen Umständen, punktuell vor allem auch auf die seit 1993 getroffenen Massnahmen zurückzuführen. So haben diese in Brig, Naters, Visp und Gampel/Steg Schäden in Milliardenhöhe verhindert.

5 Die Schadenprozesse

5.1 Prozessarten und Schadenzentren

Christoph Graf, Alessia Bassi, François Dufour,
Dieter Rickenmann, Christoph Hegg

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ursachen der Schäden im Wallis detailliert untersucht und die Schadenwirkung verschiedener Prozesse beschrieben. Auf analoge Erläuterung für den Kanton Tessin wurde verzichtet, kann doch dort der allergrösste Teil der Schäden eindeutig einem Prozess, der Überflutung durch den Lago Maggiore, zugeordnet werden. Die drei Karten in Fig. 5-1 bis Fig. 5-3 zeigen die räumliche Verteilung der bekannten Schadenprozesse anlässlich des Starkniederschlagsereignisses vom 13.–15. Oktober 2000. Dabei wird zwischen Rutschungen, Murgängen, Geschiebetransport (Erosion oder Ablagerung) und Überschwemmungen unterschieden. Für alle Prozesse mit Ausnahme der Über-

schwemmungen wird zudem zwischen intensiven und wenig intensiven Prozessen unterschieden.

Die Zuordnung zu den einzelnen Prozess- bzw. Intensitätsklassen erfolgte gutachterlich aufgrund der Meldungen durch Gemeinden und beauftragten Büros im Rahmen der Schaden- und Prozesserhebungen sowie – wo vorhanden – aufgrund der eigenen Beurteilung im Feld. Die Karten erheben deshalb keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Aufgrund der Erhebungsmethodik ist davon auszugehen, dass sie insbesondere in dünn besiedelten Gebieten ohne erhebliches Schadenpotential unvollständig sind. Die Unterscheidung in intensive und weniger intensive Prozesse erfolgte grundsätzlich soweit möglich aufgrund der Indizien zu den beteiligten Volumen, beim Geschiebetransport wurde zusätzlich das Verhältnis zwischen umgelagerten Feststoffvolumen und der Grösse des betroffenen Gerinnes berücksichtigt.

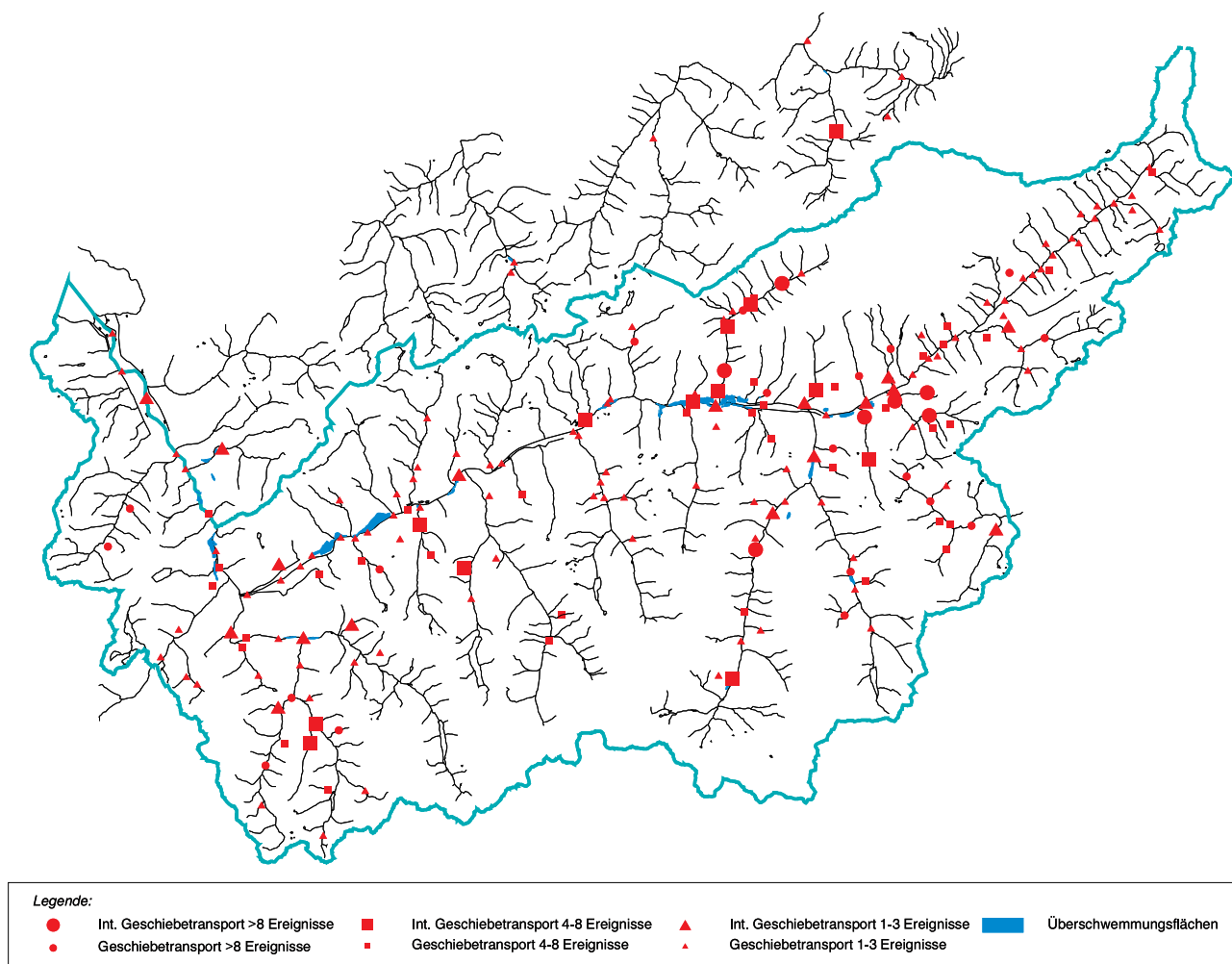


Fig. 5-1: Karte der bekannten Geschiebetransportereignisse anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000.

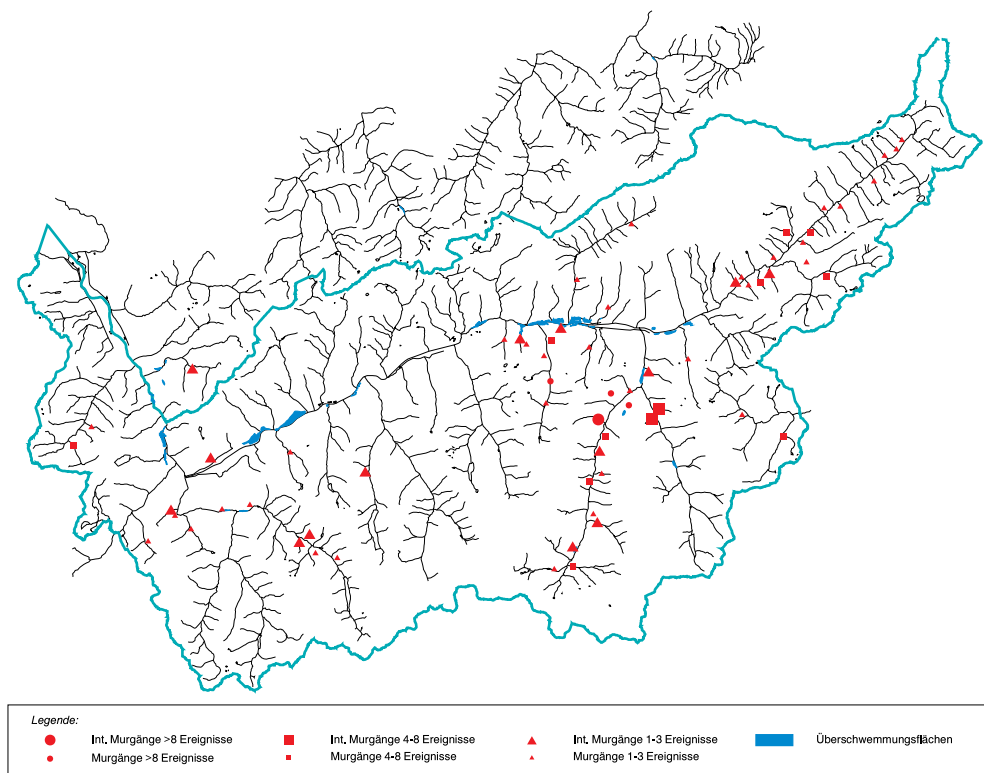


Fig. 5-2: Karte der bekannten Murgangereignisse anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000.

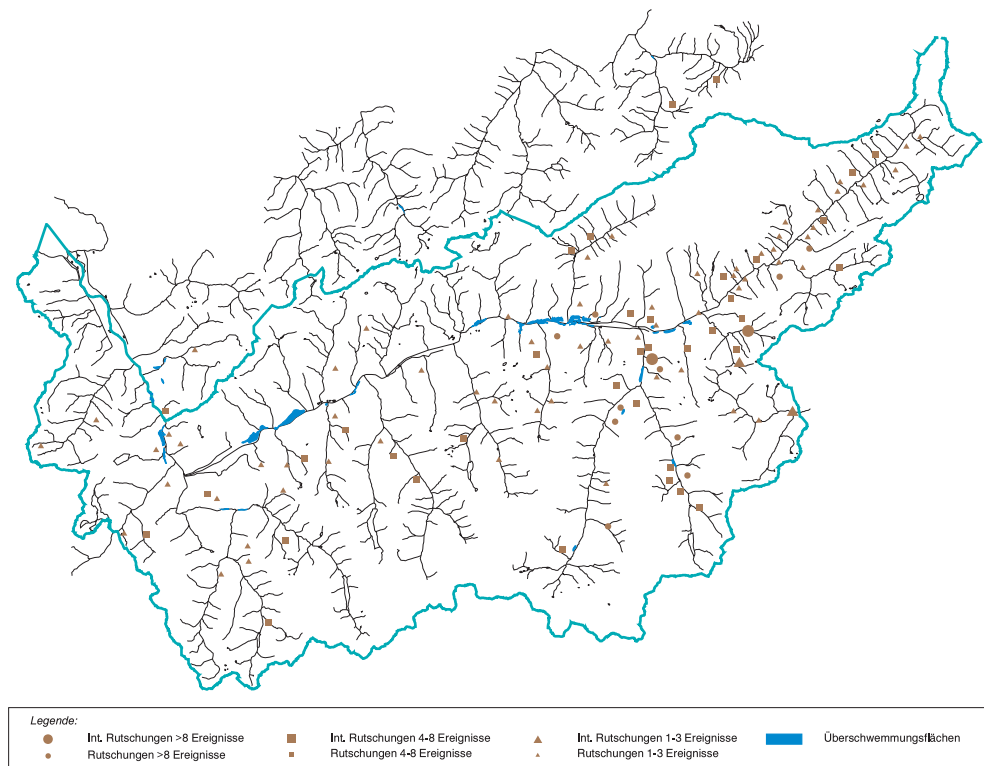


Fig. 5-3: Karte der bekannten Rutschungereignisse anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000.

Unmittelbar nach dem Hochwasserereignis vom Oktober 2000 im Wallis entstand der Eindruck, dass die Wildbachprozesse und insbesondere auch Murgänge wesentlich zu den Schäden beigetragen haben. Diese Einschätzung hängt auch damit zusammen, dass bei allen 16 Todesopfern Murgänge oder murgangähnliche Prozesse beteiligt waren. Betrachtet man die Schadenkarten der im ganzen Kanton aufgetretenen Ereignisse und vergleicht man die Anzahl und die Intensität der verschiedenen Prozesse, so gelangt man zu einer etwas differenzierteren Beurteilung. Es fällt auf, dass die fluvialen Wildbachprozesse (Geschiebetransportereignisse) deutlich häufiger waren und insgesamt wohl am meisten Schäden verursachten, abgesehen vom Spezialfall Gondo. Die Murgänge und Rutschungsereignisse waren im Durchschnitt weniger intensiv (vgl. die Prozesskarten: Fig. 5-1, Fig. 5-2 und Fig. 5-3).

Aufgrund der Schadenkarten und der Prozesskarten können grob zwei Hauptschadenzentren definiert werden:

- Brig-Visp-Simplongebiet mit allen angrenzenden südlichen Tälern und einigen nördlich angrenzenden Tälern.
- Raum Martigny mit angrenzenden südlichen Tälern und vereinzelt nördlich liegenden Bereichen.

Im Mittelwallis und im Goms traten zahlenmässig (und schadenmässig) relativ wenig Ereignisse auf. Dies stützt die Aussage von zwei eigentlichen Schadenzentren.

Es kann festgestellt werden, dass hauptsächlich dort Schäden auftraten, wo eine Interaktion der Prozesse mit Gerinnen stattfand, d.h. primär bei Geschiebetransport- und Murgangereignissen. Die meisten Schäden wurden durch Feststofftransportprozesse verursacht, bei welchen entweder Erosion und/oder Ablagerung zu verzeichnen waren (Ausnahme: Schäden durch Überflutung der Rhone). Vergleicht man die Schadenorte z. B. mit der Karte des 2-tägigen Summenniederschlags (Fig. 2-6), stellt man eine gute Übereinstimmung fest.

Eine Aufteilung der registrierten Schäden nach Prozessart, Prozessintensität (zwei Klassen) und nach Regionen (Unterwallis, Mittelwallis, Oberwallis und Goms) ist in Fig. 5-4 dargestellt. Dabei fallen folgende Tatsachen auf: Die weitaus häufigste Prozessform ist der wenig intensive Geschiebetransport, gefolgt von wenig intensiven Rutschungen. An dritter Stelle folgt der intensive Geschiebetransport. Murgangereignisse gab es verhältnismässig wenige, wobei auch dort die wenig intensiven zahlenmässig überwiegen. Die Überschwemmungen nehmen anzahlmässig nur eine untergeordnete Rolle ein.

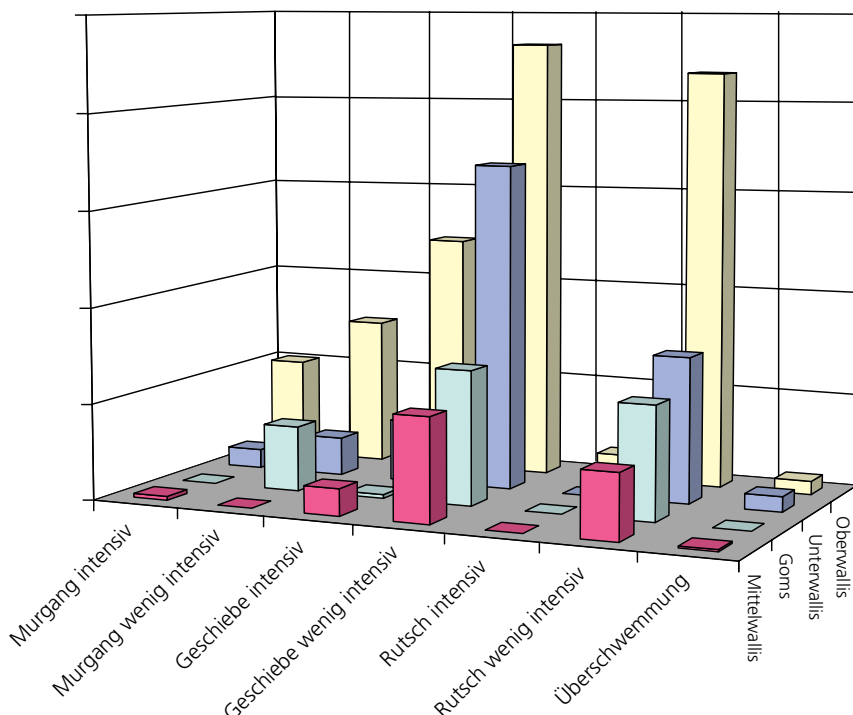


Fig. 5-4: Verhältnis der Schadensprozesse, unterteilt nach 4 Regionen.

Eine genaue Zuteilung der in Kap. 4 beschriebenen finanziellen Schäden zu den einzelnen Prozessarten ist nicht möglich, da die Angaben insbesondere zu den privaten Schäden oft nur summarisch vorliegen. Eine grobe Abschätzung zeigt aber, dass gut zwei Drittel der Schäden durch Erosion und Ablagerungen von Murgängen und Geschiebetransport entstanden. Knapp ein Viertel der Schäden wurde durch Überflutungen verursacht und etwa 10% sind unmittelbar auf Rutschungen zurückzuführen.

Fazit

Die räumliche Verteilung aller Prozesse widerspiegelt die Verteilung der Regenfälle. Zahlenmäßig wichtigste schadenverursachende Prozesse waren der Geschiebetransport (Erosion und Ablagerung) und wenig intensive Rutschungen. Erosion und Ablagerung von Murgängen und Geschiebetransport verursachten $\frac{2}{3}$ der finanziellen Schäden

5.2 Les inondations dans la plaine du Rhône

Tony Arborino

5.2.1 Contexte

Le dimanche, 15 octobre vers midi, le Rhône a atteint un débit de 910 m³/s à Sion et 980 m³/s à Branson. Cette valeur est de l'ordre de grandeur de la crue centennale selon les calculs de la troisième correction du Rhône et est supérieure aux crues observées en 1987 (820 m³/s à Branson) et en 1993 (930 m³/s à Branson). Malgré l'effet de retenue des barrages (voir Chapitre 6) la situation du Rhône était critique partout: des débordements ont été observés à Evionnaz et St. Maurice et une rupture de digue avec débordement dans la plaine a eu lieu à Chamoson.

5.2.2 Surfaces touchées et processus

Surfaces touchées

Ces inondations ont touché plus de 1100 hectares. Les cartes ci-après les localisent.

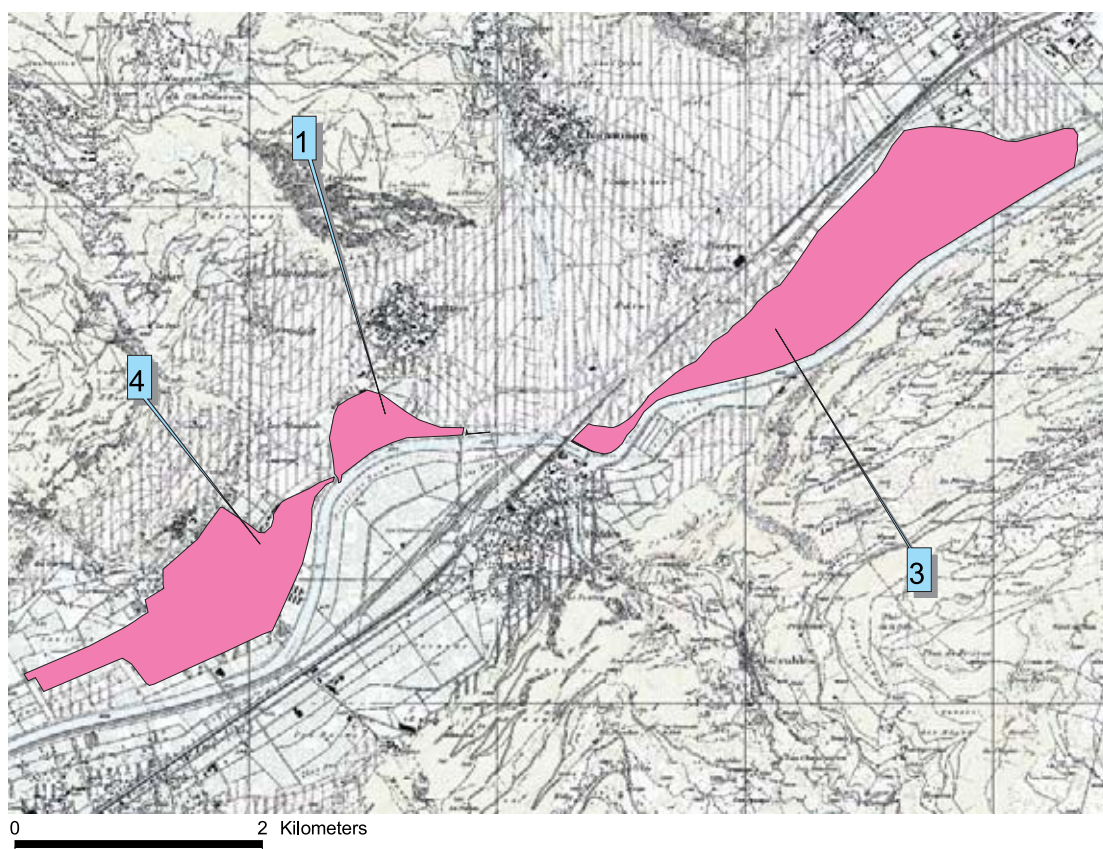


Fig. 5-5-a: Localisation des surfaces inondées dans la région de Chamoson-Saillon

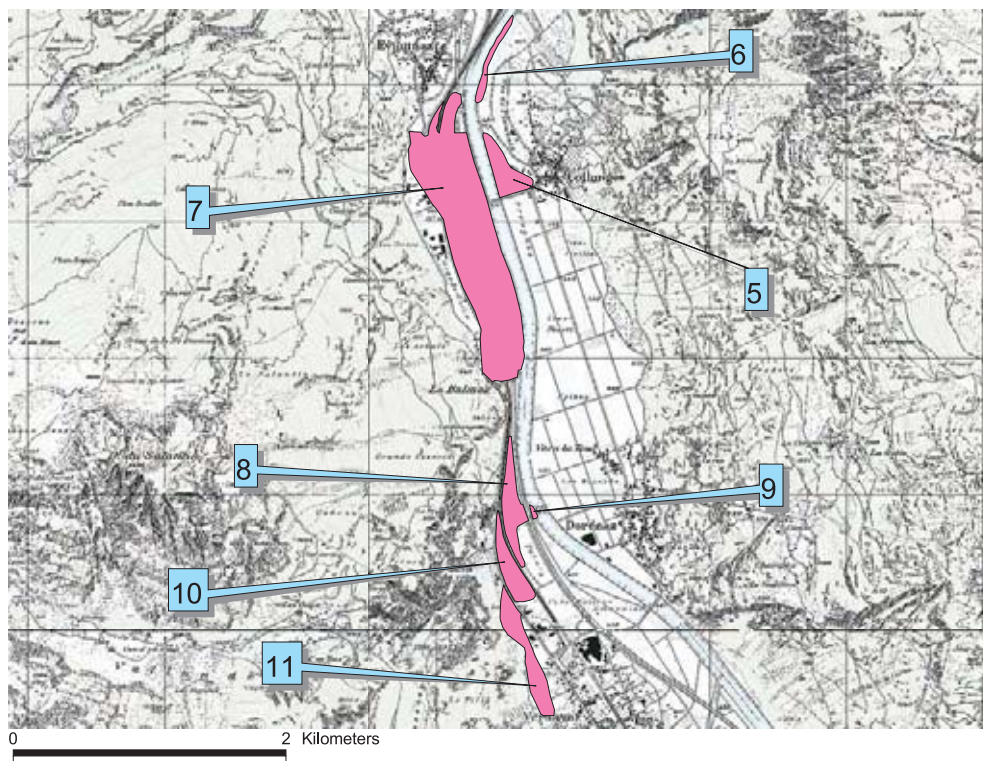


Fig. 5-5-b: Localisation des surfaces inondées dans la région de Vernayaz-Evionnaz

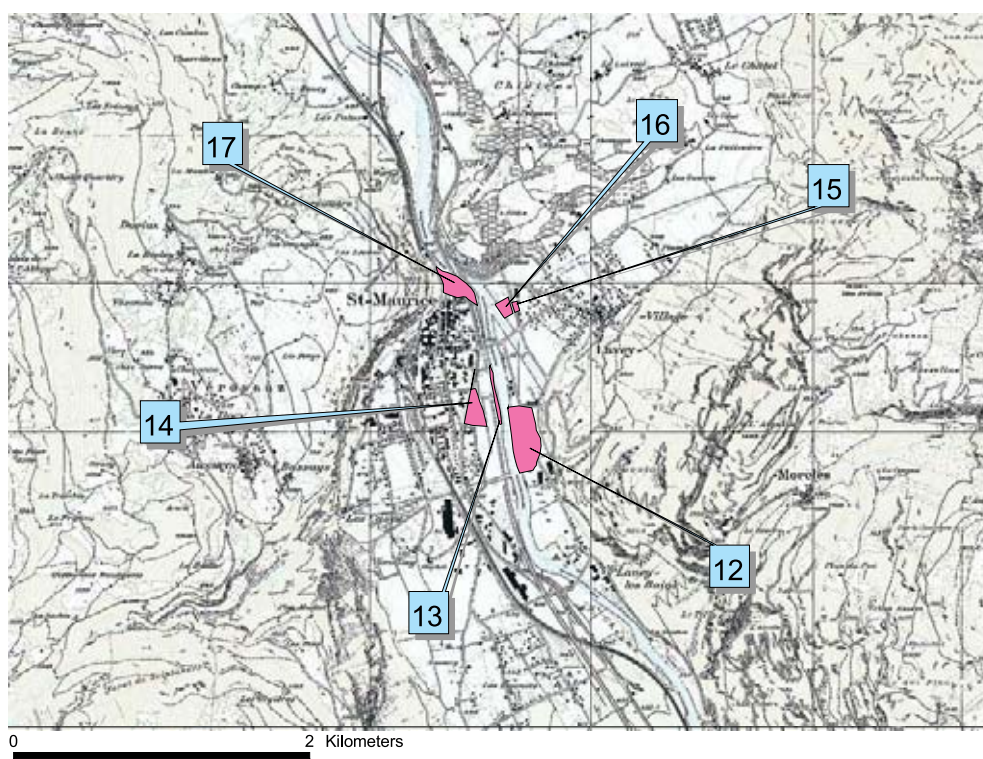


Fig. 5-5-c: Localisation des surfaces inondées dans la région de St. Maurice

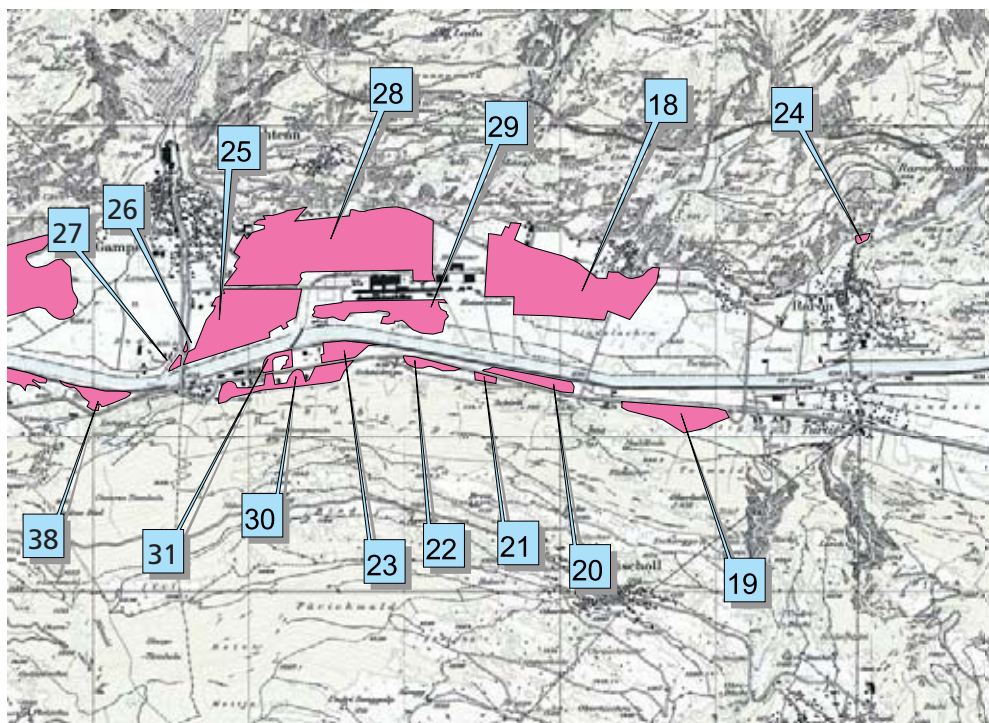


Fig. 5-5-d: Localisation des surfaces inondées dans la région de Raron-Gampel

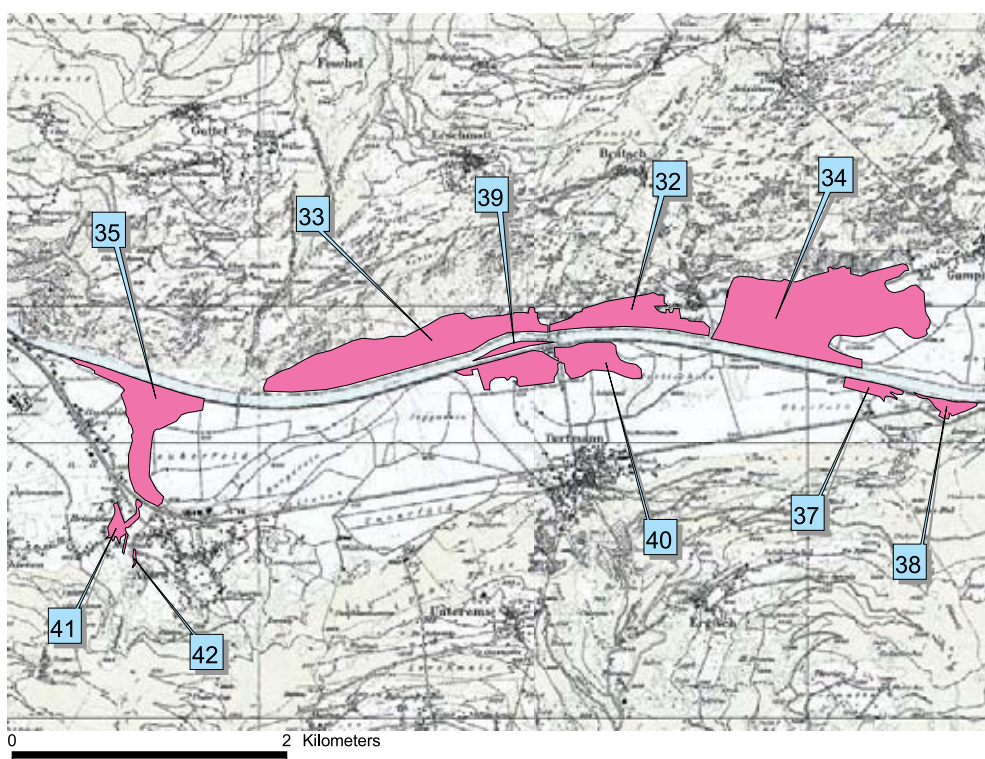


Fig. 5-5-e: Localisation des surfaces inondées dans la région de Gampel-Leuk

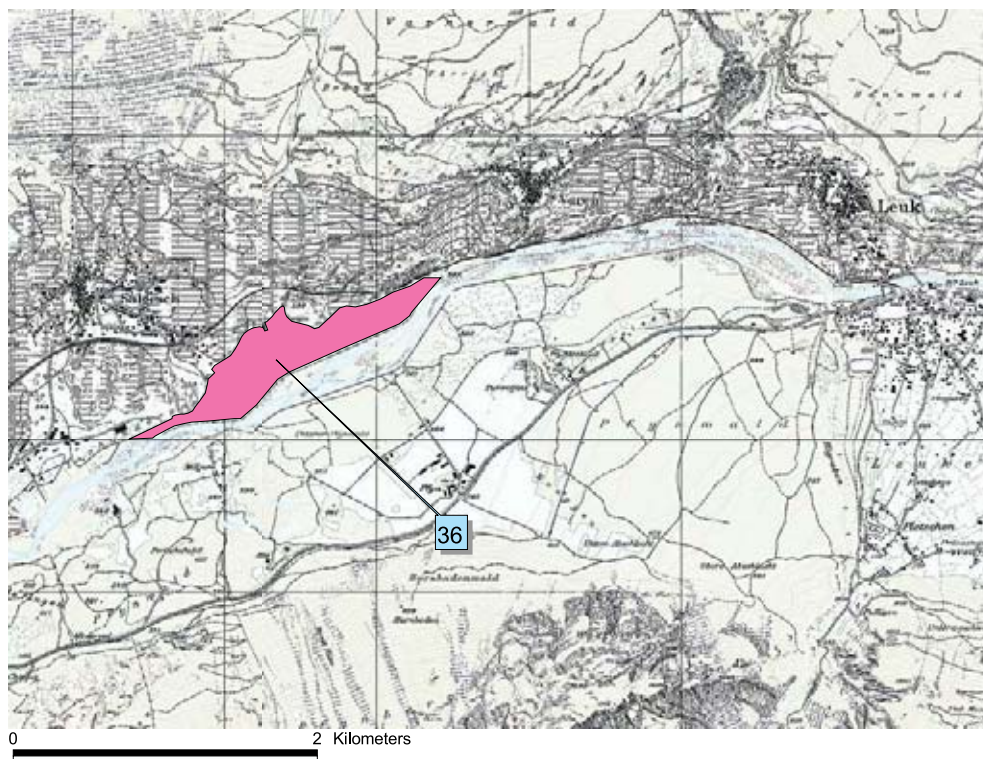


Fig. 5-5-f: Localisation des surfaces inondées dans la région de Salgesch

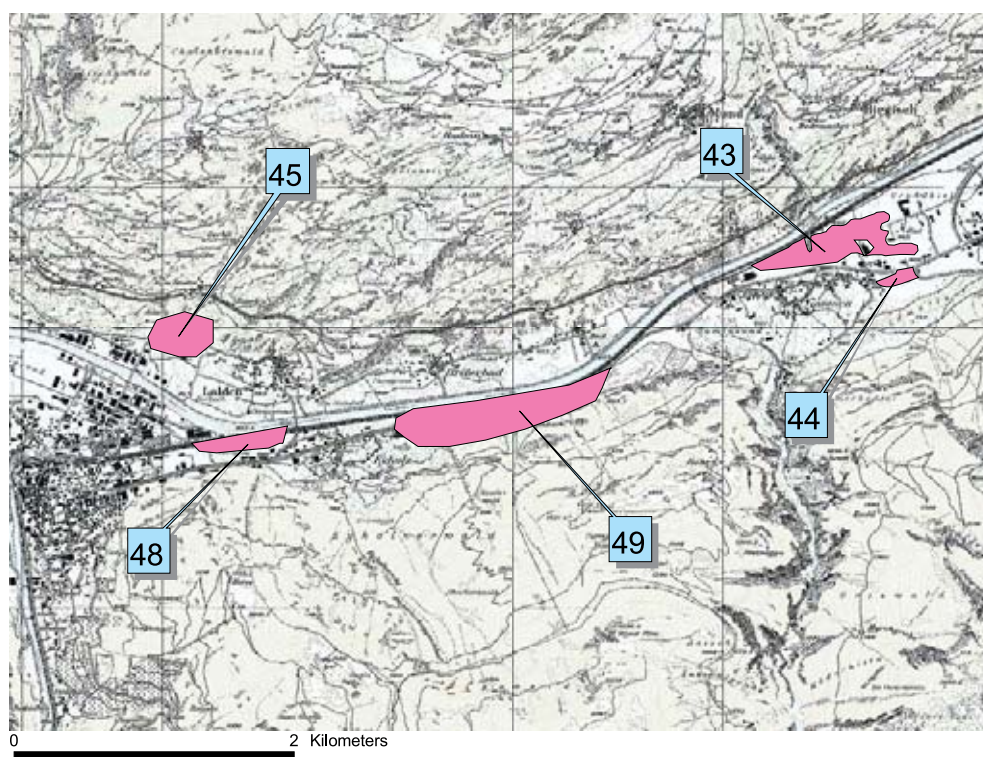


Fig. 5-5-g: Localisation des surfaces inondées dans la région Gamsen-Visp

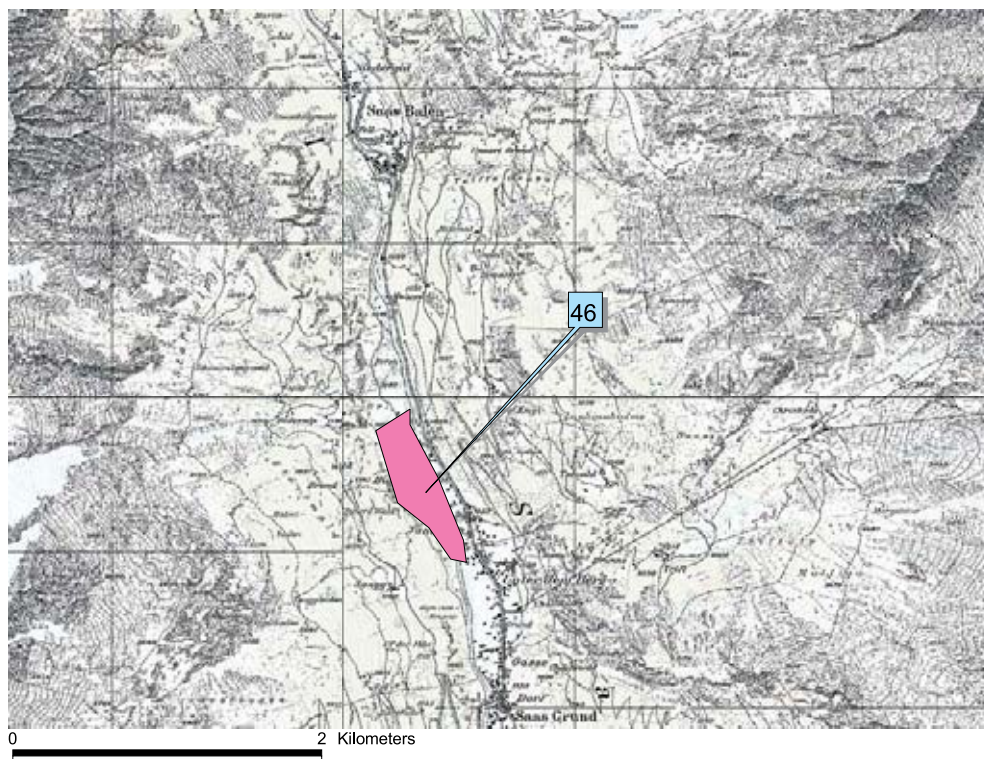


Fig. 5-5-h: Localisation des surfaces inondées dans la région Saas Grund

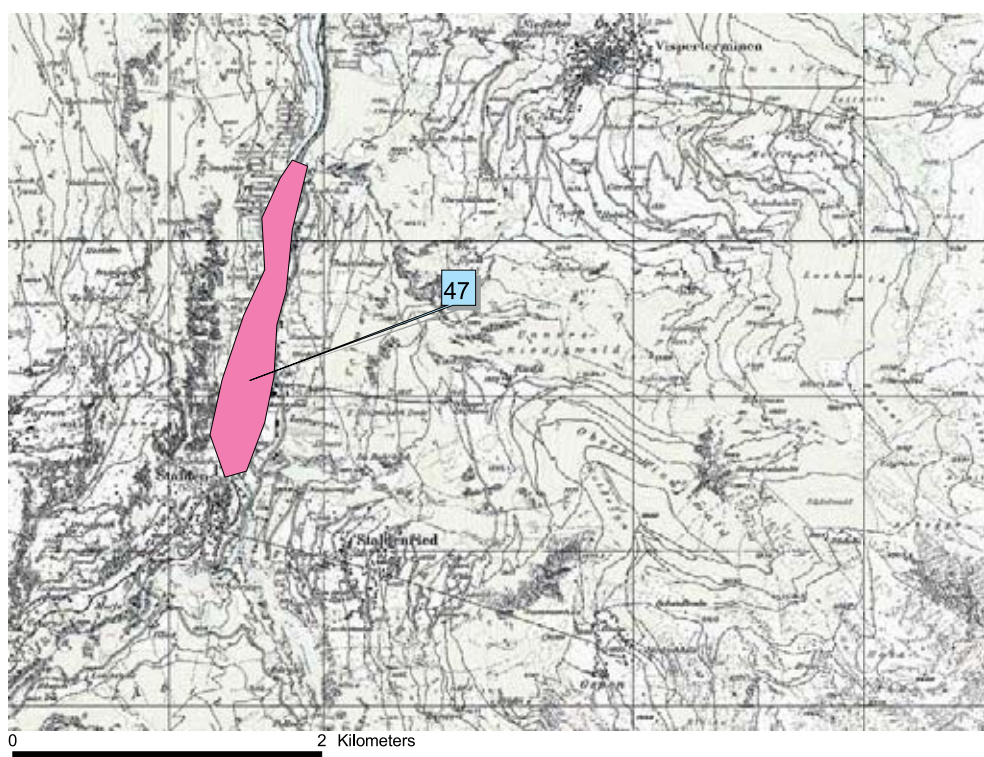


Fig. 5-5-i: Localisation des surfaces inondées dans la région Stalden-Neubrück

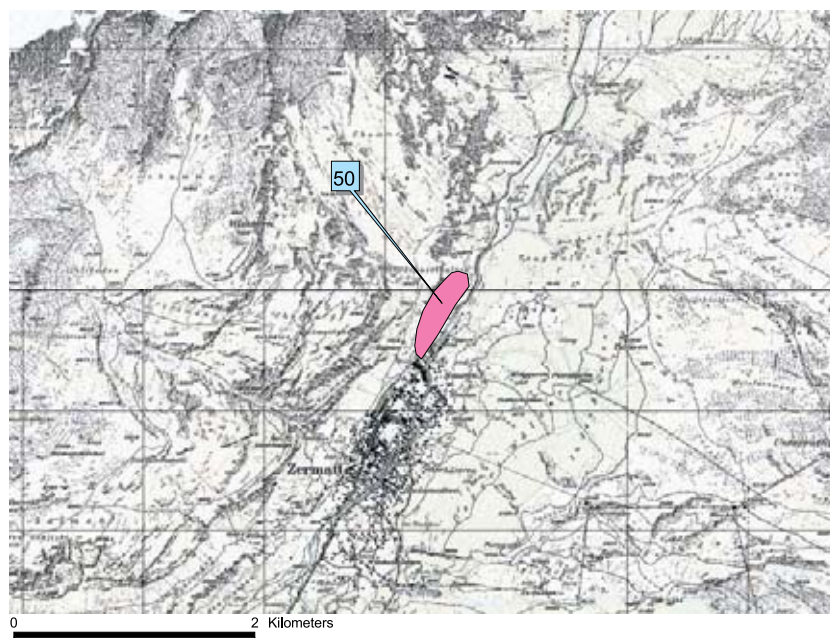


Fig. 5-5-j: Localisation des surfaces inondées dans la région de Zermatt

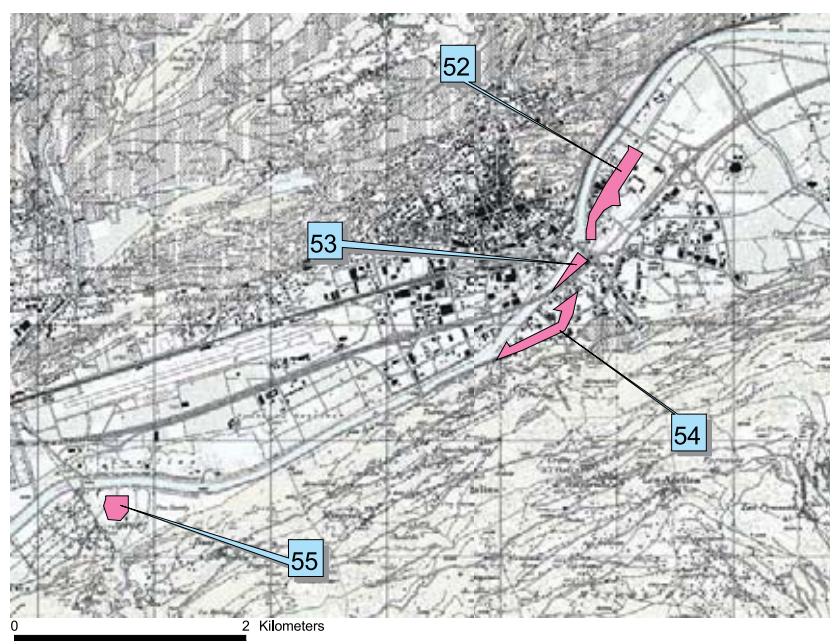


Fig. 5-5-k: Localisation des surfaces inondées dans la région de Sion

Un tableau récapitulatif des principales caractéristiques de ces surfaces est remis en annexe. Un extrait de ce tableau est représenté ci-après dans le Tab. 5-1. Un numéro d'identification (id) a été attribué à chaque surface de manière à permettre le lien avec le tableau.

No d'identification id	Surface (m²)	Surface (ha)	Nom du cour d'eau (–)	Processus
1	324 569	32	canal Sion – Riddes	rupture digue
2	986	0	canal Sion – Riddes	rupture digue
3	2 419 176	242	Rhône	rupture digue
4	1 437 638	144	canal Leytron – Fully	capacité
5	69 653	7	Rhône	refoulement
6	26 509	3	Rhône	capacité
7	717 983	72	Salanfe	capacité
8	81 092	8	Salanfe	refoulement
9	2934	0	Salanfe	refoulement
10	69 001	7	Salanfe	refoulement
11	103 557	10	Salanfe (affluent de la)	refoulement
12	73 506	7	Rhône	capacité
13	7441	1	Rhône	capacité
14	23 870	2	Rhône	refoulement
15	2433	0	Rhône	refoulement
16	9503	1	Rhône	refoulement
17	28 294	3	Rhône	capacité
18	375 325	38	Jolibach puis Galdi canal	capacité
19	71 662	7	canal Milibach	capacité
20	32 578	3	Grossgrund Kanal	capacité
21	6134	1	Grossgrund Kanal	capacité
22	15 667	2	Grossgrund Kanal	capacité
23	30 209	3	Canal Eischlerwas	refoulement
24	3824	0	Torrent Bietschbar	capacité
25	202 598	20	Galdi canal	refoulement
26	977	0	Lonza + Galdi	refoulement
27	3605	0	Lonza + Galdi	refoulement
28	499 229	50	Galdi canal	refoulement
29	107 532	11	canal X (à côté usine alum. Steg)	capacité
30	64 112	6	Kanal Eischlerwas	refoulement
31	13 246	1	Kanal Eischlerwas	refoulement
32	174 151	17	Rhône	capacité
33	466 574	47	Rhône	capacité
34	730 517	73	Rhône	capacité
35	251 456	25	canal du Meretschibach	refoulement
36	486 194	49	Rhône	rupture digue
37	32 730	3	Tannenbach	capacité – charriage
38	29 561	3	Tannenbach	capacité – charriage
39	18 294	2	canal Putjergraben	embâcle
40	221 040	22	canal Putjergraben	embâcle
41	31 911	3	canal du Meretschibach	refoulement
42	2097	0	canal du Meretschibach	capacité
43	196 049	20	Grosser Graben	refoulement
44	21 087	2	Grosser Graben	refoulement
45	116 897	12	Finnubach	capacité
46	226 205	23	Saaservispa	hors plaine
47	475 409	48	Vispa	hors plaine
48	69 292	7	Rhône	percolation digue
49	368 022	37	Gamsa	capacité
50	138 291	14	Matervispa	hors plaine
51	140 654	14	Matervispa	hors plaine
52	102 923	10	canal de Wissiggen	refoulement
53	22 104	2	canal de Wissiggen	refoulement
54	75 984	8	canal de Wissiggen	refoulement
55	38 867	4	Printse	refoulement

Tab. 5-1: Extrait du tableau des caractéristiques des surfaces inondées (voir aussi annexe 8-4)

Sur les 1126 hectares inondés, 1027 concernent la plaine du Rhône. Ces 1027 hectares sont dus au Rhône (449 hectares) ou aux canaux (578 hectares). L'inondation la plus importante est celle du Rhône à Chamoson (242 ha) consécutif à la rupture de digue, elle-même suivie par une surcharge du système de canaux et une rupture de digue du canal qui a occasionné 144 hectares d'inondation supplémentaire sur Saillon. Ce sont les seuls cas de rupture de digue. Les autres processus observés sont des débordements directs du Rhône à différents points bas du profil en long, ainsi que des inondations des canaux à cause de la courbe de remous reliée au Rhône en crue. Ces inondations se répartissent ainsi suivant les différentes régions:

Inondation sur la région du:	Due au Rhône (ha)	Due aux canaux (ha)	Total (ha)
Bas Valais	14	283	297
Valais Central	242	14	256
Haut Valais	193	281	474
Total (ha)	449	578	1027

Tab. 5-2: Répartition des inondations par région (la limite entre le Bas Valais et le Valais Central est, pour la rive droite, la limite communale Leytron-Chamoson et, pour la rive gauche, la limite communale Riddes-Nendaz).

Le rattachement d'une zone d'inondation à une région a été fait en fonction de la localisation de la surface inondée et non de la cause. Par exemple, les inondations de la région de Saillon, situées en Bas Valais mais dus à la rupture de digue du Rhône puis du Canal Sion-Riddes du Valais Central sont comptabilisées comme inondations bas-Valais.

Processus

Les processus ont été séparés en cinq catégories:

- Rupture de digue: ruptures du canal Sion-Riddes et du Rhône.
- Capacité: dépassement de la capacité hydraulique du profil (débordement à cause du gabarit hydraulique insuffisant).
- Capacité – charriage: débordement influencé par un phénomène de charriage/déposition ou suite à une lave torrentielle.
- Percolation digue: percolation à travers la digue en mauvais état.
- Refoulement: débordement à cause d'une courbe de remous au Rhône. Aussi valable pour les canalisations.
- Embâcle: inondation due à l'obstruction d'une section.

Le tableau suivant récapitule l'importance de chacun de ces processus.

Processus	Nombre de zones inondées	Surfaces inondées (ha)
Rupture Digue	4	323
Capacité	19	478
Capacité-charriage	2	6
Percolation digue	1	7
Refoulement	23	189
Embâcle	2	24
Total	51	1027

Tab. 5-3: Importance des différents processus.

Déposition en plaine

Contrairement à ce que l'on pourrait attendre, peu de phénomènes de déposition ont eu de l'influence sur les inondations:

- Rhône: dépôts ponctuels à St-Maurice (en courbe) et dans la région de Brig. Bien qu'ils aient certainement diminué la capacité du fleuve, ils ne sont pas associés à des débordements.
- Affluents: d'une manière générale, les affluents ont déposé des matériaux au voisinage de l'embouchure du Rhône, comme cela est bien visible pour la Lonza et Navisence par exemple.

Les canaux, même s'ils ont été soumis à des phénomènes de remous, n'ont pas montré de tendance marquée à la déposition.

On peut donc dire que peu de phénomènes de dépôts ont été observés en plaine, et, d'une manière générale, ils ne sont pas liés à des inondations.

Le relevé des profils en travers du Rhône et la comparaison avec la situation avant la crue sont en cours, mais il apparaît déjà que dans la région de Brig une surélévation de la nappe est due au phénomène de déposition. Cette surélévation semble avoir causé la perte des récoltes de 2001 dans ce secteur.

5.2.3 Interventions en crue

Différentes interventions locales ont été menées durant l'événement de manière à limiter le danger d'inondation ou de rupture de digue. Les principales sont les suivantes.

Danger de:	Localisation	Mesure prise
Rupture de digue Rhône	Port Valais Visp	Renforcement par grave Renforcement béton/grave
Inondation Rhône	Monthey Martigny	Sacs de sable Sacs de sable
Inondation canaux et affluents	Lonza	Surélévation des berges

Tab. 5-4: Dangers d'inondation et mesures prises.

5.2.4 Mesures réalisées avant les intempéries et ayant eu des effets positifs sur les inondations de plaine

Les travaux suivants ont été réalisés suite aux événements de 1993 et ont permis de limiter fortement les dégâts lors de la crue 2000. L'exemple le plus flagrant est le renforcement de la digue dans la région de Fully qui a probablement évité une rupture de digue à cet endroit.

Projet	Commune	(CHF) Investissement	Mesures
Rottenkorrektio	Brig-Glis	1 000 000	Renforcements des digues
Rhône à Finges	Leuk	2 000 000	Renforcements des digues
Rhône 3 ^{ème} correction	Niedergesteln	770 000	Enrochements
Rhône, 3 ^{ème} correction	Fully	6 600 000	Renforcement des digues
Rhône, 3 ^{ème} correction	Visp	360 000	Rehaussement de digue (1996)

Tab. 5-5: Mesures réalisées avant les intempéries.

5.2.5 Parallèle avec le projet de correction du Rhône

Le tableau et graphique suivants mettent en regard les débits observés lors des dernières crues et les valeurs calculées pour le projet du Rhône. D'une manière générale, les débits observés en octobre 2000 se situent en dessous ou dans la partie inférieure de la fourchette de débits estimée pour la crue centennale.

	Crue 87	Crue 93	Crue 2000	fourchette de débits de la R3		EHQ
				Q _{100min}	Q _{100cible}	
Brig	495	460	560	495	575	750
Sion	775	830	910	885	1120	1520
Branson	820	930	980	1060	1260	1600

Débits en m³/s

Tab. 5-6: Débits observés en comparaison avec les valeurs calculées pour la 3^{ème} correction du Rhône (R3).

Les débits à la Porte du Scex ne sont pas mentionnés car les études se limitaient au tronçon Brig-Martigny.

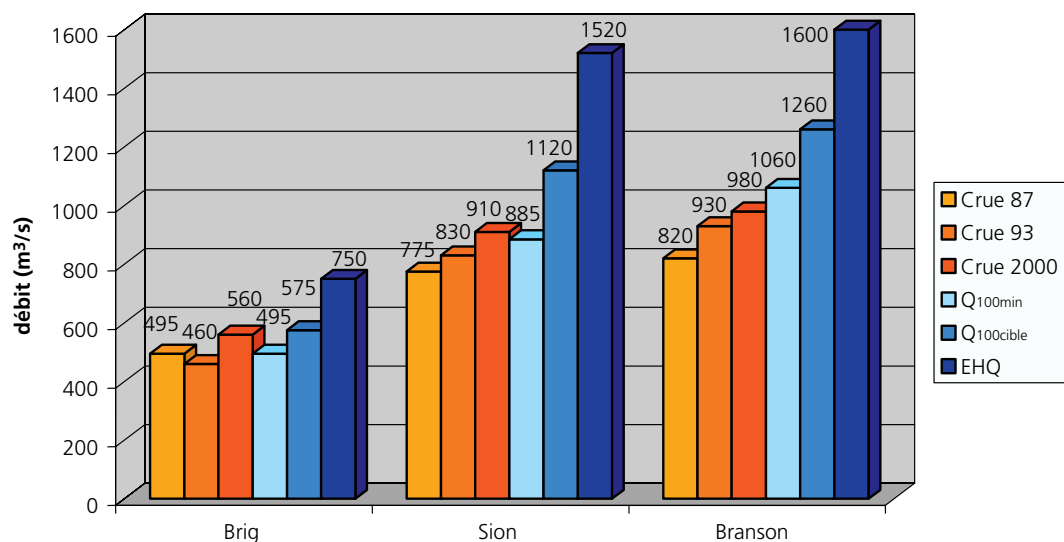


Fig. 5-6: Rhône: débits observés et de projet (EHQ).

Débits pour la 3^{ème} correction du Rhône

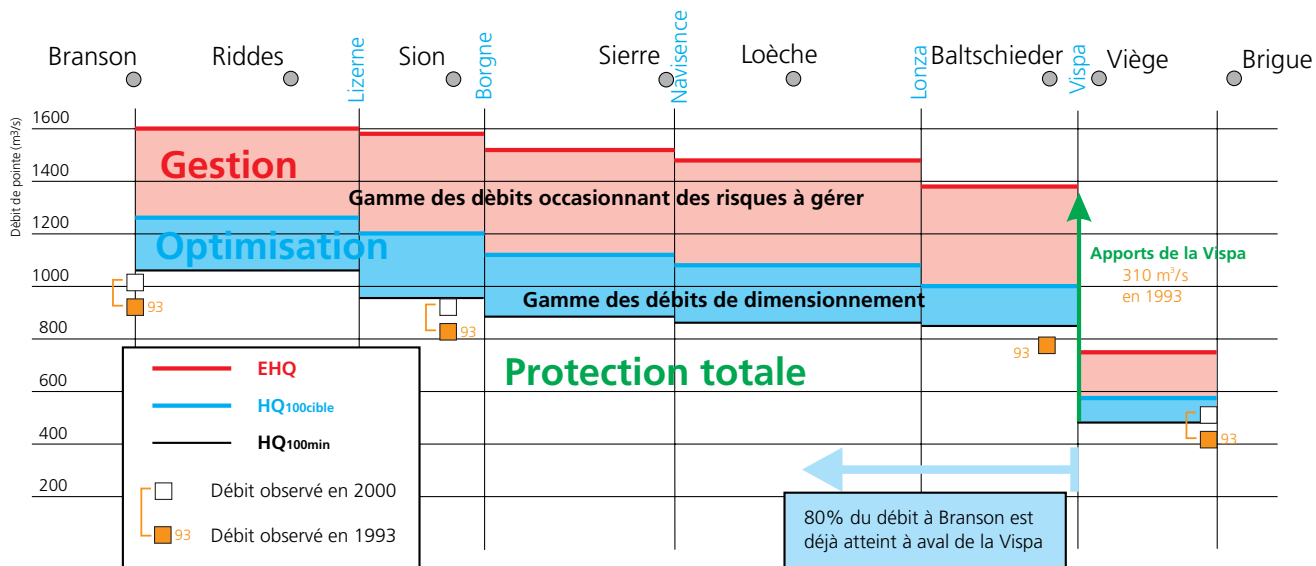
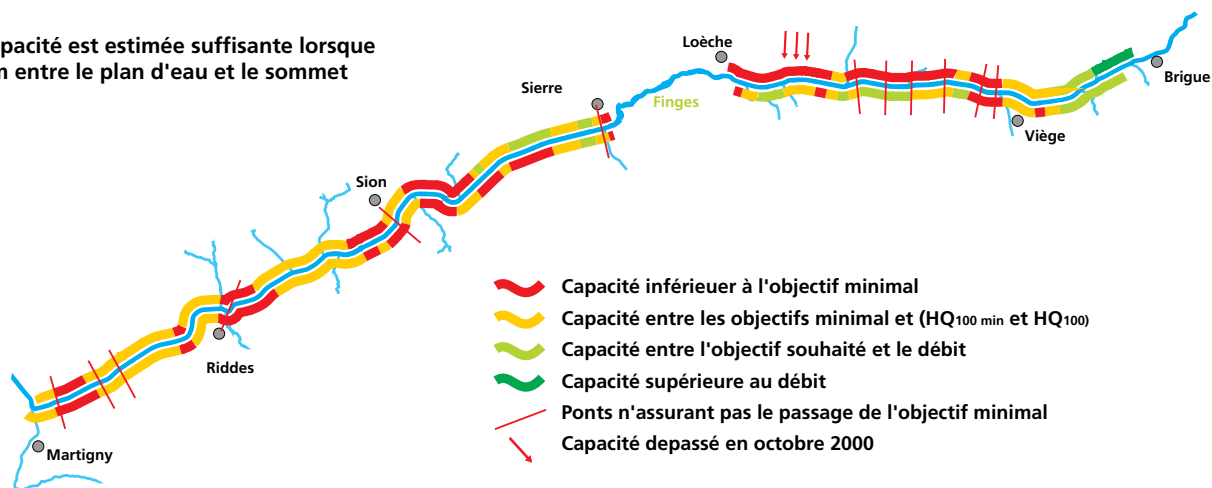


Fig. 5-7: Débits pour la 3^{ème} correction du Rhône.

Sur la base de ces débits, le projet du Rhône a évalué le danger de débordement et de rupture de digue. Ces résultats sont synthétisés dans les figures suivantes.

La capacité hydraulique actuelle

La capacité est estimée suffisante lorsque 50 cm entre le plan d'eau et le sommet



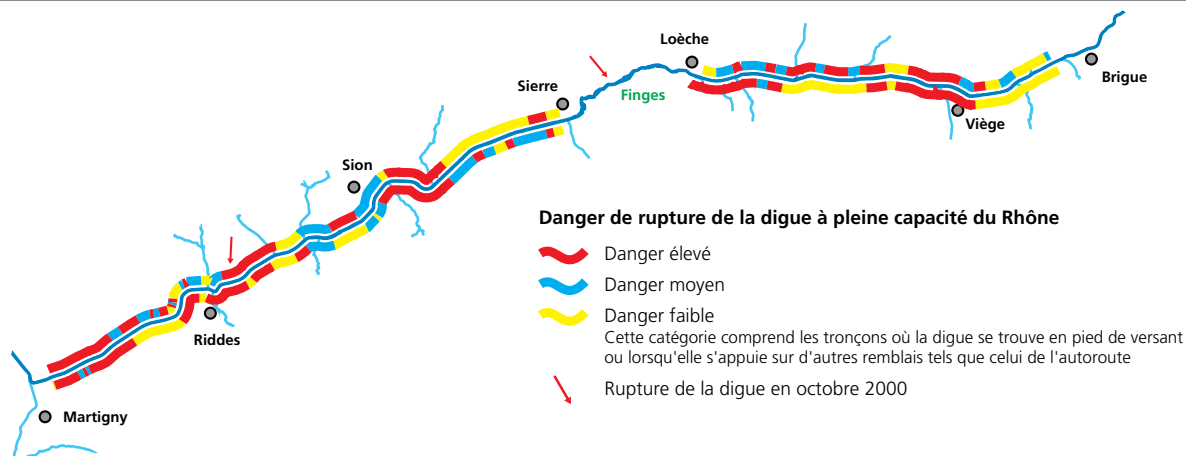


Fig. 5-8: Danger de rupture de la digue à pleine capacité du Rhône.

La crue 2000 a donc confirmé qu'une partie de la plaine était inondable lors d'une crue centennale. Elle a mis en évidence que le système de canaux est très sensible au niveau du Rhône, ce qui renforce l'idée de rechercher des solutions pour la troisième correction tendant à abaisser le niveau du fleuve par élargissement plutôt que de rehausser les digues pour assurer la capacité voulue.

D'une manière générale, le concept de protection contre les crues défini par le projet de troisième correction est solide et n'est pas remis en cause par cette crue. Cet événement a mis en évidence les points suivants:

- Les résultats hydrologiques ne doivent pas être modifiés mais optimisés sur la base de cette nouvelle crue.
- Les problèmes de courbes de remous dans les canaux et affluents doivent être traités de manière détaillée.
- Les variantes envisageant les surélévations des digues permettent une augmentation du niveau d'eau et augmentent donc les problèmes de courbes de remous aux embouchures. Elles reportent le danger plus loin. On préférera donc les variantes abaissant les niveaux d'eau (élargissement).

5.2.6 Suite des études et travaux

Durant l'année 2001, environ 9 millions ont été investis pour des mesures de remise en état ou d'entretien du Rhône. Il est prévu de réaliser des projets de remise en état en 2002–2003 pour environ 7 millions sur le Bas-Valais.

Des mesures prioritaires (secteurs avec dégâts potentiels importants) ont été définies dès 1998. Il s'agit des secteurs de Visp, Chippis et Fully. Il est prévu de les réaliser dans les cinq ans pour un investissement d'environ 50 millions.

Ces priorités seront ré-analysées à la lumière de l'événement 2000 et de l'extension du projet à l'aval de Martigny et à l'amont de Brig. Il pourra en résulter une nouvelle série de mesures prioritaires.

Le projet général du Rhône sera élaboré pour 2005 et mis à l'enquête. Des projets sectoriels pourront alors être étudiés et réalisés.

En bref

Les inondations dans la vallée du Rhône se sont produites en raison de ruptures de digues et/ou en raison d'une insuffisante capacité du lit de la rivière. En outre, les remous dans les affluents et les canalisations ont causé des inondations d'une importance semblable à celles de la vallée principale. La crue de 2000 a confirmé la justesse des paramètres adoptés pour la 3^{ème} correction du Rhône; cette crue s'inscrit plutôt bien dans les objectifs de correction, arrêtés pour ce projet.

5.3 Die Wirkung von Geschiebe und Schwebstoffen bei den Unwettern vom 14./15. Oktober im Wallis

Martin Jäggi

Die Umlagerung von Geschiebe und Feststoffen während extremer Hochwasser kann die Schäden verstärken oder sogar Auslöser schadenswirksamer Prozesse sein. Von japanischen Fachleuten wurde der englische Begriff «sediment disaster» geprägt (z. B. Kobashi, 1996), für den kein gleichwertiger deutscher Ausdruck gebräuchlich ist. Einer solchen Kategorie von Ereignissen kann sicher die Katastrophe von Brig-Gras 1993 (Bezzola et al., 1994) zugeordnet werden, da die Geschiebeablagerung im Querschnitt der Saltina-Brücke der Auslöser war und die Ablagerung von ca. 200 000 m³ Feststoffen die Schadenswirkung vermehrte. Auch 1987 gab es Ereignisse mit entscheidender Rolle der Geschiebeführung, nämlich in Poschiavo (Lardi und Monigatti, 1987; Jäggi und Abegg, 1993) und Wassen/Gurtellen (Bezzola et al., 1990, 1991). Solche «Sedimentkatastrophen» grenzen sich einerseits von den reinen Überflutungen durch ausuferndes Wasser und andererseits von den Murgängen ab. Geschiebe und Schwebstoffe haben während der Unwetter vom 14./15. Oktober 2000 im Wallis an verschiedenen Orten eine Rolle gespielt.

5.3.1 Fluviale Geschiebeumlagerungen

Wie Untersuchungen des Geschiebehaushalts am Alpenrhein (Zarn et al., 1995; Zarn, 1999; Jäggi 1992), der Thur (Schilling et al., 1996) und der Rhone (Bianco et al., 1999) zeigen, sind alluviale Flüsse praktisch nie im Gleichgewicht. Die Auflandungs- und Erosionsraten sind aber in der Regel so klein, dass die Änderung der Sohlenlage erst nach Jahren und Jahrzehnten spürbar wird. Die Ablagerungs- oder Erosionsfläche wirkt als Speicher, welcher das Ungleichgewicht stark abdämpft. Einzelne Hochwasserereignisse können zwar Geschiebefrachten umlagern, die grösser sind als eine Jahresdurchschnittsfracht, doch betragen solche Änderungen der Sohlenlage in solchen Speicherstrecken lediglich einige cm pro Jahr oder Ereignis. Aufgrund der Geschiebehaushaltsuntersuchungen für die dritte Rhonekorrektur (Canton du Valais, 1999), die ein solches Verhalten aufgezeigt haben, kann angenommen werden, dass die Bewegungen der Sohlenlage zwischen Brig und Martigny während des Hochwassers in der Regel klein gewesen sein dürften und nicht zu den Schäden beigetragen haben. Nebst den nachfolgend beschriebenen Ausnahmen (Naters, Pfynwald) ist grundsätzlich im Bereich der

Mündungen von Seitenzubringern (Vispa, Lonza, Drance) und im Raum Chippis die Wirkung von Geschiebeablagerung nicht vernachlässigbar. In Chippis war eine Überflutung rein aufgrund mangelnder Abflusskapazität möglich; wie weit eine Sohlenhebung diese gefördert hat, ist nicht bekannt. An den übrigen möglichen Schadenpunkten gab es keine Schadenswirkung, welche mit Auflandungsphänomenen in Zusammenhang gebracht werden könnte.

Ein relativ kleinräumiges Problem ist infolge von fluvialer Geschiebeumlagerung oberhalb von Sembrancher in der Drance de Bagnes aufgetreten. Aus dem Mündungsbereich des Merdenson, eines bekannten Wildbachs, wurde Material erodiert und weiter flussabwärts gleich wieder abgelagert, wobei das bestehende Gerinne praktisch verfüllt wurde.

Die im Lauf der Untersuchungen für die dritte Rottenkorrektur festgestellte latente Erosionstendenz auf der Höhe von St. German (Raron) scheint sich während des Hochwassers 2000 weiter ausgewirkt zu haben. Sie ist eine Folge von Geschiebeentnahmen und wird bei häufigen Hochwassern durch eine starke Deckschichtbildung gebremst. Diese Bremswirkung nimmt bei ausserordentlichen Ereignissen ab.

Ablagerung im Raum Naters

Der Rotten weist bei Naters einen starken Gefällsknick auf (Abnahme von 8 auf etwa 2.6‰) und deshalb kann nur ein kleiner Anteil des ankommenden Geschiebes weiterverfrachtet werden. In Durchschnittsjahren genügt die Aktivität des dort installierten Kieswerks, um Rückhalteraum zu schaffen und Sohlenhebungen zu verhindern. Im Oktober 2000 kam es nun aber zu einer substantiellen Ablagerung sowohl durch die Zufuhr des Rottens und der Saltina. Zwei Sohlenschwellen wurden eingekiest. Im Bereich des Kieswerks betrug die Sohlenhebung maximal 2,5 m, auf einer längeren Strecke 1 bis 1,5 m (Angaben Ingenieurbüro Teyssie und Candolfi, Visp). Diese Sohlenhebung hat offensichtlich zur Überflutung des unteren Dorfteils von Naters beigetragen.

Bei einer geschätzten Ablagerungslänge von 4200 m kann auf ein Ablagerungsvolumen in der Grössenordnung von 150 000 m³ geschlossen werden. Eine Geschiebetransportrechnung mit der Hochwasserganglinie der Landeshydrologie (LH) ergibt einen Ausstrag in die unterliegende Strecke von 49 000 t oder 24 500 m³. Somit hätte der Eintrag aus Rotten und Saltina ca. 175 000 m³ betragen, wovon sich ca. 86% abgelagert haben. Ordnet man dem Eintrag der Saltina 20 000 m³ zu, so verbleiben für den Eintrag des Rottens ca. 155 000 m³. Gemäss einer weiteren Transportrechnung entspricht dies einem Gefälle am oberen Ende der Ablagerungsstrecke von 7,4‰. Dieser Wert

liegt leicht unter jenem des steileren Abschnitts nach der Mündung der Massa, der Rotten wäre somit in dieser Strecke mit Geschiebe gesättigt gewesen. In diesen Überlegungen bleibt unberücksichtigt, dass beim Abklingen des Hochwassers und bei späteren kleineren Ereignissen bei geringem Eintrag ein Teil des abgelagerten Materials wieder abgetragen werden kann.

Beim Spitzenabfluss von 560 m³/s beträgt die rechnerisch ermittelte Eintragsrate des Rottens ca. 1560 kg/s und die Austragsrate ca. 360 kg/s. Betrachtet man eine gleichmässig verteilte Ablagerung auf einer Länge von 4200 m, so ergibt sich aus der Differenz eine Auflandungsrate von 1,1 cm/h. Pro Stunde gingen also somit während dem Ereignis bis ca. 0,5 m² Abflussquerschnitt verloren. In der Anfangsphase war die Ablagerungslänge deutlich kleiner. Nimmt man 400 m an, so wird die Auflandungsrate zu 4,4 cm/h und der Verlust an Querschnittsfläche zu 2 m²/h. Obwohl also proportional gesehen die Auflandung massiv ist, so ist der Prozess, bezogen auf den Verlust an Abflusskapazität, doch relativ langsam. In einer hydraulischen Dimensionierung der Hochwasserschutz-

massnahmen muss in einem solchen Fall die Auflandung durch eine dynamische Rechnung mit Entwicklung der Sohlenlage berücksichtigt werden, doch steht für ein Einzelereignis ein grosses Speichervolumen zur Verfügung.

Die Berechnung der Geschiebefrachten ergibt für die Ganglinie des Hochwassers 1993 um 40 bis 50% tiefere Werte, verglichen mit den obigen Resultaten mit der Ganglinie 2000.

Rotten im Pfywald

Der Rotten ist im relativ naturnahen Abschnitt vom Pfywald durch die hohen Einträge (bis 300 000 m³/Jahr) des Illgrabens geprägt (VAW, 1988). Natürlicherweise wurde dieses Geschiebe grösstenteils auf dem ganzen Abschnitt verteilt; in den letzten Jahrzehnten wurde der grösste Teil durch Kieswerke entnommen. Der Austrag Richtung Chippis kann gemäss den Untersuchungen für die dritte Rhonekorrektur für Durchschnittsjahre auf ca. 30 000 m³/Jahr geschätzt werden, der Eintrag in Susten auf ca. 15 000 m³/Jahr.

	Bilanz	Variante 1 Schätzfehler an der Ablagerung	Variante 2 Schätzfehler an der Murenfracht	Variante 3 Schätzfehler verteilt
1 Eintrag Susten 1999/2000 ohne HQ	15 000	15 000	15 000	15 000
2 Eintrag Susten HW 2000 rechnerisch	15 000	15 000	15 000	15 000
3 Abtrag Depot Wehr Susten	0	30 000	30 000	30 000
4 Eintrag Illgraben 1999/2000 inkl 15. Okt. 2000	145 000	145 000	145 000	145 000
5 Schätzfehler Eintrag Illgraben	0	0	155'000	77 500
6 Erosion Mündungszone Illgraben 1999–2000	45 000	45 000	45 000	45 000
7 Ablagerung Rotten Pfywald	215 000	215 000	215 000	215 000
8 Fehler an der Bestimmung Ablagerung	0	–155 000	0	–77 500
9 Kiesentnahmen 1999–2000	100 000	100 000	100 000	100 000
10 Austrag 1999/2000 (ohne HQ)	30 000	30 000	30 000	30 000
11 Austrag HQ ₂₀₀₀ rechnerisch	60 000	60 000	60 000	60 000
12 Nettoablagerung (Zeile 7 + Zeile 8–Zeile 6)	170 000	15 000	170 000	92 500
13 Summe Einträge (Summe Zeilen 1 – 6)	220 000	250 000	405 000	327 500
14 Summe Ablagerung und Austrag (Summe Zeilen 7–11)	405 000	250 000	405 000	327 500
15 Differenz (Zeile 14–13)	–185 000	0	0	0
16 Rechnerische Transportkapazität Steilstrecke, Ablagerungsfall	365 000	365 000	365 000	365 000
17 Rechnerische Transportkapazität Steilstrecke, Erosionsfall	315 000	315 000	315 000	315 000
18 Eintrag in Steilstrecke HQ ₂₀₀₀ (Zeile 13–1)	205 000	235 000	390 000	314 000
19 Differenz zur Transportleistung Erosionsfall (Zeile 18–17)	–110 000	–80 000		–1000
20 Differenz zur Transportleistung Ablagerungsfall (Zeile 18–16)			25 000	

Tab. 5-7: Zusammenstellung der Geschiebeverlagerungen während den Hochwasser vom Oktober 2000. In der Spalte «Bilanz» sind die effektiv gemessenen Werte angegeben. Spalten 2 und 3 stellen Möglichkeiten dar, die in Spalte «Bilanz» auftretenden Differenz zu verteilen (Erklärungen vgl. Text).

Auch während des Hochwassers vom 14./15. Oktober 2000 hat der Rotten im Abschnitt Pfywald im Vergleich zu anderen Strecken enorm grosse Geschiebemenngen umgelagert (vgl. Tab. 5-7). Gemäss Erhebungen der KBM Ingénieurs SA, Sitten, betrug die Nettoablagerung zwischen Ende 1999 und Ende 2000 in der Strecke Susten – Praz/Siders (ca. 7 km) ca. 170 000 m³. Diese Zahl ergibt sich aus einer Erosion von ca. 45'000 m³ bei der Mündung des Illgrabens, wo sich die Sohle um 2.3 m eintiefte und einer Ablagerung auf der folgenden Strecke von ca. 215 000 m³. Die Hebung der mittleren Sohlenlage betrug bis zu 1 m, mit einem Maximum ca. 1.5 km nach der Mündung des Illgrabens. Auffallend ist der hohe Grobanteil in dieser Ablagerung mit Blöcken von 2 bis 3 t. Im Juni und Juli 2000 führten einige Murgänge des Illgrabens zu Ablagerungen im Zusammenflussbereich mit der Rhone (s.a. Rickenmann et al., 2001). Auch am 14./15. Oktober 2000 hat der Illgraben eine erhebliche Materialmenge eingetragen. Insgesamt wird die Zufuhr auf 220 000 m³ (Wasser und Feststoffe) geschätzt, was einem Geschiebeanteil von max. 145 000 m³ entsprechen dürfte. Das Rottenhochwasser hat sich aus diesen und früheren Ablagerungen mit Geschiebe gesättigt. Der Eintrag aus der Strecke Niedergampel–Susten dürfte im Verhältnis dazu fast vernachlässigbar gewesen sein. Eine Kontrollrechnung ergibt für das Hochwasser vom 14./15. Oktober 2000 bei einem örtlichen Gefälle von 1.5‰ eine Fracht von etwa 15'000 m³. Eine analoge Rechnung gibt für den Austrag bei Praz etwa 60 000 m³. Eine rechnerische Kontrolle des Transportvermögens in der mit 2‰ Gefälle recht steilen ca. 700 m langen Strecke nach der Mündung des Illgrabens, am Übergang zwischen Erosion und Auflandung, ergibt für das Hochwasser von Oktober 2000 eine rechnerische Transportleistung für den Ablagerungsfall von 365 000 m³ und für den Erosionsfall von 315 000 m³. Der Ablagerungsfall tritt dann ein, wenn mehr Material in diese Teilstrecke transportiert wird, als die Rhone zu transportieren vermag. Erosion findet im umgekehrten Fall statt. Aufgrund der Ergebnisse der Vermessung, Erosion von ca. 45 000 m³ im Mündungsbereich, ist der Erosionsfall der Wahrscheinlichere. Im Zeitraum zwischen den Vermessungen der Sohlenlage wurden auch 100 000 m³ Geschiebe entnommen. Übernimmt man die durchschnittlichen Ein- und Austräge des Rottens für die Periode 1999–2000 ohne das Hochwasser von Oktober 2000, so ergibt sich eine Bilanz wie auf obiger Tabelle (Tab. 5-7, Spalte «Bilanz»). Die Zahlen stimmen aber sehr schlecht zusammen, sowohl in Bezug auf die Volumenbilanz wie auf die Kontrolle über das Transportvermögen. In den Spalten «Varianten 1–3» sind deshalb die Schätz-

fehler an den Murenfrachten und an der Ablagerung eingeführt, sowie ebenfalls ein zusätzlich in die Strecke eingetragenes Volumen, welches maximal als Folge von Rückwärtserosion aus dem Stauraum des Werkes Susten abgeschwemmt wurde. In den Spalten «Variante 1» und «Variante 2» ist jeweils eine der Messungen Eintrag Illgraben (Zeile 4) bzw. Ablagerungskubatur (Zeile 7) als korrekt angenommen worden, die andere wurde so variiert, dass die Differenz in Zeile 15 gleich Null wird. In der Spalte «Variante 3» wurde die Differenz gleichmässig auf beide Messungen verteilt. Vielleicht etwas zufällig stimmt bei dieser Variante mit gleichmässiger Verteilung der Differenz auch die Kontrolle über das Transportvermögen am besten.

Eine Folge dieser Auflandungstendenz unterhalb der Mündung des Illgrabens war der Uferabbruch, welcher zum Unterbruch der SBB-Linie führte. In einem verzweigten Fluss, der auflandet, sind Gerinneverlagerungen viel stärker möglich als in einem eingetieften erodierenden Fluss. Der Geschiebetransport erfolgt diskontinuierlich, aus einer Kolkzone in den Bereich der nächsten Bank. Als Folge der Bankwanderung können neue Kolkzonen im Bereich der Ufer entstehen, was zu Abbrüchen führt.

Die Berechnung der Geschiebefrachten ergibt für die Ganglinie des Hochwassers 1993 im Vergleich zu den obigen Resultaten mit der Ganglinie 2000 um etwa einen Drittel tiefere Werte.

Für den Pfywald wurde ein neues naturnahes Bewirtschaftungskonzept entwickelt. In Zukunft dürfte die Wirkung eines solchen extremen Ereignisses deshalb nicht dramatisch sein; doch muss die Entfernung überschüssiger Materialmengen innert nützlicher Frist möglich sein.

5.3.2 Vorgänge auf Schwemmkegeln

Bei einzelnen steilen Seitenbächen wird das bei Hochwassern zugeführte Geschiebe praktisch gänzlich auf dem Schwemmkegel abgelagert. Das Längsgefälle nimmt vom Mittellauf bis zum Ende des Schwemmkegels ab. In der nachfolgenden Strecke bis zur Mündung in den Rotten ist das Gefälle gegenüber jenem auf dem Schwemmkegel so klein, dass die Transportleistung gegenüber der ankommenden Fracht vernachlässigbar ist. In solchen Fällen laufen alle geschieberelevanten Prozesse auf den Schwemmkegeln ab.

Gamsa (vgl. Fallbeispiel)

Die Gamsa ist für ihren hohen Geschiebeanfall bei Extremereignissen seit langem bekannt. Natürlicherweise hat sie sich einen mächtigen Schwemmkegel aufgeschüttet. Das Anwachsen erfolgte nicht nur

gegen die Talmitte, sondern durch rückwirkende Auflandung auch zurück in die Schlucht. Heute befindet sich das obere Ende des Schwemmkegels unterhalb einer Felsschwelle ca. 1,5 km in der Schlucht. Nach dem Hochwasser von 1993 betrug das Gefälle dort am Kegelhals 16%. Im letzten Schluchtabschnitt unterhalb davon befindet sich die Sprengstofffabrik SSE, entlang welcher die Gamsa noch ein Gefälle von ca. 11% aufweist. Bis zum Ende des Schwemmkegels nimmt das Gefälle noch auf etwa 10% ab.

Die kurze Strecke bis zum Rotten weist zwar noch etwa 2% Längsgefälle auf, doch kann die Transportleistung dieses Abschnitts im Vergleich zu den auf dem Kegel umgelagerten Frachten praktisch vernachlässigt werden.

Seit der Rottenkorrektion findet die Gamsa den Weg zurück in den Rotten dann nicht mehr, wenn sie auf dem Kegel oszilliert und schliesslich ihren Lauf Richtung Westen verlagert. Dies geschah bei einem Hochwasser im Jahr 1943.

Um Raum für die zu erwartenden Geschiebeablagerungen zu schaffen, wurde im unteren Bereich des Schwemmkegels ein Kieswerk angeordnet. Seit 1994 wird auch am oberen Ende Kies abgebaut. Ziel des Hochwasserschutzkonzepts Brig-Glis (ARGE SBWZ, 2000) ist es, das örtliche Gefälle von 16 auf 10 bis 11% zu reduzieren und so nebst der unteren Geschieberückhaltekammer eine zweite obere Kammer zu schaffen. Damit kann das rechtsufrige Überströmen oberhalb der Fabrik SSE als Folge der Auflandung unterbunden werden, welches 1993 noch zu einer Überschwemmung innerhalb der Anlagen der SSE und einem Weiterfliessen in den Ortsteil Gamsen führte. Diese obere Kammer war im Oktober 2000 teilweise realisiert.

Gemäss Herzog und Bodenmann (2000) wurde die untere Kammer mit ca. 150 000 m³ praktisch ganz gefüllt. Davon stammen schätzungsweise 30 000 m³ aus der Transistrecke entlang der SSE, sei es aus Sohlenerosion, sei es aus seitlichen Hangrutschen. Die Ablagerung in der oberen Kammer wurde auf 30 000 m³ geschätzt. Somit mussten ca. 150 000 m³ in den Kegelbereich eingetragen worden sein. Gemäss den Schilderungen des Ereignisablaufes war vermutlich temporär der Rückhalt in der oberen Kammer grösser. Gegen Ende des Ereignisses wurde dann ein Teil der Ablagerung in die untere Kammer umgelagert, als offenbar der Eintrag aus der Schlucht nicht mehr so hoch war.

Der Rückhalt in den Kammern hat grossräumige Schäden verhindert. Zwar strömte die Gamsa wieder Richtung SBB-Trasse und Eyholz, doch war dies weitgehend auf die noch zu geringe Abflusskapazität des alten Durchlasses unter dem Bahngeleise bei hohem

Rottenstand zurückzuführen. Mit dem Bau des neuen Durchlasses war erst gerade begonnen worden.

Eine hydraulische Nachrechnung des Durchlasses bestätigt einen Spitzenabfluss in der Grössenordnung von 65 m³/s, wie er anhand von Spuren am Schluchtausgang geschätzt wurde.

Die Transistrecke entlang der SSE wurde im Oktober 2000 wie 1993 wieder stark von Ufererosionen betroffen. Nebst mangelnder Stabilität der bisherigen Uferverbauungen kann dies auch auf ein besonderes Phänomen steiler Gebirgsflüsse zurückgeführt werden. Wie dies etwa Koulinski (1994) beschreibt («dunes à forte pente»), verlagert das Gewässer seinen Lauf ständig im Grundriss, wobei Bänke und Kolkfolgen entstehen, die sich rasch verändern. Die Sohlenlage kann als Folge von Durchbrüchen und temporären örtlichen Auflandungen in kurzer Zeit um einige Meter schwanken, auch wenn die Geschiebezufuhr und die mittlere Sohlenlage unverändert bleibt.

Die Ereignisse in der Gamsa von 1993 und 2000 dürften etwa den gleichen Spitzenabfluss aufgewiesen haben, im Jahre 2000 scheint die Dauer grösser gewesen zu sein. Im Jahr 1993 hat die obere Geschieberückhaltekammer noch gefehlt, wodurch der Bach infolge Auflandung oberhalb der Fabrik SSE ausuferte und das überfliessende Wasser bis in den Ortsteil Gamsen gelangte.

Baltschieder (vgl. Fallbeispiel)

Auch der Baltschiederbach weist am Ausgang der Schlucht oberhalb des Dorfs Baltschieder einen extrem grossen Gefällsknick auf, nämlich von über 20% Gefälle auf ca. 1%, so dass bei hohem Geschiebeanfall praktisch die gesamte Fracht im Kegelbereich abgelagert wird. Die gemauerte Bachschale hat zwar gegenüber einem natürlichen Gerinne ein höheres Transportvermögen, doch ist diese Erhöhung angesichts der enormen Gefälldifferenz praktisch irrelevant. Seit ca. 1930 besteht am oberen Ende des Kegels eine Geschieberückhaltesperre, hinter welcher sich Geschiebe ablagern konnte und wo ein Kieswerk in den letzten Jahren ca. 5'000 m³/J Material entnommen hat.

Am 15. Oktober 2000 war dieser Rückhalteraum hoffnungslos überlastet und es wurden im Dorf, durch welches der ganze Schwemmkegel überbaut ist, und hinter der bestehenden Sperre zwischen 140 000 und 180 000 m³ Feststoffe abgelagert. Gegen 80 000 m³ davon sind Geschiebe mit Komponenten über ca. 1 cm Durchmesser. Die Unterscheidung ist insofern wichtig, als die feineren Schwebstoffe in den Rotten durchtransportiert werden können, wenn das Problem der Geschiebeablagerung gelöst ist und der Bach nicht mehr ausufert.

Im Gegensatz zum Fall der Gamsa wurde der hohe Geschiebeanfall nicht erwartet. Offensichtlich sind Ereignisse mit hoher Geschiebeführung viel seltener. Bekannt ist aus neuerer Zeit lediglich ein Ereignis aus dem Jahr 1948, das wegen der damals geringeren Ausdehnung des Dorfs weniger Folgen hatte. Hochwasser der rechten Seitenzubringer der Rhone sind aus meteorologischen Gründen generell seltener, zudem spielt die unterschiedliche Gerinnemorphologie beider Bäche eine Rolle. Die meisten Geschiebepotentiale oder Lockermaterialgebiete im Einzugsgebiet des Baltschiederbachs weisen einen hohen Anteil sehr grosser Blöcke auf. Dementsprechend ist auch die Bachsohle sehr grobblockig, womit eine Mobilisierung von Geschiebe aus der Sohle und dem Hangfuss nur bei extremen Ereignissen möglich ist. Der Grenzabfluss für die Mobilisierung der Bachsohle beträgt grob geschätzt 50 bis 70 m³/s, der durch den Spitzenabfluss des Ereignisses 2000 mit ca. 100 m³/s deutlich übertroffen wurde, aber möglicherweise 1948 nicht oder nur annähernd. Eine Mobilisierung von solchen Geschiebemassen ist im Baltschiederbach somit sehr selten und der Überraschungseffekt erklärbar. Im obersten Teil des Einzugsgebiets gibt es zwar grosse Potentiale von Geschiebe mit Durchmessern unter 20 cm in den Gletschervorfeldern. Da aber im Mittellauf Schlüsselstrecken mit relativ kleinem Gefälle vorhanden sind, wird dieses Geschiebe nur dosiert in den Schwemmkegelbereich abgegeben. Das in Normaljahren anfallende Geschiebe von ca. 5000 m³/J dürfte aus diesen Quellen stammen. Dieser dosierte Anfall von eher feinem Geschiebe kann möglicherweise auch das geringe Gefälle des Kegels erklären.

5.3.3 Vorgänge in Bachunterläufen

Andere Seitenzubringer weisen – im Gegensatz zu den gerade beschriebenen Fällen – bis zur Rhone eine relevante Geschiebetransportkapazität auf. Zwar besteht auch hier eine latente Ablagerungstendenz, da generell das Gefälle ebenfalls abnimmt. Doch wurden in den nachfolgend beschriebenen Fällen bauliche Massnahmen ergriffen, um die Wirkung des Geschiebes zu kontrollieren.

Saltina (vgl. Fallbeispiel)

Nach der Überschwemmungskatastrophe von 1993 wurden im Grindji oberhalb Brig-Glis zwei Geschieberückhalteammern eingerichtet, welche Geschiebe dosiert an den Unterlauf abgeben, und im gefährdeten Abschnitt im Siedlungsbereich die Empfindlichkeit auf Sohlenhebungen mit dem Bau der Hubbrücke, der Verschalung der Überlandstrassenbrücke und der Erhöhung der Ufermauern stark reduziert.

Dank dieser Dosierung kann dem Unterlauf immer eine minimale Geschiebemenge zugeführt werden, so dass die Sohle sich nicht wegen zu starkem Geschieberückhalt zwischen den Abstürzen eintieft und das Kolkproblem bei den Abstürzen verschärft. Trotz dieser Dosierung haben sich wegen der ausserordentlich grossen Wassermenge einzelne Uferabbrüche als Folge der Kolkung ereignet. Das dosiert zugeführte Geschiebe führt aber gegen Ende eines extremen Ereignisses immer noch zu einer gewissen Ablagerung im kritischen Abschnitt, auf welche die begleitenden Massnahmen aber ausgerichtet sind.

Beim Ereignis, das in der Saltina vom Abend des 13. Oktobers bis in die Nacht zum 16. Oktober 2000 anhielt, wurde das System bis an seine Grenzen beansprucht. Abgesehen von den örtlichen Uferabbrüchen waren aber keine grössere Schäden zu verzeichnen. Mit mobilen Elementen wurden Lücken in den Ufermauern geschlossen, so dass die Empfindlichkeit gegenüber Auflandungen weiter herabgesetzt wurde. In den beiden Geschieberückhalteammern wurden ca. 60 000 m³ abgelagert. Eine Abschätzung des Ausstrags ergibt unter Annahme konstanten Gefälles ca. 25'000 m³. Das Hochwasser hätte also 85 000 m³ Geschiebe zugeführt. Wäre dieses wie 1993, wo etwa 30 000 m³ angefallen sind, sozusagen ungebremsst in den kritischen Bereich mit der Brücke von 1958 eingetragen worden, wäre die Katastrophe in Brig-Glis deutlich schwerwiegender gewesen.

Der Eintrag von 85 000 m³ kann rechnerisch mit einem Gefälle von 2.6% reproduziert werden, was auch etwa dem gemessenen Auflandungsgefälle entspricht. Mit dem gleichen Gefälle resultiert mit der Ganglinie von 1993 eine Fracht von ca. 30 000 m³, was also bedeutet, dass damals im Grindji praktisch keine Dämpfung der Geschiebezufuhr stattgefunden hat (gleiche Geschiebeeintragsbedingungen vorausgesetzt).

Lonza (vgl. Fallbeispiel)

Auch im Unterlauf der Lonza im Siedlungsbereich Gampel-Steg ist der Geschiebeanfall und weniger die Abflussgrösse entscheidend, ob es zu einer Ausuferung kommt oder nicht. Dank den Sofortmassnahmen, durch welche die Dorfbrücke überflutbar gemacht werden konnte, wurde verhindert, dass diese beim Ereignis vom 15. Oktober 2000 zum Ausgangspunkt einer Überschwemmung wurde. Die Wirksamkeit dieser Massnahme ist nur garantiert, wenn ein Hochwasserwarnsystem besteht und die notwendigen Interventionen durch ein eingespieltes Team in kurzer Zeit durchgeführt werden können.

Der Geschiebeanfall in den Unterlauf wird durch Schlüsselstrecken bis zu einem gewissen Grad dosiert.

Trotzdem ist mit einer Überlastung und somit mit einer Sohlenhebung während eines Extremereignisses zu rechnen. Im Oktober 2000 dürften zwischen 30 000 und 40 000 m³ Geschiebe in den Unterlauf der Lonza eingetragen worden sein. Die Sohle wurde im Unterlauf fast parallel um ca. 1,5 m angehoben. Eine Menge von 24 000 m³ wurde nach dem Ereignis aus der Lonza ausgebaggert. Ferner wurde später auch die charakteristische Bank am rechten Ufer des Rottens, welche aus Geschiebe der Lonza besteht, (schätzungsweise 3000 m³) ausgebaggert.

Das Beispiel der Lonza zeigt deutlich, dass zwischen verschiedenen Ablagerungsmechanismen unterschieden werden muss. Bei einer hohen Eintragsrate wird die Ablagerung wegen des starken Gefällsknicks (Reduktion von 8,5 auf 1%) in den oberen Abschnitt des Unterlaufs konzentriert. Ist der Rottenwasserstand gegenüber der Sohlenlage im Mündungsabschnitt hoch, so ergibt sich eine rückwirkende Parallelauflandung in den Seitenzufluss. Dieser Prozess scheint im Oktober 2000 dominant gewesen zu sein. Schliesslich kann sich Material im Rotten ablagern, da dessen Gefälle im Vergleich zum Zufluss klein und das zugeführte Geschiebe für diesen Rottenabschnitt eher grob ist.

Eine allfällige Sohlenabsenkung im Unterlauf macht eine rückwirkende Auflandung auch bei kleineren Abflüssen des Rottens wahrscheinlicher. Durch die Absenkung würde aber ein zusätzliches Rückhaltevolumen entstehen. Für die hydraulische Dimensionierung ist ein Zustand während der Auflandung und nicht die Ausgangssohle massgebend. Eine solche Lösung bringt aber mit sich, dass Interventionen in diesem Gewässerabschnitt nach jedem grösseren Ereignis nötig werden.

5.3.4 Mureinstösse in Talfüsse

Mureinstösse führen zu einer Diskontinuität im Geschiebehaushalt des Talflusses. Der Eintrag erfolgt in so kurzer Zeit, dass der Talfluss in jedem Fall zumindest temporär überlastet ist. Auch ist ein Teil des eingetragenen Materials in der Regel viel gröber als das durch den Talfluss antransportierte Geschiebe.

Vispa Neubrück (vgl. Fallbeispiel)

Die Murschübe des Beiterbachs haben nicht nur im Weiler Neubrück grosse Zerstörungen angerichtet, sondern auch die Vispa massiv mit dem eingetragenen Material überlastet. Im Bereich des Zusammenflusses wurde die Sohle um über 6 m angehoben. Der Lauf der Vispa wurde nach links abgedrängt, wo sie den Hangfuss erodierte. Teilweise wurde das eingetragene Material auf einer Länge von ca. 1 km bis in den Raum Sefinot verteilt. Es entstand so im Längenprofil

eine Rampe. Auf dieser Ablagerung von ca. 70 000 m³ suchte sich die Vispa einen neuen Lauf. Ähnlich wie der Rotten im Pfynwald förderte diese Auflandung das seitliche Ausbrechen und die Ufererosion, wovon vor allem das Trasse der BVZ betroffen war. Flussabwärts dieser Rampe scheint diese Überlastung keine Auswirkungen mehr gehabt zu haben.

Gemäss einer Schätzrechnung aufgrund der LH-Ganglinie hat der Austrag aus dem Raum Sefinot etwa 13 000 m³ betragen haben, oder etwa 16% des Eintrags (Summe Ablagerungsvolumen und berechnete maximale örtliche Transportkapazität). Rein dieser Vergleich zeigt, dass die Vispa diesen Eintrag des Beiterbachs nicht verkraften konnte, auch wenn die unterschiedliche Kornverteilung nicht in Rechnung gestellt wird.

Die Ablagerung des Murgangmaterials führte zu einem Aufstau und zur Bildung eines Sees. Die Geschiebeführung wurde im Bereich des Sees völlig unterbrochen. Die Vispa lagerte nach den Murschüben das mitgebrachte Geschiebe am oberen Ende des Sees bei Ackersand ab, was dort zu örtlichen Überschwemmungen führte. Es wurden dort schätzungsweise etwa 120 000 m³ Geschiebe abgelagert.

Bis zum ersten Murstoss des Beiterbachs dürften sich von der rechnerisch ermittelten Geschiebefracht der Vispa auf der Höhe des Zusammenflusses von etwa 16 000 m³ ca. 75% auf der folgenden Strecke abgelagert haben. Somit würden von der gesamten Ablagerung unterhalb Neubrück ca. 83% aus dem Beiterbach und 17% aus der Vispa selbst stammen. Zählt man die von der Vispa ob Neubrück umgelagerte Geschiebefracht zur Ablagerung in Ackersand dazu, ergibt sich ein Eintrag von 136 000 m³. Dieser Wert kann für das gemessene Ablagerungsgefälle von 2% rechnerisch reproduziert werden.

Wäre der Beiterbach nicht aktiv geworden, hätte die Geschiebefracht der Vispa beim Zusammenfluss ca. 44'000 m³ betragen. In Ackersand wäre es somit trotzdem zu einer Ablagerung von 92 000 m³ gekommen, die sich ohne Aufstau auf eine grössere Fläche verteilt hätte. Zwischen Neubrück und Sefinot hätten sich immer noch ca. 30 000 m³ Geschiebe abgelagert. In diesen Überlegungen bleibt unberücksichtigt, dass beim Abklingen des Hochwassers und bei späteren kleineren Ereignissen bei geringem Eintrag ein Teil des abgelagerten Materials wieder abgetragen werden kann.

Rechnungen mit der Ganglinie von 1993 ergeben um 20 bis 25% höhere Frachten. Zwar war der Spitzenabfluss 1993 um ca. 50% höher als im Jahr 2000, doch war wiederum die Ereignisdauer im Jahr 2000 etwas länger.

Drance Martigny-Combe (vgl. Fallbeispiel)

In ähnlicher Art wie die Vispa bei Neubrück hat ein Murgang aus dem Torrent St. Jean die Drance bei Martigny-Combes mit einem Eintrag von schätzungsweise 15 000 m³ oder mehr überlastet. Möglicherweise hat die Drance – eventuell als Folge von Geschiebeablagerungen beim Anstieg des Hochwassers – bereits vor dem Einstoss des Wildbachs ausgeföhrt und zusätzliches Material ausserhalb des Gerinnes abgelagert. Die Bildung einer Rampe mit Ausuferungen des Taflusses waren auch hier zu beobachten. Die Ablagerung des Geschiebes der Drance als Folge des Rückstaus oberhalb des Zusammenflusses hat im Gegensatz zur Vispa kaum Auswirkungen gehabt, da das Talgefälle der Drance steil ist und der Fluss in seine Umgebung eingetieft ist. Ein Kollaps des linken Ufers nach einer Wasserfassung (ca. 400 m nach dem Zusammenfluss) deutet auf die scheinbar paradoxe Phänomen einer Sohleneintiefung hin. Dies ist mit der Heterogenität des Materials zu erklären. Die Drance konnte die groben Komponenten des Murgangmaterials kaum weiterbewegen. Der Geschiebenachschub der Drance blieb hinter dem Einstoss zurück. Somit litt die Drance unterhalb des Zusammenflusses unter Geschiebedefizit.

5.3.5 Morphologische Veränderungen

Die Analyse der Vorgänge im Mittellauf der Urner Reuss bei Göschenen, Wassen und Gurtellen (Bezzola et al., 1990; 1991) hat gezeigt, welche Folgen die Destabilisierung der Sohle eines Gebirgsflusses haben kann, welche wegen eines hohen Grobanteils sonst für häufige Ereignisse stabil ist und das Geschiebeaufkommen aus einem solchen Abschnitt praktisch unterbindet. Beim Extremereignis werden durch die Mobilisierung der Sohle Uferabbrüche und Hangrutschungen ausgelöst. Aus der Erosion folgt sofort eine Geschiebeüberlastung. Wie ein Pflug nimmt das Hochwasser Materialmengen auf und lässt sie gleich wieder liegen.

Baltschiederbach

Auf die Rolle solch morphologischer Veränderungen auf das Geschiebeaufkommen des Baltschiederbachs wurde bereits hingewiesen. Die Ufererosionen und Laufveränderungen, welche das Ereignis im Mittel- und Unterlauf ausgelöst hat, führten zu örtlichen Schäden. Betroffen waren Anlagen der Wasserversorgung der Gemeinde Baltschieder und Wasserfassungen für das Wässerwasser verschiedener Gemeinden.

Doveria und Grosses Wasser (vgl. Fallbeispiel)

Das Dorf Gondo war nebst der katastrophalen Hangmure auch durch das Hochwasser der Doveria betroffen. Auch hier hat das Hochwasser die Sohle trotz Präsenz von groben Blöcken mobilisiert. Die Folge von Eintiefung und Laufverlagerung war die Zerstörung eines grossen Teils der Ufermauern. Der hohe Anteil des Grossen Wassers (Zufluss aus dem Zwischbergental) welches fast aus der Gegenrichtung in die Doveria einmündet, scheint eine solche Laufverlagerung begünstigt zu haben.

Im Zwischbergental haben die extrem hohen Niederschläge zu einem extrem grossen Abfluss (geschätzt 300-400 m³/s oder ca. 10 m³/km²*s) geführt, welche im ganzen Tal zu morphologischen Veränderungen führte, wie sie oben beschrieben wurden. Dazu kamen mehrere Mureinstösse. Von Schäden betroffen wurden die Zufahrtstrasse und die örtlichen Kraftwerksanlagen. Zwei Ausgleichsbecken wurden stark mit Sedimenten aufgefüllt.

Drance und Einzugsgebiet

Ufererosionen, Laufveränderungen und Ablagerungen und ihre Schadenswirkung waren an der Drance und den Zuflüssen örtlich begrenzt.

5.3.6 Schwebstoffe

Schwebstoffe haben dort schadensvermehrend gewirkt, wo sie in überschwemmten Gebieten abgelagert wurden (wie etwa in Baltschieder). In den Zonen, wo die Fliessgeschwindigkeit des austretenden Wassers stark abnimmt, lagerten sich die gröberen Komponenten (Sand) präferentiell ab. Im Gegensatz zum Geschiebe können aber die Schwebstoffe bei Gefällen über 1‰ nicht im Hauptgerinne selber wirksam werden und den Schadensprozess beeinflussen.

Unmittelbar ausserhalb der Bresche, welche durch den Dammbuch bei Bieudron/Chamoson entstanden ist, wurden auf einer Fläche von 8,4 ha ca. 115 000 m³ Sand abgelagert (s.a. Fallbeispiel Rhône-Bieudron).

Die somit von einer Ablagerungshöhe von 0,3 bis 2,3 m betroffenen Obstkulturen galten als zerstört, während die vom weiterfliessendem Wasser betroffenen Gebiete deutlich weniger Schaden erlitten haben. In kleinerem Ausmass waren ähnliche Schäden dort zu beobachten, wo ein Bach mit steilem Gefälle in einen der vielen Kanäle einmündete. Schliesslich lagerte sich viel Sand und Silt auf den Vorländern der Rhone ab. Da die Vorländer sehr hoch und mit Vegetation überdeckt sind, hat dies auf die künftige Abflusskapazität in der Regel keine Wirkung.

Bei den Unwettern von 1993 sind vor allem in Brig-Glis durch Ablagerung von Schwebstoffen Schäden

entstanden (ca. 170 000 m³). Auf dem Bahnhofplatz waren damals die Ablagerungen ca. 2 m hoch.

Fazit

Die enormen Abflussmengen in den Walliser Bächen und Flüssen führten verbreitet zu erheblichen Feststoffumlagerungen. Zu Problemen führten diese insbesondere bei Gefällsknicken, falls ein Teil des mitgeführten Materials abgelagert wurde. Dies ist vor allem auf Schwemmkegeln häufig (z.B. Baltschieder, Lonza, Drance), kommt aber auch im Hauptgerinne selbst vor (z.B. Naters, Chippis). In einigen Fällen (z.B. Vispa bei Neubrück) führten seitliche Geschiebeeinstösse zu einer Überlastung der Transportkapazität. Als eigentliche «Geschiebekatastrophen» können die Ereignisse in Baltschieder und Neubrück bezeichnet werden.

Persönliche Mitteilungen: Ph. Bianco, A. Burkard, X. Mittaz, St. Walther, B. Zarn; WSL, Abt. Wasser, Erd- und Felsbewegungen

5.4 Wildbäche und Murgänge

Dieter Rickenmann, Christoph Hegg

5.4.1 Murgangaktivität

Beim Unwetterereignis vom Oktober 2000 gab es verhältnismässig wenige und insbesondere nicht viele grosse Murgangereignisse. Auffällig war hingegen, dass alle 16 Todesopfer im Zusammenhang mit Murgängen oder murgangähnlichen Prozessen stehen. Das Ereignis von Gondo (13 Tote) war zwar in der Initialphase eine Hangrutschung, im Bereich des Dorfes unterhalb der zerstörten Steinschlag – Schutzmauer kann aber eindeutig von einem murgangähnlichen Fließverhalten des Feststoff-Wasser-Gemisches gesprochen werden. Das Ereignis von Neubrück war eine Mischung von fluvialem Geschiebetransport mit drei grösseren Murenschüben. Letzere verursachten die Zerstörungen auf dem Kegel (mit 2 Toten) und trugen wesentlich zum Aufstau der Vispa mit den Sekundär-



Fig. 5-9: Ausgewählte Angaben zu Geschiebetransport und Ablagerungen im Rhonetal beim Ereignis vom Oktober 2000.

schäden bei. Schliesslich führte ein Murgang in der Nähe von Brocard im Tal der Drance zu einem weiteren Todesopfer. Dabei überfloss das Gestein aus einer Kanalbrücke auf die Kantonsstrasse und erfasste das Auto des Opfers. Dieses Murgangereignis aus dem Wildbach «Le Lavanchy» verfrachtete vermutlich nur wenige Tausend Kubikmeter Feststoffe.

In der Schweiz führen in der Regel Murgänge mit Feststofffrachten von mehr als etwa 10 000 m³ zu beträchtlichen Schäden. Während der Hochwasser im Wallis im Oktober 2000 gab es nur eine beschränkte Zahl solcher Murgangereignisse. Anzahlmässig am meisten Murgänge waren im Raum der Visper Täler zu verzeichnen, allerdings gab es dort relativ wenige Ereignisse mit Frachten grösser als etwa 10 000 m³ (Tab. Tab. 5-8). Insgesamt gab es etwa 5 bis 7 (natürliche) Murgangereignisse mit Frachten von 10 000 m³ oder mehr, während bei den Unwettern vom Juli und August 1987 total 20 solcher Ereignisse auftraten.

Bei der Entstehung von grösseren Murgängen in den Alpen ist häufig eine deutliche Gerinneerosion oder Hanginstabilität mit räumlich eher konzentriertem Materialeintrag zu beobachten, was in kleineren Gerinnen zu ausgeprägten Spuren nach einem Ereignis führt (wie etwa bei den Murgängen im Ritigraben 1993, im Minstigerbach 1987 oder in der Val Varuna 1987). Bei den schadenreichen Murgangereignissen «Mörel» und «Beiterbach» (s. Fallbeispiele) des Oktobers 2000 fällt auf, dass solche Spuren von lokal grossen Feststoffeinträgen weitgehend fehlten. Dafür wurden verhältnismässig viele eher kleine Anrisse sowie lange Strecken mit Gerinneerosion beobachtet, wie sie eigentlich für Geschiebetransportereignisse typisch sind. Das schubartige Abflussverhalten dürfte deshalb wesentlich durch die unregelmässigen Gerinnegeometrie beeinflusst worden sein, wobei temporäre Abflussbehinderungen und Aufstauwirkungen zu den grossen Maximalabflüssen führten. In beiden Fällen wurde der Maximalabfluss am Kegelhals auf etwa 300 m³/s geschätzt.

Region/Bach	ca. Volumen in m ³
<i>Rhonetal:</i>	
Torrent «Le Bossay» bei Fully (anthropogen beeinflusst)	350 000–400 000
Torrent St. Jean bei Martigny-Combes (Drance)	15 000
Meretschibach bei Agarn	10 000–15 000
Dorfbach bei Mörel	5000–10 000
Milibach bei Grengiols	5000–10 000 (*)
<i>Vispertal bis Stalden:</i>	
Beiterbach bei Neubrück	30 000–50 000
<i>Mattetal:</i>	
Seitenbäche zwischen Stalden und St. Niklaus	je einige 1000 (*)
Grosse Grabe bei St. Niklaus	10–20 000 (*)
Blattbach, Sparruzug, Jungbach, alle bei St. Niklaus	mehrere 1000 (*)
Leenibach bei Grächen	mehrere 1000 (*)
Dorfbach bei Randa	einige 1000 (*)
Lüeggelbach bei Zermatt (anthropogen beeinflusst)	10–20 000
<i>Saastal:</i>	
Leidbach bei Eisten	mehrere 1000 (–10 000) (*)
Weitere Bäche/Runsen in der Nähe von Eisten	mehrere 1000 (–10 000) (*)

Tab. 5-8: Übersicht über Murgangereignisse grösser als ca. 10 000 m³ im Rhonetal und Murgangereignisse grösser als ca. 1000 m³ in den Visper Tälern. Die mit (*) bezeichneten Angaben sind unsicher und stellen eine sehr grobe Schätzung dar.

Granulare Murgänge in der Grössenordnung von 5000 m³ bis 10 000 m³ können zu Maximalabflüssen zwischen 100 m³/s und 200 m³/s führen (Rickenmann, 1999). Im Kegelbereich liegen solche Abflusswerte vermutlich für viele Wildbäche im Bereich oder über der Gerinnkapazität. Damit besteht bei Murgängen ab etwa dieser Grösse in der Regel ein erhebliches Gefahrenpotential.

Was die Auslösung von Murgängen betrifft, so besteht vom Wassereintrag in die Hänge oder Gerinne her einerseits eine Abhängigkeit von den Vorfeuchtebedingungen bzw. dem Sättigungsgrad und andererseits vom der Infiltrations- und Abflussintensität. Betrachtet man den Verlauf des Niederschlages in der Periode vor dem Auftreten von Murgängen, so kann zum Beispiel die kritische (mittlere) Niederschlagsinten-

sität in Funktion der Niederschlagsdauer angegeben werden, welche für ein Murgangereignis überschritten werden muss. Mögliche kritische Linien in einem solchen Diagramm sind in Fig. 5-10 für Schweizer Verhältnisse angegeben (nach Zimmermann et al., 1997, mit zusätzlichen Daten aus VAW, 1987). Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Abgrenzung zwischen Auftreten und Nicht-Auftreten von Murgängen oder Hanginstabilitäten nicht sehr scharf ist, d. h. es müssen auch bei Niederschlagsverhältnissen oberhalb der kritischen Linien nicht unbedingt Ereignisse auftreten.

schlagsintensitäten bei den Ereignissen des Sommers 1987 (Juli und August) bezüglich der 24 h Periode und der 48 h Periode von gleicher Grössenordnung bzw. leicht höher als die Niederschläge in den Vispertälern im Oktober 2000. Ein direkter Vergleich kann mit dem Unwetter vom September 1993 im Wallis gemacht werden, als es durch Murgänge im Mattertal (u.a. Ritigraben, Grosse Grabe, Dorfbach Randa) zu grossen Schäden an Siedlungen, Strassen und Bahngleisen kam. Im Oktober 2000 war die Murgangaktivität in den Vispertälern aber trotz wesentlich höheren Niederschlagssummen nicht grösser oder intensiver als im September 1993 (vgl. Fig. 2-6 und Fig. 2-14).

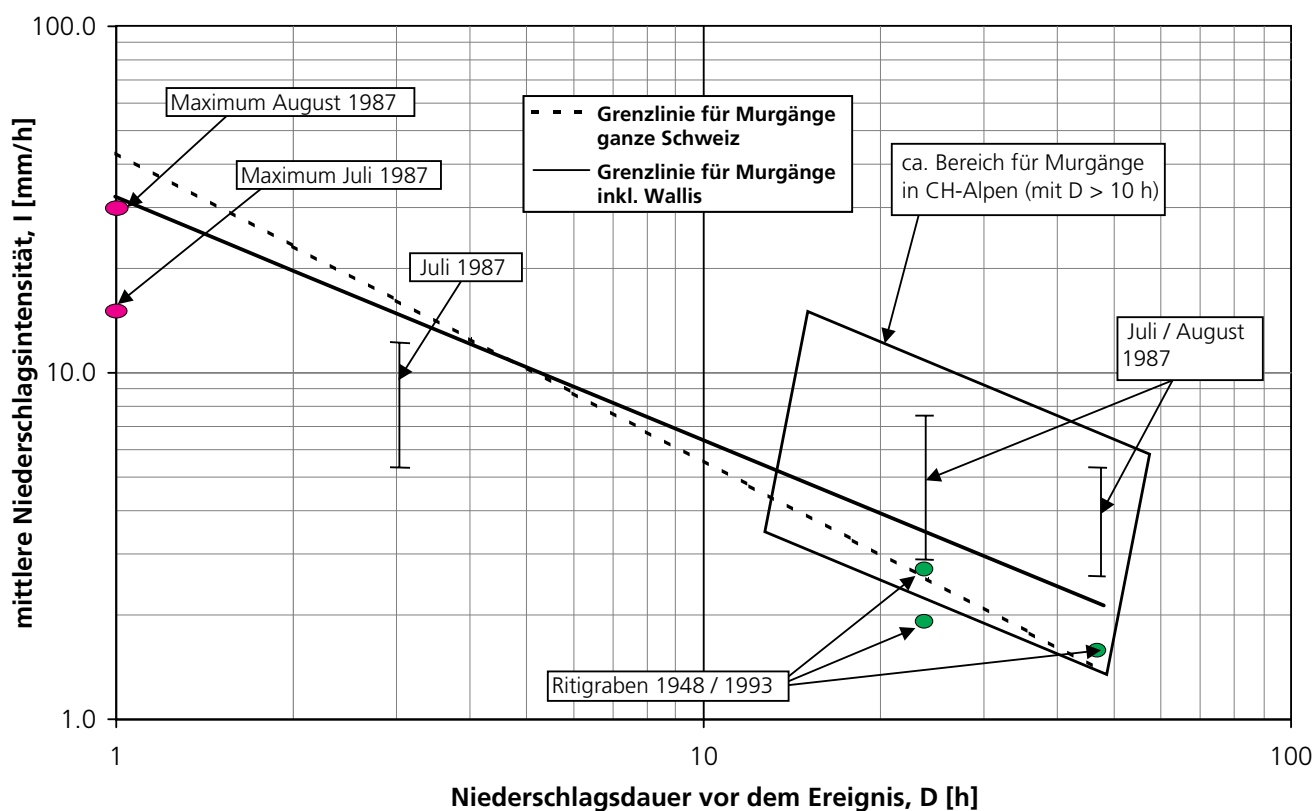


Fig. 5-10: Kritische Niederschlagsgrenzwerte für das Auftreten von Murgängen in der Schweiz.

Für den Oktober 2000 ist der Verlauf der Niederschlagswerte bis zum Zeitpunkt des Auftretens von Murgängen bzw. Hanginstabilitäten für einige Orte im Raum Vispertäler und Gondo in Fig. 5-11 angegeben. Im Vergleich zu kritischen Niederschlagsgrenzwerten für das Auftreten von Murgängen in der Schweiz (Linien und Bereich aus Fig. 5-10) wären die Niederschlagsmengen in den Vispertälern gemäss Fig. 5-11 von ca. 12 Stunden Dauer an gerechnet (vor dem Ereignis) ausreichend gewesen, um Murgänge auszulösen. So waren zum Beispiel die mittleren Nieder-

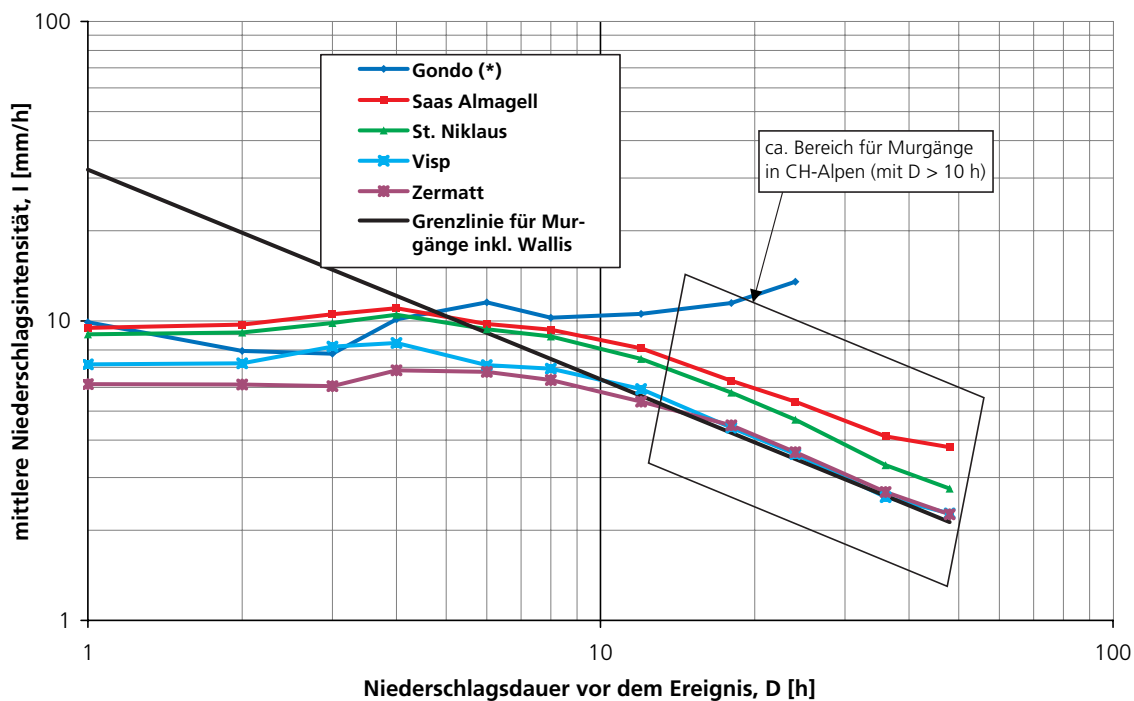


Fig. 5-11: Verlauf der Niederschlagswerte für ausgewählte Orte im Raum Vispertäler; der Bezugszeitpunkt ist der 15. Oktober 2000, 6.00 Uhr Winterzeit (bekannter Zeitpunkt des Auftretens von Murgängen). Für die Niederschläge in Gondo (*) ist der Bezugszeitpunkt am 14.10.00 um 9.00 Uhr Winterzeit (als sich die Hangrutschung ereignete). Vergleich mit den kritischen Niederschlagsgrenzwerten für das Auftreten von Murgängen in der Schweiz (aus Fig. 5-10).

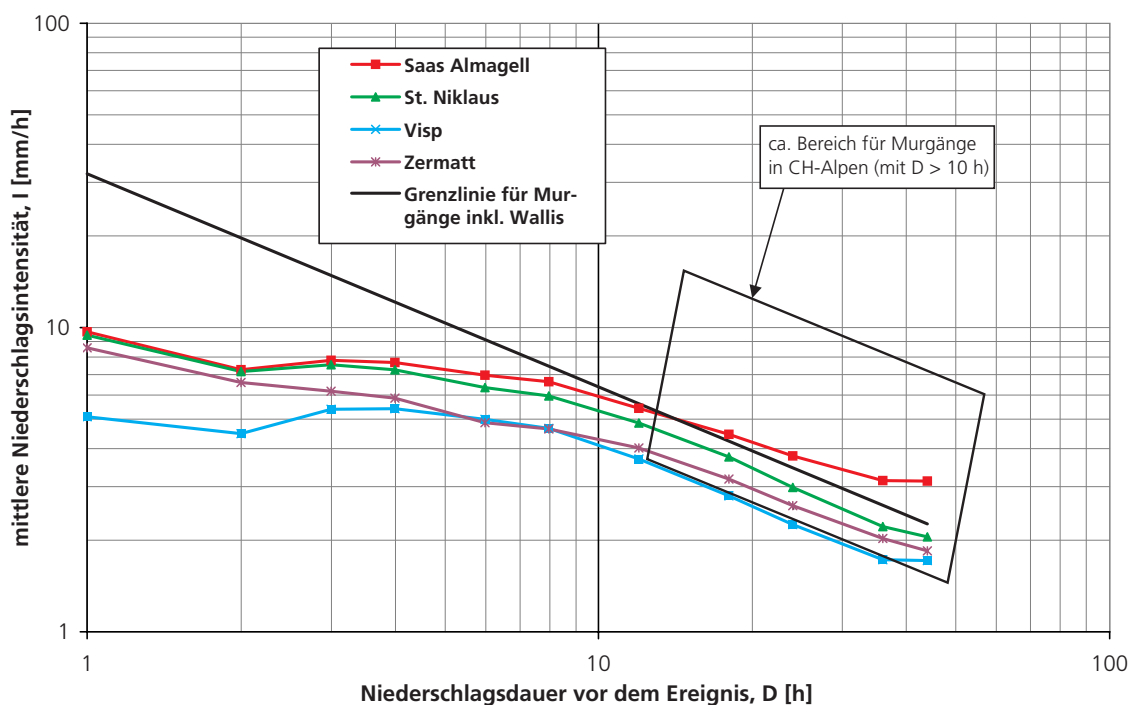


Fig. 5-12: Gleiche Darstellung wie in Fig. 5-11, hier aber ist der Bezugszeitpunkt der 15. Oktober 2000, 2.00 Uhr Winterzeit, da nachher die Schneefallgrenze sehr stark absank.

Wie in Kap. 2.3 erläutert, sank die Schneefallgrenze nach 0200 am Morgen des 15. Oktobers 2000 in den Vispertälern stark ab. Da es durchaus möglich ist, dass dieses Absinken der Schneefallgrenze einen Einfluss auf die Murgangaktivität hat, liegt es nahe, die Niederschlagswerte zusätzlich auch auf diesen Zeitpunkt bezogen zu betrachten. Fig. 5-12 zeigt den entsprechenden Verlauf der Niederschlagswerte für die gleichen Orte in den Vispertälern wie in Fig. 5-11, diesmal aber mit Bezugszeitpunkt 15. Oktober 2000, 2:00 Uhr Winterzeit. Zum Vergleich sind wiederum die kritischen Niederschlagsgrenzwerten für das Auftreten von Murgängen (gleiche Linien wie in Fig. 5-10) eingetragen. Der Verlauf der Niederschlagswerte für die Vispertäler liegt gemäss Fig. 5-12 gerade etwa im Bereich der Grenzbedingungen für die Auslösung von Murgängen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Abkühlung während der Hauptniederschlagsperiode und die damit verbundenen Schneefälle in höheren Lagen dazu beitrugen, dass nicht mehr und grössere Murgänge auftraten.

Wie in Kap. 2.3 gezeigt, bildete sich während des Hauptniederschlags am Morgen des 15.10.2001 oberhalb von 2600 m eine Schneedecke. Damit lagen viele potentielle Anrissgebiete in den tiefgründigen Schutthalden oberhalb dieser Höhenzonen ohne Wassereintrag, was die Auslösung von Murgängen wesentlich erschwerte.

Im Vergleich dazu lag die Schneefallgrenze bei beiden Unwettern im Sommer 1987 sehr hoch (VAW, 1992): Am 18. Juli sank sie von 3800 m ü. M. (15 Uhr) auf 3300 m ü. M. (21 Uhr) und bis auf 2600 m ü. M. (23 Uhr). Die grossen Murgänge in der Val Varuna (Anriss auf 2700 m ü. M.) und in der Val Zavrägia (Anriss auf 2500 m ü. M.) traten in der Zeit zwischen 16 Uhr und 22 Uhr auf, während das Ereignis in der Val da Plaunca (Anriss auf 1960 m ü. M.) zwischen 22 Uhr und 24 Uhr zu datieren ist. Am 24. August sank die Schneefallgrenze von 3700 m ü. M. (15 Uhr) auf 3500 m ü. M. (23 Uhr). Die grossen Murgänge traten im Minstigertal (Anriss auf 2400 m ü. M.) um ca. 13 Uhr und in der Val Varuna (Anriss wiederum auf 2700 m ü. M.) um ca. 17 Uhr auf. Das Auftreten von grossen bis sehr grossen Murgangereignissen im Sommer 1987 war sowohl durch die hohe Lage der Schneefallgrenze als auch durch die im Vergleich zum Oktober 2000 höheren kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten stark begünstigt.

Beim Unwetter vom September 1993 lag die Nullgradgrenze während der Hauptniederschlagsperiode zwischen 4000 und 3000 m ü. M. (Rohrer et al., 1999). Damals trat ein grosses Murgangereignis im Ritigraben (30 000 bis 50 000 m³) auf, dessen Auslösung im Bereich von 2600 m ü. M. durch die hohe Lage der

Nullgradgrenze begünstigt war. Im übrigen Mattertal (LHG, 1994) war die Murgangaktivität im September 1993 (Sparruzug, Blattbach, Grosse Grabe, Tummigbach, Fallzug, Geisstriftbach, Dorfbach) in etwa vergleichbar wie im Oktober 2000. Betrachtet man die Niederschlagsverhältnisse im Oktober 2000 bis zum Zeitpunkt der deutlichen Abkühlung (Fig. 5-12), dann waren sie in etwa vergleichbar wie jene im September 1993.

Die Niederschlagsintensitäten im Raum Gondo lagen deutlich über der kritischen Linie für das Auftreten von Murgängen bzw. Hanginstabilitäten (Fig. 5-11). Neben der Rutschung in Gondo ist im Zwischbergental allerdings auf den Seitenhängen und in den seitlichen Wildbachgerinnen nur wenige extreme Hang- oder Murgangprozesse aufgetreten. Dies mag damit zusammenhängen, dass die maximal beobachteten spezifischen Spitzenabflüsse auf der Alpensüdseite (derjenige des Grossen Wassers lag im Oktober 2000 in diesem Bereich) generell viel grösser sind als in den übrigen Gebieten der Alpen.

5.4.2 Fluviale Wildbachprozesse

Wie in Kapitel 5.1 erwähnt, waren im Oktober 2000 die fluvialen Wildbachprozesse (z. T. auch in Kombination mit Murgangschüben) anzahlmässig von grösserer Bedeutung als die («klassischen») Murgänge. Neben dem kombinierten Ereignis im Beiterbach traten in einigen Bächen und Gerinnen grössere Geschiebeumlagerungen auf (Tab. 5-9).

Region / Bach	ca. Geschiebefracht in m ³
<i>Rhonetal:</i>	
Lonza (bei Gampel/Steg)	30 000–40 000
Gamsa (Kegel)	130 000–160 000
	70–100 000 (ca. 200 000 inkl. Feinmaterial)
Baltschiederbach (in Baltschieder)	inkl. Feinmaterial)
Saltina (Eintrag ins Grindji)	85 000
<i>Vispertäler:</i>	
Beiterbach bei Neubrücke (mit Murgängen)	70 000
Vispa oberhalb Neubrücke	140 000
<i>Simplongebiet:</i>	
Grosses Wasser (Sera)	100 000

Tab. 5-9: Übersicht über fluviale Hochwasser in Wildbächen (Gebirgsflüssen), wozu Angaben über Geschiebeumlagerungen vorhanden sind.

Beim Unwetter im September 1993 im Wallis fanden grössere Geschiebeumlagerungen vor allem in folgenden Gerinnen statt: Saaser Vispa, Saltina, Gamsa, Gerental (LHG, 1994). Ein direkter Vergleich kann für

die Gamsa und die Saltina gemacht werden: In beiden Fällen war die Geschiebetransportaktivität im Oktober 2000 grösser als im September 1993 (vgl. Fallbeispiele), was vor allem auf die intensiveren Hochwasserereignisse im Oktober 2000 zurückzuführen ist. Beim Ereignis vom Oktober 2000 waren andere Gerinne aktiv. Die in der Lonza transportierten Geschiebemenge war mit etwa 30 000 m³ vergleichbar mit der Menge an grobem Geschiebe, die beim Ereignis in der Saltina vom September 1993 in Brig abgelagert wurde. Im Oktober 2000 wurden beim schadenreichen Ereignis im Baltschiederbach gegen 100 000 m³ Grobgeschiebe im Dorf und oberen Kegelbereich abgelagert. Die umgesetzten Geschiebemengen (vor allem grober Anteil) in der Gamsa liegen mit etwa 150 000 m³ in einer vergleichbaren Grössenordnung, bei ähnlicher Grösse der beiden Einzugsgebiete. Einige überschlagsmässige Berechnungen zum Geschiebetransport wurden basierend auf einer simulierten Ganglinie (Baltschiederbach), anhand von gemessenen bzw. rekonstruierten Abflüssen (Lonza; Saltina 1993 und 2000) oder aufgrund Abflussschätzungen (Gamsa) durchgeführt. Dabei mussten auch Annahmen zum Transportbeginn und zum transportwirksamen Gefälle gemacht werden. Die berechneten (maximalen) Geschiebefrachten liegen in den meisten Fällen im Bereich von ca. 100% bis 200% der beobachteten Ablagerungsvolumen. Dies deutet darauf hin, dass die Abflüsse in den betrachteten Gerinnen mindestens zeitweise nahe beim Zustand der «Geschiebesättigung» (Transportkapazität) waren. Berechnungen zum Geschiebetransport im Erlenbach, mit 18% Sohlengefälle und sehr kleinen relativen Abflusstiefen, ergeben ca. 3 bis knapp 5 Mal grössere Frachten als bei kontinuierlichen Geschiebemessungen beobachtet wurden (Hegg und Rickenmann, 2000). Ein Vergleich mit Geschiebemessdaten weltweit zeigt, dass Abweichungen um mehrere Grössenordnungen zwischen Geschiebetransportformeln und Beobachtungen vor allem bei sehr rauen Gerinnen und kleineren Abflüssen auftreten (Rickenmann, 2001).

Fazit

In den Vispertälern aber auch in anderen Gebieten wären aufgrund der Erfahrungen von früheren Ereignissen bei den enormen Niederschlagsmengen zahlreiche Murgänge zu erwarten gewesen. Zu einer effektiven Häufung von Murgängen kam es aber nur im Gebiet um Stalden (z.B. Beiterbach, Neubrück oder Leidbach, Eisten). Viele bekannte Murganggerinne mit hochgelegenen Anrissgebieten in den südlichen Vispertälern waren im Oktober 2000 wenig aktiv. Dies ist wahrscheinlich auf die in Kap. 2.3 beschriebene

Abkühlung am Morgen des 15. Oktobers zurückzuführen. Dadurch fiel in vielen hochgelegenen Murganganrissgebieten weniger Regen als bei grösseren Ereignissen, obwohl insgesamt wesentlich mehr Niederschlag gemessen wurde. Die oft tiefer gelegenen Einzugsgebiete um Stalden konnten davon nicht profitieren.

5.5 Instabilités de terrain

Jean-Daniel Rouiller, Charles-Louis Joris

Les intempéries d'octobre ont déclenché plusieurs centaines voire peut-être plus de mille glissements superficiels, qu'on appelle aussi communément oavilles*. La plupart n'ont causé aucun dommage aux infrastructures anthropiques. Leur taille moyenne est inférieure à 1000 m² (Fig. 5-13 et Fig. 5-14).



Fig. 5-13: Exemple-type d'oaville qui s'est produite pendant les intempéries de la mi-octobre 2000 (Bonatchesse, Val de Bagnes)

* Oaville (Hangmure – spitting flow): coulée de boue jaillissant d'une pente et qui résulte de l'arrachement de sol sursaturé sur une épaisseur < 10 m autour et à l'aval de l'exutoire d'une source temporaire. En général causé par de fortes précipitations, ce phénomène se déclenche en dehors du réseau hydrographique ou dans les talus immédiats du cours d'eau (v. Glossaire sur www.crealp.ch).

L'analyse de la pluviométrie au cours de la période juillet-octobre ne montre pas de saturation en eau particulière du sol avant le début des intempéries. Sur la base des données analysées à ce jour, on conclut que ces oavilles ont été causées uniquement par la quantité exceptionnelle des précipitations de la mi-octobre 2000.

En Valais, comme d'ailleurs dans le Val d'Aoste, certaines zones sourcières – liées parfois à des marécages de pente (Fig. 5-15) – ont été mises en charge temporairement avec déclenchement d'oaville aux endroits de résurgence. D'une façon générale, la présence d'une couche imperméable à faible profondeur (bedrock ou moraine) a été un élément prépondérant. Et les conséquences ont été carrément catastrophiques lorsqu'un torrent suffisamment proche a permis d'«embarquer» le matériau en produisant une succession de laves torrentielles (Baltschiederbach et Beiterbach).



Fig. 5-14: Cette photo du viaduc de la route du Simplon prise depuis Simplon-Dorf montre l'écoulement de l'eau en surface et, à gauche du chalet, deux oavilles tout à fait représentatives des centaines qui se sont déclenchées pendant les intempéries de la mi-octobre 2000.

Dans le cas de Tsarmetta (Fig. 5-15), une diminution de la pente au bas du profil topographique a empêché l'oaville d'atteindre le torrent de la Sage. Cela n'a pas été le cas du Baltschiederbach où l'agencement structural du massif du Mälchgrat (2500 m s.m.) a favorisé l'émergence de sources temporaires sur son flanc nord-ouest avec le déclenchement en conséquence d'oavilles. Aidées par la déclivité du terrain celles-ci ont occasionné dans le Furggbach une lave torrentielle ($\leq 200\,000\text{ m}^3$) constituée de matériau relativement fin qui a été le moteur de l'érosion du lit et des berges

du Baltschiederbach. Dans une moindre mesure, on a assisté au même scénario sur le cours du Beiterbach (Neubrück). L'étude des causes de la lave torrentielle du Weingartensee (juin 2001) a démontré que celle-ci s'était partiellement nourrie de coulées latérales de matériau détritique qui s'étaient arrêtées dans le lit du Rotbach lors des intempéries d'octobre 2000.



Fig. 5-15: Cette photo prise à Tsarmetta (Val d'Hérens, 2600–2400 m s.m.) est un exemple d'oaville «arrêtée» pendant les intempéries de la mi-octobre 2000.

A contrario, relevons que les glissements des Peillettes (1600–2100 m s.m.) au-dessus de Grône et du Milligrabu (1600–1200 m s.m.) au-dessus d'Albinen – qui sont connus pour leur production périodique de laves torrentielles au printemps – n'ont pas révélé une telle activité au cours de cette période. La tendance à l'étiage de l'aquifère de versant, qui à cette période n'est plus alimenté par la fonte du manteau neigeux, comme d'ailleurs l'épaisseur de terrain propice à saturation de ce type de glissement (20 à 50 m) font qu'à défaut d'apport synchrone d'eau par l'aquifère, il faut



Fig. 5-16: Eboulement de Rotkin (5000 m³) qui s'est produit à une altitude de 2000 m sur l'un des affluents de Grosswasser (Zwischbergental).

des quantités de précipitations beaucoup plus importantes que les 100–120 mm d'octobre pour que se produisent des laves torrentielles.

C'est sur le versant sud du col du Simplon, touché par les précipitations les plus extrêmes, que se sont produits les mouvements de masse les plus importants, à savoir l'ovaille de Gondo (c.f. Fallbeispiele) et l'éboulement du Rotkin (Fig 5-16) dans le Zwischbergental.

Il est à relever que l'événement météorologique plus que millénaire qui a touché cette région n'a pas occasionné des chutes de pierres à partir de la falaise de Gondo. Cela témoigne de la faible dangerosité des aléas de cette falaise comparativement à ceux de Rotkin ou de Medje (>10 000 m³) dans le Mattertal. C'est d'ailleurs dans cette dernière vallée que le réseau cantonal de surveillance a enregistré les déplacements les plus significatifs au niveau des falaises: à Stägjischugge et Mattsand (Fig. 5-17) des compartiments rocheux de respectivement 500 et 300 m³ ont bougé de 5 à 15 mm au cours de ces intempéries. Suite à l'accélération des mouvements au cours du printemps, et au vu du risque que ces deux sites représentaient pour la route cantonale, chacun des deux a fait récemment l'objet d'un assainissement de sécurité par minage.

En dehors du versant sud du Simplon, la région la plus arrosée par les précipitations a été le Binntal (550 mm/11–15 octobre contre 800 mm à Gondo) où elles ont déclenché de véritables glissements en plus des ovaïles. Dans une moindre mesure c'est tout le versant sud de Goms qui a été fortement touché.

Ouverture relative de tous les pistons mesurés

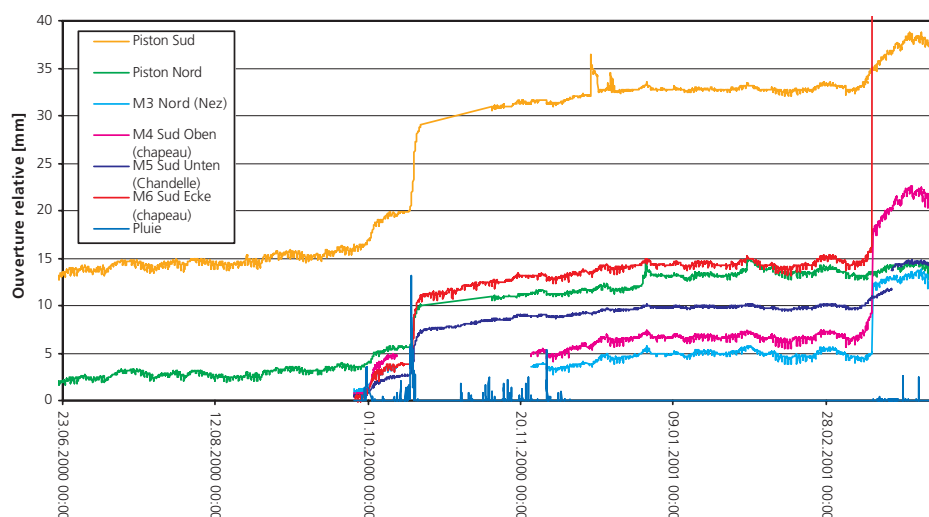


Fig. 5-17: Mouvements différenciés enregistrés sur le compartiment rocheux de Mattsand qui montrent bien le décrochement brutal synchronisé avec le maximum de précipitations des 14–15 octobre. On y remarque aussi le redémarrage des mouvements au printemps 2001.

En fin de compte on doit se poser une double question: pourquoi un tel événement n'a pas déclenché des laves torrentielles à partir de la zone «permafrostée» (2200–2600 m s.m.) et pourquoi le débit de la Vispa enregistré à Visp a été relativement faible?

Au chapitre 3.5 on explique ce déficit par l'abaissement régional à 2600 m de la limite pluie-neige. Ce déficit pourrait aussi s'expliquer du fait de l'infiltration d'une partie des précipitations dans la zone la plus perméable, soit précisément celle susmentionnée.

En réponse à la première question, nous aurions tendance à dire que les étés 1999 et 2000 ont été particulièrement froids (0° très rarement au-dessus de 3500 m) avec pour conséquence que, le permafrost n'étant pas dégelé au moment des intempéries, il n'y a pas eu de matériau mobilisable pour les laves torrentielles. Cependant, cette thèse est contradictoire avec celle qui tente d'expliquer le déficit de débit dans les cours d'eau par l'infiltration dans la zone «permafrostée». En effet, non dégelée cette zone aurait dû être relativement imperméable.

Une autre réponse pourrait être que dans le Haut-Valais comme dans la région du Gd-St-Bernard la succession exceptionnellement rapprochée des intempéries de 1987 (Goms), 1993 (Brig, Simplon, Saastal), 1994 (Otemma, Lauigrabe) et 1996 (Ferret, Chamonix) a «purgé» les éboulis d'altitude et autres dépôts périglaciaires «aérés» dont ceux qui ont été récemment libérés du fait du fort retrait glaciaire qui s'est opéré au cours du dernier siècle*. Par rapport à l'hypothèse des deux années froides, cette explication a l'avantage d'être compatible avec la thèse de la perte de débit dans les cours d'eau par infiltration dans le sol.

En guise de conclusion de ce chapitre «géologique», relevons que les intempéries de mi-octobre 2000 ont démontré de manière flagrante que, sans la protection contre l'érosion dont profitent les vallées alpines grâce à la présence de la forêt, une grande partie des versants sis entre 1000 et 2000 m d'altitude aurait été déstabilisée. Malheureusement les conditions climatiques actuelles n'autorisent pas une colonisation forestière au-dessus de 2000 m.

En bref

Les fortes pluies ont provoqué en Valais de nombreux glissements de terrain qui étaient généralement de dimension restreinte et qui, de ce fait, n'ont pas causé de dégâts vraiment importants. Peu de mouvements de terrain significatifs se sont déclenchés à la suite des intempéries.

* Il ne faut pas oublier non plus que par effet d'inertie du sous-sol c'est seulement à partir des années soixante qu'a commencé à faire effet le réchauffement climatique contemporain débuté en 1940 selon Ch. Pfister (1985), soit quelque 120 ans après la fin du petit âge glaciaire.

6 Analyse de l'effet des ouvrages d'accumulation

Henri Pougatsch, Pierre-Benoît Raboud

6.1 Généralités

Les plus importants ouvrages d'accumulation du pays dont l'exploitation est saisonnière font généralement partie d'aménagements hydroélectriques alpins. En l'occurrence, les bassins d'accumulation sont prévus pour stocker l'eau de la fonte des neiges et les apports estivaux afin de disposer d'une réserve suffisante pour la production d'énergie en hiver. En conséquence, les retenues sont généralement pleines à l'approche de l'automne (fin septembre) et se trouvent à leur niveau le plus bas vers le printemps (avril – mai). En conséquence, le degré de remplissage varie au cours de l'année. Le remplissage est aussi conditionné par l'importance des apports directs et indirects (captage, pompage), ainsi que de l'exploitation par turbinage ou pompage des eaux et du surplus des apports en été. Les apports sont, quant à eux, dépendants des conditions atmosphériques (pluie, ensoleillement pour ce qui concerne les apports des glaciers). Il est fréquent que les exploitants ralentissent l'accumulation ou maintienne un niveau plus bas que le niveau normal d'exploitation en septembre, afin d'être en mesure de profiter des éventuels apports d'eau de crues. Enfin, c'est en général au début du mois d'octobre, par suite du passage du tarif d'électricité d'été au tarif hiver ainsi que de la diminution des apports, que le niveau d'eau s'abaisse dans les retenues. Il n'est pas rare que, suite à une importante demande d'énergie électrique, cet abaissement ait lieu avant le remplissage total du bassin.

En période de crues (septembre–octobre), le degré de remplissage des bassins d'accumulation est une grandeur aléatoire qui va grandement influencer les possibilités et l'efficacité de la rétention des eaux. Il existe un seul bassin d'accumulation en Suisse qui possède une tranche permanente de stockage de crues (Albigna). Un deuxième bassin d'accumulation disposant d'une telle tranche sera celui de Mattmark (mis en service en 2001).

Il faut enfin de rappeler que l'influence de la rétention diminue plus on s'éloigne du barrage. Bien que les bassins versants des barrages alpins ne représentent qu'une petite partie des bassins versants des cours d'eau, les ouvrages d'accumulation apportent une contribution non négligeable à la protection contre les crues, comme le montrent les faits exposés ci après.

6.2 Etudes des crues 1987 et 1993

Suite aux crues de 1987 et de 1993, des études approfondies avaient été menées pour évaluer ce qui aurait pu se passer si les bassins d'accumulation des

aménagements hydroélectriques avaient été pleins ou s'ils n'avaient pas existé (OFEE 1991, OFEE 1995, Biedermann et al., 1996). Une différence essentielle entre les deux événements précités réside dans le fait que ces crues se sont produites à une époque différente de l'année et selon une autre répartition des précipitations. La crue de 1987 a eu lieu vers fin août, c'est-à-dire à un moment où un volume assez important est encore disponible dans les retenues; la crue de 1993 vers fin septembre, soit à une époque où les retenues sont en général fortement remplies. Rappelons que tant en 1987 qu'en 1993, des déversements avaient été constatés. Par ailleurs, lors de la crue de 1993, l'évacuateur de crue de Mattmark est entré en service pour la première fois en 25 ans d'exploitation. Toutefois, en 1987 et 1993, la rétention d'eau dans les bassins des ouvrages d'accumulation avait contribué de façon marquée à la diminution des débits de pointe et à limiter les dégâts. Mesuré sur le Rhône à Branson (Fully), la contribution des ouvrages d'accumulation sur un bassin versant de 3800 km² a été de 210 m³/s en 1987 et de 160 m³/s en 1993. En sachant qu'à Branson 100 m³/s correspondent à une lame d'eau de 50 cm, on comprend ainsi que les bassins d'accumulation ont évité lors de ces événements une catastrophe majeure dans la plaine du Rhône. Ce fut le cas aussi pour la crue d'octobre 2000 analysée au chapitre 6.3.

6.3 Crue d'octobre 2000

6.3.1 Généralités

Afin d'analyser l'incidence des bassins d'accumulation pendant les crues d'octobre 2000, il a été demandé aux exploitants des aménagement hydroélectriques valaisans et tessinois de fournir pour la période comprise entre le 10 et les 17/18 octobre le relevé horaire des fluctuations du niveau des plans d'eau et des volumes des retenues, ainsi que les débits et durées de turbinage et de déversement. Ces données devaient permettre, d'une part, de connaître les conditions de remplissage des retenues au début de la crue et, d'autre part, d'évaluer par rapport aux apports quels étaient les volumes qui ont pu être stockés. L'analyse se limite ainsi à l'étude de la gestion des apports, des volumes stockés et de la contribution des barrages (réduction du débit maximal de la crue).

Il faut remarquer que la période de fortes précipitations et, par conséquent, celle des crues se sont produites à un moment où les bassins d'accumulation ont un degré de remplissage encore relativement élevé. Toutefois, comme les paragraphes suivants le démon-

trent, les capacités d'accumulation de certains ouvrages étaient encore importantes.

Le constat, entre les 11 et 15 octobre 2000, que les apports dans les retenues ont été plus faibles qu'en 1993 malgré des pluies manifestement plus importantes, ne sera pas abordé ici. On présume que ce phénomène est dû à une évolution différente des températures, qui est évoquée au chapitre 2.3.

6.3.2 Cas des barrages valaisans

En Valais, on trouve parmi les principaux aménagements, ceux de la Grande Dixence, Mattmark, Mauvoisin, Moiry, Emosson, les Toules sur la rive gauche du Rhône et de Zeuzier en rive droite. La somme des volumes utiles (à savoir le volume compris entre le niveau minimum et le niveau maximum d'exploitation) des aménagements hydroélectriques valaisans est de l'ordre de 1208.3 mio de m³, pour un total de 44 retenues.

L'analyse relative au rôle de aménagements hydroélectriques valaisans situés en amont et en aval de Branson (Fully) a porté sur la période entre les 14 et 16 octobre. Cette durée de 3 jours a été choisie afin de permettre, dans la mesure du possible, de dresser des comparaisons avec les crues d'août 1987 et de septembre 1993. Il faut relever, outre les époques distinctes des trois événements, une répartition différente des précipitations. Ceci explique les conséquences locales diverses des crues.

Compte tenu du niveau du plan d'eau le plus bas relevé le 14 octobre 2000, le degré moyen de remplissage des principales retenues était de 90%, ce qui équivalait à une réserve de capacité d'environ 117.6 mio de m³ (voir Tab. 6-1). Il faut relever qu'une réserve appréciable de stockage était disponible; elle était de l'ordre de 10% de la somme des volumes utiles des bassins.

Ce sont particulièrement les bassins de Grande Dixence, d'Emosson et du Mauvoisin qui avaient les volumes disponibles les plus importants. Malgré des prévisions météorologiques défavorables, il n'a pas été constaté de mesures anticipées systématiques par un abaissement préventif (avec turbinage) du niveau d'eau dans les ouvrages d'accumulation.

Par comparaison au chiffre de la crue 2000, le taux moyen de remplissage en septembre 1993 était plus élevé (95.2%) et celui de 1987 presque identique (89.3%) à celui de 2000 (90%).

Dans la partie du bassin versant à l'amont de Branson, 19.4 mio de m³ (soit une moyenne de 74.8 m³/s sur trois jours) ont été stockés dans les bassins d'accumulations principaux. Ce stockage représente pour les bassins considérés environ 47.4% des apports naturels dans les bassins d'accumulation, dont des volumes

importants ont été dérivés. Ainsi, environ 10 mio de m³, soit une moyenne de 38.6 m³/s et des débits de pointes avoisinant 50 m³/s ont été acheminés le 15 octobre du Mattertal et du Val d'Hérens vers le lac des Dix. Comme en septembre 1993, la possibilité de dériver les eaux vers le lac des Dix a permis de réduire le débit dans la Vispa.

Si l'on prend également en compte les retenues situées à l'aval de Branson, environ 20.6 mio de m³ (soit en moyenne 79.5 m³/s) ont été accumulés en 3 jours dans les bassins d'accumulation principaux; cela correspond à environ 78.9% des apports naturels dans les bassins d'accumulation.

A Mauvoisin, 8.7 mio de m³ ont pu être emmagasinés dans la retenue. Le pourcentage de rétention a été compris entre 86 et 100%. L'apport a été en moyenne de 47.4 m³/s le 15 octobre et de 33.6 m³/s sur les 3 jours de crue.

Barrages	Volume utile (1000 x m³)	Degré de remplissage			Réserve de capacité		
		Crue 1987 (24 août) (% rempl.)	Crue 1993 (24 sept) (% rempl.)	Crue 2000 (14 oct) (% rempl.)	Crue 1987 (24 août) (1000 x m³)	Crue 1993 (24 sept) (1000 x m³)	Crue 2000 (14 oct) (1000 x m³)
Gries	18 000	85.3	100.5	92.3	2646	0	1386
Gebidem	8700	72.0	88.0	94.4	6264	1044	487
Mattmark	100 000	91.2	96.9	95.2	8800	3100	4800
Ferden	1700	79.0	50.1	95.0	357	850	85
Illsee	6500	95.3	98.2	98.4	306	117	104
Moiry	77 200	89.9	99.8	97.0	7797	154	2316
Zeuzier	49 900	95.2	98.0	93.9	2395	998	3044
Cleuson	19 500	89.3	97.4	99.0	2087	507	195
Grande Dixence	400 000	91.5	98.3	94.1	34000	6800	33 951
<i>Sous-total à l'amont de Branson</i>	<i>681 500</i>	<i>91.1</i>	<i>98.0</i>	<i>94.7</i>	<i>60 823</i>	<i>13 570</i>	<i>46 368</i>
Mauvoisin (avant 1992)	175 000	96.4	–	–	6300	–	–
Mauvoisin (dès 1992)	204 000	–	97.6	94.3	–	4896	11 628
Les Toules	20 500	95.2	97.9	96.5	984	430	715
Emosson	225 000	86.2	94.0	82.6	31 050	13 500	38 925
Salanfe	40 000	43.5	40	50.2	22 600	24 000	19 920
<i>Sous total Drance avant 1992</i>	<i>4 605 000</i>	<i>86.6</i>			<i>60 934</i>		
<i>Sous total Drance dès 1992</i>	<i>45 400</i>		<i>91.3</i>	<i>85.5</i>		<i>42 827</i>	<i>71 188</i>
<i>Sous-total à l'aval de Branson avant 1992</i>	<i>1 146 500</i>	<i>89.3</i>			<i>117 156</i>		
<i>Sous-total à l'aval de Branson dès 1992</i>	<i>1 175 000</i>		<i>95.2</i>	<i>90.0</i>		<i>56 397</i>	<i>117 564</i>

Tab. 6-1: Comparaison des degrés de remplissage et des réserves de capacité au début des crues 1987, 1993 et 2000.

En ce qui concerne les volumes dérivés, 4.5 mio de m³ en provenance du val Ferret et de la Drance ont été dirigés dans la retenue d'Emosson, ce qui représente un peu moins de la moitié du volume stocké dans cette retenue pendant la période de crue. Les retenues Mauvoisin et d'Emosson, grâce à leur capacité de stockage disponible, ont donc joué un rôle très important pour diminuer les débits dans la Drance à Martigny (entre 74 et 117 m³/s au plus fort de la crue). Il ressort du Tab. 6-2 que, pour les retenues considérées, les quantités stockées pendant la crue d'octobre 2000 (40 mio de m³ sur trois jours) ont été plus importantes que celles de septembre 1993 (31.2 mio de m³ sur trois jours) et du même ordre de grandeur que celles d'août 1987. En ce qui concerne la somme des apports dans les bassins d'accumulation également sur trois jours, les chiffres de 2000 et 1987 sont similaires (67 et 68 mio de m³) et celui de 1993 légèrement inférieurs (65 mio de m³).

Pendant la crue 2000, le turbinage aurait pu être davantage réduit dans quelques cas au plus fort de la crue compte tenu des réserves de capacité existantes, afin de limiter encore les débits dans les cours d'eau. Comme ce fut le cas en septembre 1993, des déversements ont été inévitables, surtout pour les retenues de

capacité moyenne (voir Tab. 6-3). Toutefois, même dans ces cas, la rétention a aussi joué. Par exemple, à Ferden, au plus fort de la crue, le déversement a été de 62.5 m³/s avec en parallèle un turbinage de 21.3 m³/s, alors que le débit de pointe de l'hydrogramme d'entrée a atteint 90.5 m³/s (soit un écrêtement de la pointe de crue de 7%). Avec de tels débits, il est remarquable que les eaux n'aient pas débordés à Gampel et à Steg, grâce également aux engins de chantier utilisés pour évacuer les matériaux dans le lit de la Lonza, pendant les temps forts de la crue. Les inondations qui se sont produites dans la partie basse de la plaine étaient dues au refoulement du Rhône dans le Galdikanal.

Barrages	Crue août 1987		Crue septembre 1993		Crue octobre 2000	
	Apports totaux (1000 x m³)	Volumes stockés (1000 x m³)	Apports totaux (1000 x m³)	Volumes stockés (1000 x m³)	Apports totaux (1000 x m³)	Volumes stockés (1000 x m³)
Gries	2010	2010	2100	1473	790	790
Gebidem	17236	128	12150	1289	17739	802
Mattmark	7005 (2 j)	6151 (2 j)	11993	6498	8174	4614
Moiry	1308	2803	830	214	592	474
Zeuzier	1547	1034	1273	419	1869	1868
Cleuson	876	300	702	546	1687	819
Grande Dixence	20898 (total)	14562	17559 (total)	6688	10000	10000
<i>Totaux amont Branson</i>	50880	26988	46607	17127	40851	19378
<i>Stocké/Apport</i>	53.0%		36.8%		47.4%	
Mauvoisin	7384 (2 j)	3441 (2 j)	9889	7150	9487	8721
Les Toules	2114	233	2536	1000	3838	718
Emosson	8002 (sans Arve)	9435	5182 (sans Arve)	5245	11124	9680
Salanfe	1262	1111	706	706	1495	1495
<i>Totaux Drance</i>	18762	14220	18313	14101	25944	20614
<i>Stocké/Apport</i>	75.8%		77.0%		78.5%	
<i>Totaux</i>	68380	40057	64920	31228	66975	39992
<i>Stocké/Apport</i>	58.6%		48.1%		59.9%	

Tab. 6-2: Apports totaux et volumes stockés sur une durée de 3 jours en 1987, 1993 et 2000.

A Gebidem, les débits déversés ont varié entre 125 m³/s (le 15 octobre) et 80 m³/s (le 16 octobre). Le turbinage sur trois jours a été en moyenne de 18 m³/s. Un déversement de 15 m³/s a été enregistré au barrage des Toules, alors que l'évacuateur de crue n'était pas entré en fonction en 1993. Enfin, dans un seul cas, il a fallu manœuvrer un organe de décharge sur ordre de police du canton dans la soirée du 14 octobre. Ainsi, la vidange intermédiaire de la digue de Mattmark a été ouverte et les débits des lâchures discontinues sur les 15 et 16 octobre ont été de 20 à 30 m³/s avec un volume évacué d'environ 1.6 mio de m³ jusqu'à 4h30 le 16 octobre, soit sur une durée d'environ 30 heures.

Barrage	Date	Débit max déversé par un évacuateur de crue (m³/s)	Débit max évacué par un organe de vidange (m³/s)	Débit max turbiné (m³/s)
Ferden	15 octobre	62.5		21.3
Gebidem	15 octobre	125		14
	16 octobre	125–80		14
Mattmark	14 octobre		28	19
	15 octobre		20–30	19
	16 octobre		30	9.7
Moiry	14 octobre			2.9
	15 octobre			3.7
Les Toules	14 octobre	7		9
	15 octobre	15		9

Tab. 6-3: Débits maximum évacués par les organes de décharge.

Ceci a évité de justesse un déversement, puisque le plan d'eau de la retenue de Mattmark se situait à 8 cm au dessous du niveau normal d'exploitation le 15 octobre à 18h00. Par contre, les barrages de Gries, Moiry, Zeuzier, Grande Dixence, Mauvoisin, Emosson et Salanfe avaient encore de la réserve au début de la journée du 17 octobre: par exemple 87% à Emosson, 96.6% à Grande Dixence et 98,6% au Mauvoisin. Pour juger de la contribution effective des aménagements hydroélectriques sur les conditions d'écoulement, une évaluation des débits qui auraient pu être observés sans l'existence des retenues (débit de pointe naturel) a également été effectuée pour la crue d'octobre 2000. Les valeurs déterminées ont été reportées dans le Tab. 6-4 en regard des débits de pointe effectivement observés. Dans le même tableau figurent des valeurs relatives aux crues de 1987 et 1993. Ce tableau montre clairement l'effet de rétention des retenues sur l'écoulement maximal tant dans la plaine du Rhône que pour deux affluents. En complément, les commentaires suivants peuvent être apportés. Le stockage dans la retenue de Mattmark, ainsi que la dérivation d'eau de la vallée de Zermatt vers la retenue du val des Dix (aménagement de la Grande Dixence) en octobre 2000 ont entraîné une réduction de la hauteur d'eau d'environ 30 cm du Rhône entre Viège et Sion et ont évité que d'importantes inondations ne se produisent le long de ce tronçon. Il faut rappeler qu'en septembre 1993, le débit atteint par la Vispa à Viège correspondait à la limite de capacité du cours d'eau; la ville de Viège, de même que la plaine du Rhône, furent donc protégées d'une inondation

majeure par les mêmes aménagements hydroélectriques. En 1987, le scénario a été similaire à celui de 1993.

Sur le tronçon entre Sion et le lac Léman, l'effet de rétention des retenues en octobre 2000 a occasionné une diminution de l'ordre de 100 m³/s du débit à l'amont de Branson; elle a été de 209 m³/s en août 1987 et de 161 m³/s en septembre 1993. Ainsi, les barrages ont préservé la plaine du Rhône entre Sion et la Porte du Scex d'inondations en réduisant la hauteur d'eau de 50 à 90 cm. Comme en 1987 et 1993, les débits de pointe naturels en 2000 entre Sion et Branson auraient été supérieurs à 1000 m³/s, ce qui signifie un net dépassement des limites de capacité des digues du Rhône. Ces limites ont particulièrement été mises en évidence en octobre 2000 pour des débits de pointe observés inférieurs à 1000 m³/s.

En ce qui concerne la Drance à Martigny, un débit de pointe de 175 m³/s a été mesuré au droit de la station hydrologique fédérale le 15 octobre 2000; à ce moment, l'écoulement avoisinait la limite de capacité du cours d'eau. Sans l'importante contribution des barrages de Mauvoisin et d'Emosson, qui ont retenu environ 77 à 117 m³/s au plus fort de la crue (6h40–11h), la ville de Martigny aurait été inondée. Il faut relever que les débits de pointes des crues de 1987 et 1993 mesurées à la même station hydrologique ont été moins élevés de l'ordre de 100 m³/s. Par rapport aux débits de pointe de crue observés pour le Rhône, l'effet protecteur des barrages à la confluence de la Drance a été estimé à environ 25–30 m³/s en 1987 et 1993 (Biederman et al., 1996).

Bassin versant	Evénement d'août 1987		Evénement de septembre 1993		Evénement octobre 2000	
	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s
Rhône à Brigue	495	521	460	462	560	583
Vispa à Visp	278	450	330	494	200	257
Rhône à Sion	775	1045	830	1054	910	1035
Rhône à Branson	820	1029	930	1091	980	1080
Drance à Martigny	–	–	86	163	180	env. 275
Rhône Porte du Scex	1004	1318	1088	1350	1370	1600

Tab. 6-4: Valeurs de débits de pointe effectifs et naturels lors des crues de 1987, 1993 et 2000.

Sur le Rhône en aval de Branson, les retenues de Mauvoisin, d'Emosson et de Salanfe ont retenu environ 113 m³/s au plus fort de la crue (le 15 octobre entre 12h40 et 14h00). Ainsi, une réduction totale de 214 m³/s du débit maximal dans le Rhône, en aval de Branson, a été obtenue grâce aux barrages valaisans. Leurs contributions ont été estimées à 314 m³/s en 1987 et à 262 m³/s en 1993 (Biederman et al, 1996). La crue d'octobre 2000 (voir Tab. 6-5) a montré que la réserve de capacité des barrages peut certes jouer un rôle très important de protection, mais la distribution des pluies, des débits dans le temps et dans l'espace, ainsi que les opérations effectuées dans les aménage-

ments hydroélectriques peuvent modifier et réduire la contribution des barrages par rapport aux phases des écoulements maximaux dans les cours d'eau. La comparaison des crues de 1987 et de 2000 illustrent bien ce phénomène. Avec un taux de remplissage moyen, des apports et quantités d'eaux stockées globalement similaires, la contribution des barrages en amont de Branson a été en 1987 de 209 m³/s soit le double du chiffre de 2000 (environ 100 m³/s). En aval de Branson, où nous ne disposons que des chiffres moyens de comparaison, la contribution moyenne en 2000 (79.5 m³/s) a été supérieure à celle de 1987 (54.9 m³/s).

Barrage	Volume utile (1000 x m³)	Réserve de capacité (1000 x m³)	Intervalle de temps considéré (heures)	Apports totaux (1000 x m³) (m³/s)	Volume stocké (1000 x m³) (m³/s)	Déversement
Gries	18 000	1389	72	790 3.1	790 3.1	Non
Gebidem	8700	611	72	17 739 68.4	812 3.1	Oui
Mattmark	100 000	5286	72	8174 31.5	4614 17.8	Non
Moiry	77 200	2318	72	592 2.3	474 1.8	Non
Zeuzier	49 900	3084	72	1869 7.2	1869 7.2	Non
Cleuson	19 500		72	1687 6.5	819 3.2	Non
Grande Dixence	400 000	34 000	72	10 000 38.6	10 000 38.6	Non
<i>Sous-total amont de Branson</i>			72	40 851 157.6	19 378 74.8	
Mauvoisin	204 000	11 978	72	9487 36.60	8721 33.64	Non
Les Toules	20 500		72	3838 14.8	718 2.8	Oui
Emosson	225 000	39 183	72	11 124 42.9	9680 37.3	Non
Salanfe			72	1495 5.8	1495 5.8	Non
<i>Sous-totaux Drance</i>			72	26 944 100.1	20 614 79.5	
Total aval de Branson		117 901		69 795 257.7	39 992 154.3	

Tab. 6-5: Résumé de la crue 2000.

6.3.3 Cas des barrages tessinois

Dans le canton du Tessin, les aménagements de Blenio (3 barrages), de la Maggia (7 barrages) et de la Versasca comptent parmi les installations offrant les capacités de stockage les plus importantes. Il en existe par ailleurs d'autres parmi lesquelles figurent les ouvrages d'accumulation de Ritom, Lucendro, Sella, Carmena. La somme des volumes utiles (à savoir le volume compris entre le niveau minimum et le niveau maximum d'exploitation) des aménagements hydroélectriques tessinois est de l'ordre de 419.7 mio de m³, pour un total de 22 retenues.

L'analyse du rôle des aménagements hydroélectriques tessinois a porté sur la période comprise entre les 10 et 17 octobre. Au début de cette période, le degré de remplissage des principales retenues peut être considéré comme encore élevé; il était compris entre 90 et pratiquement 100% (Contra). La réserve de capacité était de l'ordre de 20 mio de m³. La retenue de Luzzone, avec environ 10 mio de m³, offrait la réserve la plus importante; 8 mio de m³ se répartissaient dans 4 autres retenues. La réserve de capacité de la retenue de Contra était par contre faible (voir Tab. 6-6).

Barrages	Volume utile (1000 x m ³)	Degré de remplissage le 12 oct 2000 à 00h00 (%)	Réserve de capacité le 12 oct 2000 à 00h00 (1000 x m ³)
Ritom	48 780	96.7	1623
Luzonne	107 000	91.6	9600
Carassina	230		225
Malvaglia	2149	38.4	1939
Naret	31 100	99.1	284
Cavagnoli	27 775	89.7	2858
Robiei	4823	88.1	575
Zöt	1530	76.4	360
Sambuco	63 155	97.8	1396
Palagnedra	1872	51.6	926
Peccia	105	44.9	57
Contra	85 000	99.8	164
Totaux	373 519	94.6	20 007

Tab. 6-6: Degré de remplissage au début de la crues 2000 (le 12 oct. à 00h00).

Pendant la période de crue, la retenue de Ritom, située dans la partie nord du canton (Léventine), a emmagasiné 1.282 mio de m³ le 13 octobre, ce qui représente 76% des apports. Ces derniers se composent pour parts pratiquement égales des apports du bassin versant même et de ceux dérivés des vallées

latérales. Le turbinage a permis d'évacuer quotidiennement entre 380 000 et 500 000 de m³ (en moyenne 5.8 m³/s) entre les 13 et 17 octobre et un total de 817'000 m³ (avec une pointe de 7.3 m³/s) a été déversé (voir Tab. 6-7).

Date	Ap. direct (1000 x m ³)	Ap. dérivé (1000 x m ³)	Ap. total (1000 x m ³)	Vol. déversé (1000 x m ³)	Vol. turbiné (1000 x m ³)	Volume stocké (1000 x m ³)	m ³ /s
12 oct.	191	309	500		320	181	2.09
13 oct.	828	838	1666		384	1282	14.83
14 oct.	674	220	894	306	493	95	1.10
15 oct.	579	357	936	371	504	61	0.70
16 oct.	419	219	637	140	504	-6	

Tab. 6-7: Apports et volumes stockés au barrage de Ritom.

Les trois retenues de l'aménagement des Forces motrices de Blenio (Luzonne, Carassina, Malvaglia) ont stocké 11.26 mio de m³ entre le 10 et le 17 octobre. La plus grande partie, 9.93 mio de m³/s, a été emmagasinée dans la retenue de Luzonne, dont le degré de remplissage au début de la crue avoisinait 91% (volume utile: 107 mio de m³). Le volume stocké représente environ les 65% des apports. Notons encore que la surface des bassins versants directe de Luzonne et de Carassina représente les 13% du bassin versant total du cours d'eau à Biasca. Quant à la retenue de Malvaglia, dont le volume utile est de 3.15 mio de m³, le volume stocké correspond à environ 8% des apports (voir Tab. 6-8).

En ce qui concerne les 7 bassins d'accumulation de l'aménagement des Forces motrices de la Maggia, ils ont emmagasiné pratiquement un volume de 6 mio de m³ entre les 10 et 15 octobre. Dans la partie supérieure de l'aménagement, 1 mio de m³ ont été retenus le 15 octobre à Sambuco, le même jour 2.3 mio de m³ ont été pompés dans la retenue de Cavagnoli, quant à la retenue de Naret, avec 99.1% de taux de remplissage au début de la crue, seuls 500 000 mio de m³ ont été stockés. Enfin, 1.4 mio de m³ ont trouvé place dans la retenue de Palagnedra (volume utile: 1.9 mio de m³) (voir Tab. 6-8).

Une étude effectuée par l'exploitant des aménagements de Blenio et de la Maggia montre que les volumes stockés par leurs ouvrages représentent une tranche de 6.4 cm du lac Majeur d'une superficie de 6562 km².

Le cas du barrage de Contra (aménagement de la Versasca), dont le degré de remplissage était de 99.8%, a toutefois emmagasiné 9 mio de m³ le 12 octobre, alors que l'apport ce jour a été de 12.4 mio de m³. Puis, dans la période du 12 au 16 octobre,

Aménagement	Barrage	Période considérée	Volume stocké (1000 x m³) (m³/s)	
Blenio	Luzonne	Du 10 au 17 octobre	9932	14.36
	Carassina		189	0.27
	Malvaglia		1139	1.65
	Total		11260	16.29
Maggia	Naret	Du 10 au 15 octobre	531	0.77
	Cavagnoli		2335	3.38
	Robiei		851	1.23
	Zött		518	0.75
	Sambuco		1006	4.16
	Palagnedra		743	4.07
	Total		5984	8.66

Tab. 6-8: Volumes maximum stockés par les aménagements de Blenio et de Maggia.

l'apport total a été de 69,6 mio m³, soit un débit moyen journalier de 161 m³/s. C'est le 13 octobre que l'apport a été le plus important, soit 22,63 mio de m³ (261,9 m³/s en moyenne). De plus, le turbinage au maximum de 44 m³/s a pratiquement été constant. Enfin, les évacuateurs de crue ont été en action dès le 13 octobre; ce même jour, le débit de pointe déversé a atteint 375,1 m³/s. Des déversements ont été pratiquement ininterrompus au barrage de Vasasca. Le 13 octobre, on a enregistré le volume déversé maximum de 2,47 mio de m³ (débit moyen: 28,6 m³/s) et le débit de pointe maximum observé a été de 73 m³/s.

Date	Apport total (1000 x m³)	Volume déversé (1000 x m³)	Débit de ponte déversé (m³/s)	Volume turbiné (1000 x m³)	Volume total soutiré (1000 x m³)	Volume stocké (1000 x m³)	(m³/s)
12 octobre	12 436			3436	3436	9000	104.2
13 octobre	22 630	17067	375.1	3763	20 830	1800	20.8
14 octobre	9285	5532	97.5	3753	9285	0	0.0
15 octobre	10 993	6807	140.2	3789	10 596	397	4.6
16 octobre	14 269	10 703	158.6	3808	14 511	0	0.0
17 octobre	7136	4239	108.7	3808	8047	0	0.0

Tab. 6-9: Apports et volumes stockés au barrage de Contra.

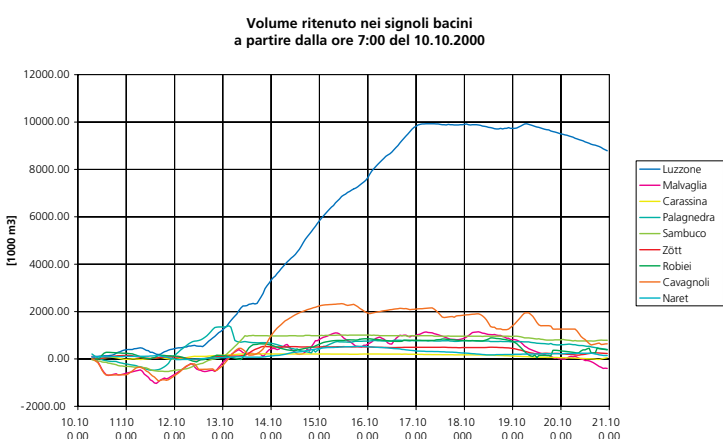


Fig. 6-1: Cumul des volumes stockés dans les retenues les aménagements de Blenio et de Maggia.

6.4 Conclusions

Comme ce fut le cas en 1987 et 1993, les bassins d'accumulation des aménagements hydroélectriques ont à nouveau offert de larges possibilités de stockage des apports pendant les crues d'octobre 2000. Bien que leurs bassins versants ne représentent qu'une partie de celui des cours d'eau sur lesquels ils sont érigés, ils sont en mesure de diminuer les débits dans les tronçons situés à l'aval. De plus, grâce aux prises d'eau et au pompage, il a aussi été possible de dériver d'importants volumes d'eau d'une vallée vers un bassin d'accumulation située dans une vallée voisine ou plus loin encore. Il faut toutefois relever que la réserve de capacité des ouvrages d'accumulation joue certes un rôle très important de protection, mais la distribution des

pluies, des débits dans le temps et dans l'espace, ainsi que les opérations d'exploitation effectuées dans les aménagements hydroélectriques peuvent modifier la contribution des ouvrages d'accumulation par rapport aux phases des écoulements maximaux dans les cours d'eau.

Grâce aux enseignements tirés lors des crues antérieures, on a acquis l'expérience nécessaire pour faire un choix adéquat parmi les moyens d'intervention possible (pompage, turbinage, ouverture de vannes, etc.) dans le but de gérer au mieux les apports dans les bassins d'accumulation.

En cas de prévisions météorologiques défavorables, le turbinage préventif est une mesure qui permet de créer une réserve supplémentaire, toutefois limitée, sous réserve toutefois de pouvoir écouler l'énergie électrique produite à des conditions acceptables. La solution de la création d'une tranche de stockage de crue, pour autant que cela soit possible, permet d'augmenter l'efficacité de rétention des bassins pour une protection de la zone aval. Pour ce faire, il existe la possibilité de réserver un volume tampon en cas de prévisions météorologiques défavorables, de passer d'une gestion à but unique de la retenue à une gestion à buts multiples en prenant une tranche sur le volume utile ou en surélevant le plan d'eau. Cette dernière solution est en service depuis 2001 pour la retenue de Mattmark. Dans ces cas, les mesures ne sont cependant pas gratuites, car l'exploitant doit être dédommagé.

Afin de mieux pouvoir encore maîtriser une situation de crue, il serait indiqué de pouvoir disposer à l'avenir d'outils d'aide à la décision permettant de se

rendre compte de la situation instantanée réelle à différents endroits du territoire, par exemple par des mesures on-line de débits, pluies, neiges, températures, niveaux d'eau dans les barrages, etc.; ceci faciliterait la prise de mesures (ouverture de vannes, turbinage, pompage, etc.) pour réduire autant que faire se peut les conséquences de la crue. Cet outil d'aide devrait également permettre de détecter les comportements anormaux constatés par exemple dans les cours d'eau (coulée de boue obstruant le cours d'eau, rupture de digue, etc.). Ceci est évidemment d'autant plus important la nuit, où les phénomènes sont difficilement visibles. Enfin, il est recommandé que les autorités cantonales et les exploitants travaillent en étroite collaboration afin de coordonner les actions à prendre.

En bref

Comme ce fut le cas lors des crues de 1987 et de 1993, les ouvrages d'accumulations, particulièrement, ceux situés dans le canton du Valais, ont à nouveau contribué pendant les crues d'octobre 2000, à réduire les pointes de crues et, par conséquent, les dégâts. En 2000, une réserve de capacité importantes des bassins d'accumulation au début du phénomène de crue, ainsi que l'expérience acquise lors des crues précédentes pour la gestion des apports ont été des facteurs déterminant pour la protection des zones aval.

Enfin, il faut relever que, pour une meilleure maîtrise des situation de crue, des outils d'aide à la décision sont en cours de développement et pourront apporter dans l'avenir un appui dans le choix de prise de mesures.

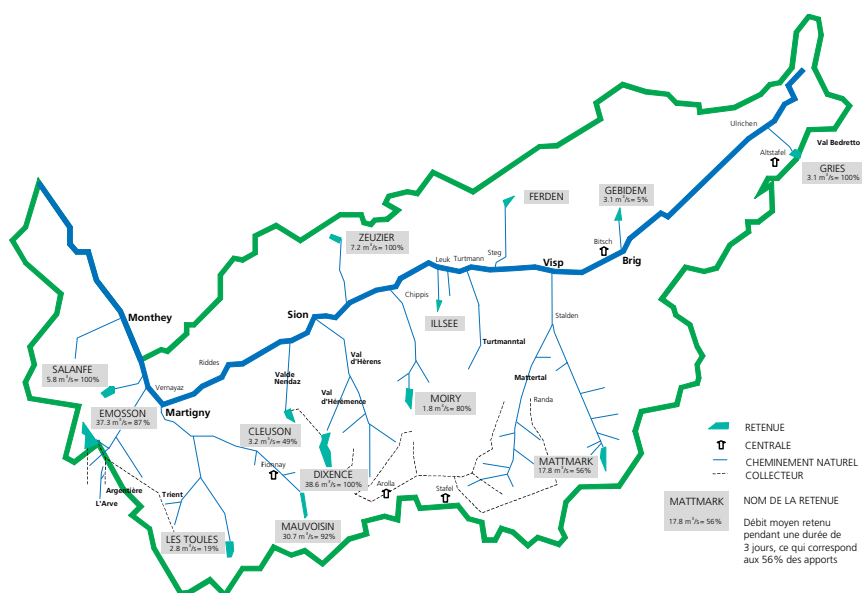


Fig. 6-2: Rétention dans les bassins d'accumulation des aménagements hydroélectriques valaisans.

7 Literaturverzeichnis

- ARGE SBWZ (Büros O. Schmid, A. Burkard, Glenz & Walther, K. Zurbriggen, Brig-Glis), 2000: Hochwasserschutzkonzept Brig-Glis. Bericht vom April 2000 (unveröffentlicht).
- Aschwanden H., Spreafico M., 1995: Hochwasserabflüsse – Analyse langer Messreihen. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.6. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Barnes, H.H., 1967: Roughness characteristics of natural channels. U.S. Geological Water Supply Paper 1849, Washington.
- Bezzola, G.R., Hunziker, R., Jäggi, M., 1991: Flussmorphologie und Geschiebehaushalt im Reusstal während des Ereignisses vom 24./25. August 1987. Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 2, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 14. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Bezzola, G.R., Kuster, P., Pellandini, S., 1990: The Reuss River Flood of 1987 – Hydraulic Model Tests and Reconstruction Concepts. Proceedings of the International Conference on River Flood Hydraulics, 17–20 September. pp. 317–326. Wiley, Chichester.
- Bezzola, G.R., Abegg, J., Jäggi, M., 1994: Saltinabrücke Brig-Glis. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 11, S. 165–169.
- Bianco Ph., Genolet F., Rebord Y.G., 1999: 2^{ème} Correction du Rhône, a-t-elle résolu le problème du charriage? In: Wasser, Energie, Luft, 91. Jg., Heft 3/4, S. 56–60.
- Biedermann et al., 1996: Protection contre les crues dans le canton du Valais. Aménagements hydro-électriques à accumulation et protection contre les crues. Dans: «eau énergie air», Nr. 10, p. 216–266.
- Buzzi, A.; Tartaglione, N.; Cacciamani, C.; Paccagnella, T.; Patruno, P., 1995 a: The Piedmont flood of November 1994. MAP Newsletter Nr. 2, p. 2–6. Swiss Meteorological Institute Zürich.
- Buzzi, A., Tartaglione, N., 1995 b: Meteorological modeling aspects of the Piedmont 1994 flood. MAP Newsletter Nr. 3, p. 27–28. Swiss Meteorological Institute Zürich.
- Browning, K.A., 1990: Organization of Clouds and precipitation in extratropical cyclones. In: Newton, Ch.W. and Holopainen, E.O. (ed.): Extratropical Cyclones; The Erik Palmén Memorial Volume. American Meteorological Society, Boston.
- BWG, 2000: Hochwasser 1999, Analyse der Ereignisse. Studienbericht Nr. 10/2000. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- BWG 2001: Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung. Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel.
- Canton du Valais, 1999: 3^{ème} Correction du Rhône. Données de bases, Transport solide. DB-R 3.1, mars 1999.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau), 1976: Empfehlungen zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Heft 101. Hamburg.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau), 1998: Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Entwurf Neubearbeitung Regel 101, Bonn.
- DWD: Europäischer Wetterbericht. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M.
- Geiger, H., Zeller, J., Röthlisberger, G., 1991: Starkniederschläge des Schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Band 7: Grundlagen. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Grebner, D., Richter, K.G., 1991: Gebietsniederschlag; Ereignisanalysen 1987 und Abhängigkeitscharakteristiken. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4, S. 23–40.
- Grebner, D., 1993: Synoptische Zirkulationen während Extremniederschlägen in der nordalpinen Schweiz. In: Grebner, D. (Ed.), Aktuelle Aspekte in der Hydrologie. – Zürcher Geographische Schriften, Heft 53, S. 39–48. Geographisches Institut ETH Zürich.
- Grebner, D., 1994: Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993. In: Wasser, Energie, Luft, 86. Jg., Heft 1/2, S. 41–44.
- Grebner, D., Roesch, Th., 1998: Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte in der Schweiz. Vdf Hochschulverlag ETH, Zürich.
- Grebner, D., Roesch, Th. und Schwarb, M., 1998: Extreme Gebietsniederschläge unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Kartenblatt 2.5. Landeshydrologie, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- Grebner, D., Roesch, Th., 1999: Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999. In: Wasser Energie, Luft, 91. Jg., Heft 5/6, S. 127–132.
- Grebner, D., Aschwanden H., Steinegger U., Zimmermann M., 2000: Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis. In: Wasser, Energie, Luft, 92. Jg., Heft 11/12: S. 369–377.
- Hegg, Ch., Rickenmann, D., 2000: Geschiebetransport in Wildbächen – Vergleich zwischen Feldmessungen

- und einer Laborformel. Proceedings Internationales Symposium Interpraevent 2000, Villach, Austria, Vol. 3, 117–127.
- Herzog, B., Bodenmann, M., 2000: Sanierung Gamsa, Analyse des Ereignisses vom 15.10.2000. Zwischenbericht z. Hd. der Gemeinde Brig-Glis, Dezember 2000.
- Hicks, D.M., Mason, P.D., 1991: Roughness characteristics of New Zealand rivers: a handbook for assigning hydraulic roughness coefficients to river reaches by the «visual comparison» approach. Water Resources Survey, DSIR Marine and Freshwater, Wellington.
- Jäggi, M., 1992: Sedimenthaushalt und Stabilität von Flussbauten. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich, Nr. 119. VAW, Zürich.
- Jäggi, M., Abegg, J., 1993: Cimavilla-Brücke, Poschiavo. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 16–17.
- Jarrett, R.D., 1984: Hydraulics of high-gradient streams. In: J. Hydr. Eng., ASCE, Vol. 110, No. 11, S. 1519–1539.
- Jordan, J.-P., Hohl, Ph., 1991: Einzugsgebietsdynamik. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4, S. 49–55. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Kobashi, S., 1996: New developments of Torrent Control in Japan. Internationales Symposium Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen. Tagungspublikation Band 1. S. 27–37. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt.
- Koulinski, V., 1994: Étude de la formation d'un lit torrentiel. CEMAGREF, Études, Équipements pour l'eau et l'environnement, no. 15. CEMAGREF, St. Martin d' Hères.
- Lang, H., Rohrer, M., Grebner, D., Lorenzi, D., Roesch, Th., Steinegger, U. und Wahrenberger, Ch., 1996: Hochwasserwarnungen für das Wallis, Schlussbericht zur Hauptstudie Teil 1: Meteorologische Grundlagen und Möglichkeiten der Hochwasservorhersage im Kanton Wallis. Teilbericht zur Gesamtstudie CONSECRU. Im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Geographisches Institut, Abteilung Hydrologie, ETH Zürich.
- Lardi, E., Monigatti, D. (ed.) 1987: Cronaca di un disastro. Tipografia Menghini, Poschiavo.
- LHG, 1986: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern: Abflussmessreihen mit mehr als 30 Jahren in den Einzugsgebieten des Rheins und der Aare. Band I. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 7. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- LHG, 1988 a: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern: Abflussmessreihen mit mehr als 30 Jahren in den Einzugsgebieten der Reuss, der Limmat, der Rhone, des Tessin, der Adda und des Inn. Band II. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 8. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- LHG, 1988 b: Hydrometrie heute und morgen. In: 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 9, S. 123–152. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- LHG, 1991 a: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern: Abflussmessreihen aus den Messnetzen der Landeshydrologie und -geologie, der Kantone, der Hochschulen und privater Institutionen in den Einzugsgebieten des Rheins und der Aare (Beobachtungsdauer vorwiegend zwischen 10 und 30 Jahren). Band III. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 16. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- LHG, 1991 b: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern: Abflussmessreihen aus den Messnetzen der Landeshydrologie und -geologie, der Kantone und der Hochschulen in den Einzugsgebieten der Reuss, der Limmat, der Rhone, des Tessin, der Adda und des Inn (Beobachtungsdauer vorwiegend zwischen 10 und 30 Jahren). Band IV. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 17. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- LHG, 1994: Die Hochwasser 1993 im Wallis und Tessin – Messdaten und ausgesuchte Auswertungen. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 19. Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- Meteodat GmbH, 1999: Meteorologische Grundlagen und Möglichkeiten der Hochwasservorhersage im Wallis. Meteodat GmbH, Zürich.
- MeteoSchweiz, 2000: L'alluvione dell'ottobre 2000. Dokumentation Internet.
- Meyer O., Pfammatter C., Eyer, E., Werlen M., 1997: Saltina-Hubbrücke in Brig-Glis. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 50, S. 4–8.
- OFEE, 1991: Analyse des causes des crues de l'année 1987. Rapport final, Communication no 5. EDMZ, Bern.
- OFEE, 1995: Influence des aménagements hydroélectriques à accumulation valaisans lors des crues de 1987 et 1993. Rapport interne.
- Pfister, Ch., 1985 : Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Das Klima der Schweiz von 1525 und 1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft. Academica Helvetica 6, Band 1. Paul Haupt Verlag, Bern.
- Regione Piemonte, 2000: Rapporto sull'evento alluvionale del 13–16 ottobre 2000. Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione.

- Rickenmann, D., 2001: Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 12, p. 3295. American Geophysical Union, Washington DC.
- Rickenmann, D., 1996: Fließgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. In: *Wasser, Energie, Luft*, 88. Jg., Heft 11/12, S. 298–304.
- Rickenmann, D., 1999: Empirical relationships for debris flows. In: *Natural Hazards*, 19 (1), S. 47–77.
- Rickenmann, D., Hürlimann, M., Graf, Ch., Näf, D., Weber, D., 2001: Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz. In: *Wasser, Energie, Luft*, 93. Jg., Heft 1/2, S. 1–7.
- Rohrer, M., Noetzli, C., Petrascheck, A., 1999: Hochwasserwarnungen für das Wallis. In: *Wasser, Energie, Luft*, 91. Jg., Heft 3/4, S. 43–48.
- Röthlisberger, G., 1991: Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Bericht der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Nr. 330. WSL, Birmensdorf.
- Schilling, M., Hunziker, R., Hunzinger, L., 1996: Die Folgen von Korrektionsmassnahmen auf den Geschiebehaushalt. Internationales Symposium Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen, Tagungspublikation Band 4, S. 209–220.
- SMA, 1993: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen, 3. und 4. Quartal 1993. SMA, Zürich.
- VAW, 1987: Murgänge 1987, Dokumentation und Analyse. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW, Zürich.
- VAW, 1988: Rotten – Pfynwald, hydraulisches und flussmorphologisches Gutachten. Bericht Nr. 946 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW, Zürich.
- VAW, 1992: Murgänge 1987: Dokumentation und Analyse. Unveröffentlichter Bericht Nr. 97.6 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW, Zürich.
- VAW, 1994: Die Grösse extremer Hochwasser der Saltina. Hydrologische Untersuchungen nach der Hochwasserkatastrophe in Brig vom 24.9.1993. Im Auftrag des Krisenstabes Brig-Glis. Bericht Nr. 4080 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW, Zürich.
- Zarn B., 1999: Der Alpenrhein – ein Kieslieferant? In: *Wasser, Energie, Luft*, 91. Jg., Heft 7/8, S. 157–164.
- Zarn, B., Oplatka, M., Pellandini, S., Mikš, M., Hunziker, R., Jäggi, M., 1995: Geschiebehaushalt Alpenrhein. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich, Nr. 139. VAW, Zürich.
- Zeller, J., Geiger, H. und Röthlisberger, G., 1980: Starkniederschläge des Schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Band 5. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., Hunziker, G., 1997: Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. Schlussbericht NFP 31. Vdf Hochschulverlag ETH, Zürich.

Figurenverzeichnis

Fig. 2-1: Limite du 0 degré observé et limite des chutes de neige estimée à partir du radiosondage de Milan et de Payerne	23	die Niederschlagsdauern 3 Std., 24 Std. und 48 Std.	39
Fig. 2-2: Températures et précipitations à différentes stations météorologiques en Suisse	24	Fig. 2-22: Temperaturverlauf an den ANETZ Stationen der MeteoSchweiz im Wallis beim Ereignis vom Oktober 2000.....	44
Fig. 2-3: 1-Tagesniederschlag vom 13. Oktober 2000	28	Fig. 2-23: Temperaturverlauf an den ANETZ Stationen der MeteoSchweiz im Wallis beim Ereignis vom September 1993.....	44
Fig. 2-4: 1-Tagesniederschlag vom 14. Oktober 2000	28	Fig. 2-24: Karte der IMIS-Stationen (Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung, SLF) im Kanton Wallis	45
Fig. 2-5: 1-Tagesniederschlag vom 15. Oktober 2000	28	Fig. 2-25: Verlauf von Temperatur und Schneefallgrenze an benachbarten Stationen im Gebiet Saastal und Simplon	45
Fig. 2-6: 2-Tagesniederschlag vom 13. und 14. Oktober 2000	29	Fig. 2-26: Lage der ungefähren Grenze zwischen den von der Abkühlung betroffenen Regionen im Wallis und jenen, die davon nicht betroffen waren.	46
Fig. 2-7: Stündliche Intensitäten und akkumulierte Niederschläge an den Stationen Bognanco-Pizzano, Antrona Scheranco-Alpe Cheggio und Varzo-San Domenico von Anfang 13. bis Ende 16. Oktober 2000.....	29 + 30	Fig. 2-27: Druck- und Strömungszustand an den Tagen 22., 23., 24. September 1993 in 700 hPa und 11., 13., 15. Oktober 2000 in 500 hPa.	48
Fig. 2-8: Niederschlagssummen (mm) in den 8 Stunden zwischen Freitag 13. Oktober 11 Uhr und 19 Uhr	30	Fig. 2-28: Massgebender Druck- und Strömungszustand während des Ereignisses im August 1987 a) am Boden, b) in 850 hPa.	49
Fig. 2-9: 1-Tagesniederschlag vom 22. September 1993	32	Fig. 3-1: Übersicht über die Hochwasser im Oktober 2000	50
Fig. 2-10: 1-Tagesniederschlag vom 23. September 1993	32	Fig. 3-2: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen im Oberwallis (Stundenwerte 12.–18. Oktober 2000).	52
Fig. 2-11: 1-Tagesniederschlag vom 24. September 1993	32	Fig. 3-3: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen unterhalb von Brig (Stundenwerte 12.–18. Oktober 2000).	53
Fig. 2-12: Stündliche Intensitäten und akkumulierte Niederschläge an der Station Robiei von Anfang des 21. bis Ende des 26. Septembers 1993.....	33	Fig. 3-4: Maximale Abflussspenden Oktober 2000 im Vergleich mit den bisher gemessenen Werten im Rhoneeinzugsgebiet.....	54
Fig. 2-13: 2-Tagesniederschlag vom 22. und 23. September 1993	33	Fig. 3-5: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagsintensitäten ausgewählter Stationen (Stundenwerte 22.–28. September 1993).	55
Fig. 2-14: 2-Tagesniederschlag vom 23. und 24. September 1993	34	Fig. 3-6: Ganglinien des Abflusses und Niederschlagssummen ausgewählter Stationen im Einzugsgebiet des Lago Maggiore (Tagesmittelwerte der Perioden 1.9.–31.10.1993 und 2000).	57
Fig. 2-15: Differenz der 2-Tagesniederschläge (13./14.10.2000 - 23./24.9.1993).....	35	Fig. 3-7: Hydrogrammes de crues à Sion, Viège, Brigue (1987, 1993 et 2000) et Martigny (1993 et 2000).....	59
Fig. 2-16: Frequenzdiagramme von Binn mit unterschiedlichen Referenzperioden von 1961–1994 und 1901–1994	36	Fig. 3-8: Comparaison des hydrogrammes de crues de 1987, 1993 et 2000 de Brigue et Viège calés sur ceux de Sion.	61
Fig. 2-17: Frequenzdiagramme von Grächen, Grand St. Bernard, Zermatt und Camedo mit einheitlicher Referenzperiode von 1901–1994.....	36 + 37		
Fig. 2-18: Jährlichkeiten der 1-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000.....	38		
Fig. 2-19: Jährlichkeiten der 2-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000.....	38		
Fig. 2-20: Jährlichkeiten der 5-Tagesniederschlags-Höchstwerte vom Oktober 2000.....	38		
Fig. 2-21: Grenzwerte der Gebietsniederschläge für die Region Wallis-gesamt für			

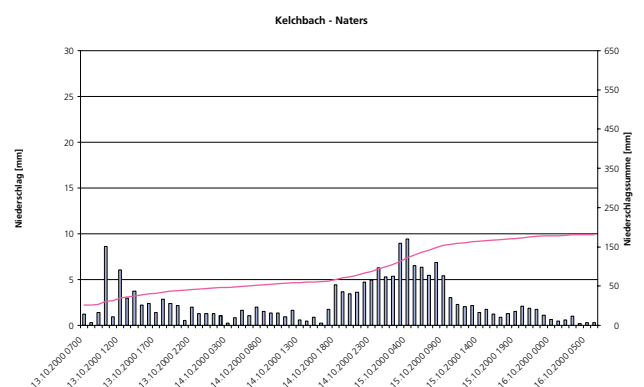
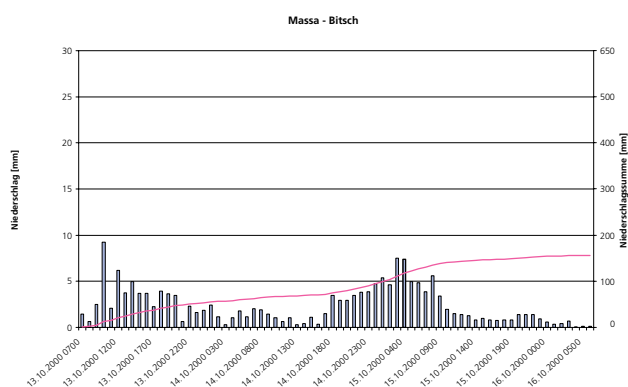
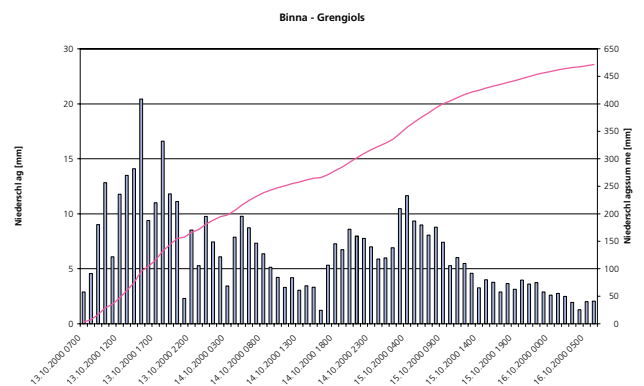
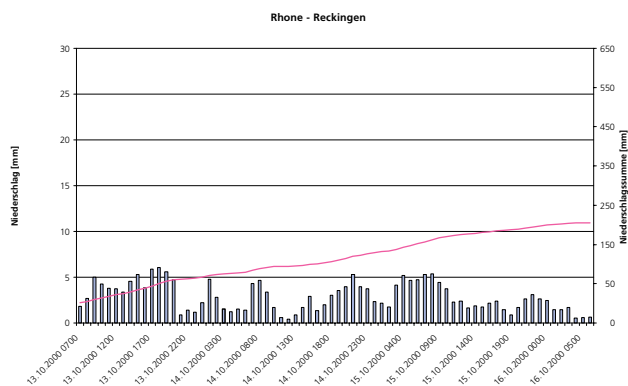
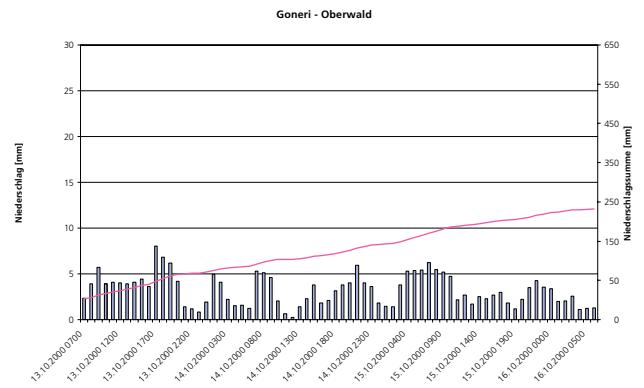
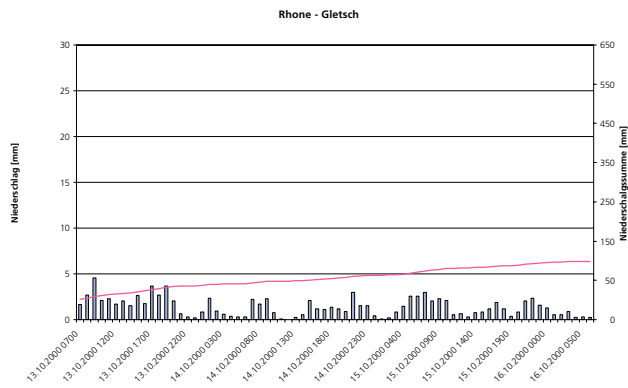
Fig. 3-9: Jährliche Abflusshöchstwerte entlang der Rhone	63	anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000.	93
Fig. 3-10: Hochwasserwahrscheinlichkeit der Saltina in Brig.....	65	Fig. 5-3: Karte der bekannten Rutschungsereignisse anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000.	93
Fig. 3-11: Hochwasserwahrscheinlichkeit der Rhône bei Sion.....	66	Fig. 5-4: Verhältnis der Schadensprozesse, unterteilt nach 4 Regionen	94
Fig. 3-12: Hochwasserwahrscheinlichkeit von Porte du Scex.	67	Fig. 5-5: Localisation des surfaces inondées	95–100
Fig. 3-13: Spitzenabflüsse anlässlich dem Hochwasser vom 15. Oktober 2000.	70	Fig. 5-6: Rhône: débits observés et de projet	103
Fig. 3-14: Karte der spezifischen Spitzenabflüsse während dem Ereignis vom Oktober 2000.	72	Fig. 5-7: Débits pour la 3ème correction du Rhône.....	104
Fig. 3-15: Karte der Spitzenabflüsse im Einzugsgebiet der Rhone.....	73	Fig. 5-8: Danger de rupture de la digue à pleine capacité du Rhône	104+105
Fig. 3-16: Maximale Abflussspenden im Rhoneeinzugsgebiet.	73	Fig. 5-9: Ausgewählte Angaben zu Geschiebetransport und Ablagerungen im Rhonetal beim Ereignis vom Oktober 2000.....	113
Fig. 3-17: Darstellung des spezifischen Spitzenabflusses gegenüber der entsprechenden Summe des Gebietsniederschlags für die Hochwasserereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000.....	75	Fig. 5-10: Kritische Niederschlagsgrenzwerte für das Auftreten von Murgängen in der Schweiz.	115
Fig. 3-18: Darstellung des spezifischen Spitzenabflusses gegenüber der entsprechenden Summe des Gebietsniederschlags für das Hochwasserereignis vom Oktober 2000 unter Berücksichtigung der Schneefallgrenze.	76	Fig. 5-11: Verlauf der Niederschlagswerte für ausgewählte Orte im Raum Vispertäler; der Bezugszeitpunkt ist der 15. Oktober 2000, 6.00 Uhr Winterzeit.....	116
Fig. 3-19: Karte der spezifischen Spitzenabflüsse beim Hochwasser vom Oktober 2000 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Schneefallgrenzen	77	Fig. 5-12: Gleiche Darstellung wie in Fig. 5-11, hier aber ist der Bezugszeitpunkt der 15. Oktober 2000, 2:00 Uhr Winterzeit	116
Fig. 3-20: Niederschlags- und Abflussvolumen während der Hochwasserereignisse vom September 1993 und vom Oktober 2000.....	78	Fig. 5-13: Exemple-type d'ovaille qui s'est produite pendant les intempéries de la mi-octobre 2000 (Bonatchesse, Val de Bagnes)	118
Fig. 3-21: Volumenabflusskoeffizienten (VAK) für unterschiedliche Grenzen für die Bildung einer Schneedecke (SG) bei den Ereignissen vom September 1993 bzw. vom Oktober 2000.	79	Fig. 5-14: Cette photo du viaduc de la route du Simplon prise depuis Simplon-Dorf montre l'écoulement de l'eau en surface et deux ovaïles pendant les intempéries de la mi-octobre 2000.....	119
Fig. 4-1: Ort und Stärke der durch die Starkniederschläge von Mitte Oktober 2000 in der Schweiz angerichteten Schäden.	80	Fig. 5-15: Cette photo prise à Tsarmetta (Val d'Hérens, 2600 – 2400 m s.m.) est un exemple d'ovaille «arrêtée» pendant les intempéries de la mi-octobre 2000	119
Fig. 4-2: Hauptschadenorte im Kanton Wallis.....	81	Fig. 5-16: Eboulement de Rotkin (5000 m³) qui s'est produit à une altitude de 2000 m s. m sur l'un des affluents de Grosswasser (Zwischbergental)	120
Fig. 4-3: Direkte finanzielle Schäden der 24 grössten Unwetterereignisse in der Schweiz seit 1972.....	89	Fig. 5-17: Mouvements différenciés enregistrés sur le compartiment rocheux de Mattsand qui montrent bien le décrochement brutal synchrone avec le maximum de précipitations des 14-15 octobre.	120
Fig. 4-4: Vergleich der Anteile der öffentlichen und der privaten Schäden für ausgewählte Unwetterereignisse.....	90	Fig. 6-1: Cumul des volumes stockés dans les retenues les aménagements de Blenio et de Maggia	129
Fig. 5-1: Karte der bekannten Geschiebetransportereignisse anlässlich des Starkniederschlags vom 13.–15. Oktober 2000	92	Fig. 6-2: Rétention dans les bassins d'accumulation des aménagements hydroélectriques valaisans	130
Fig. 5-2: Karte der bekannten Murgangereignisse			

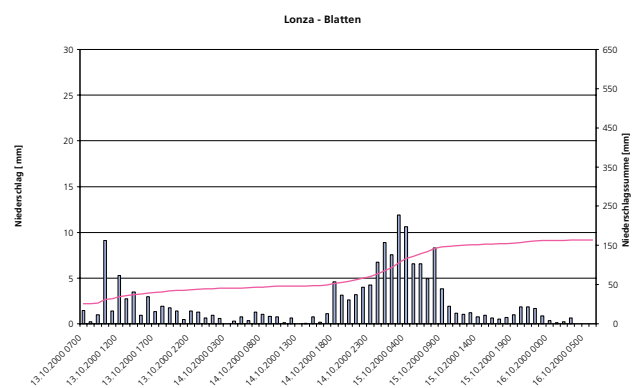
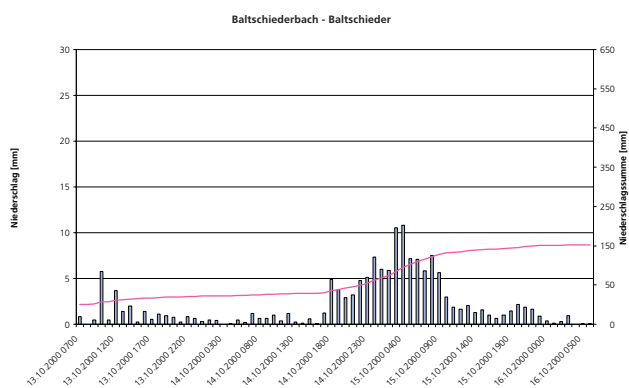
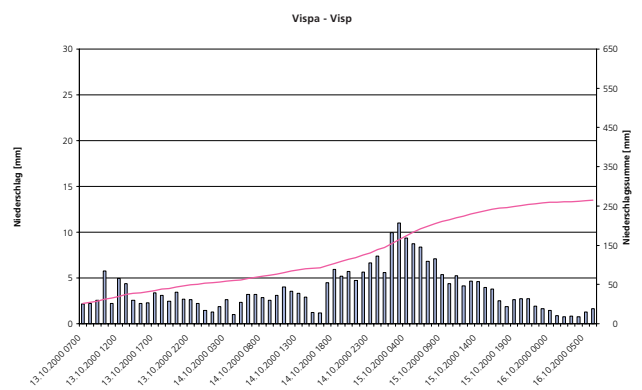
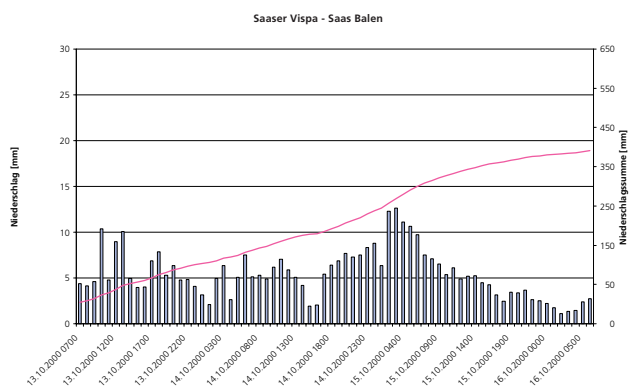
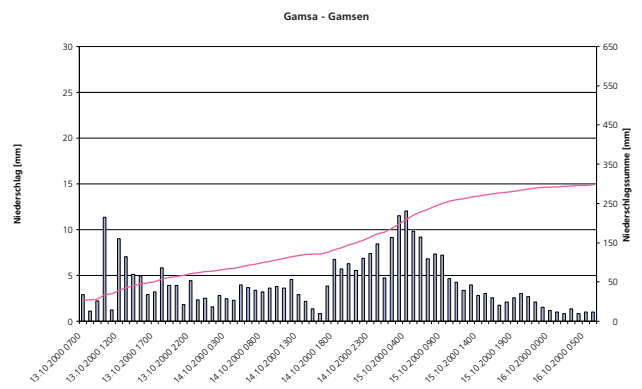
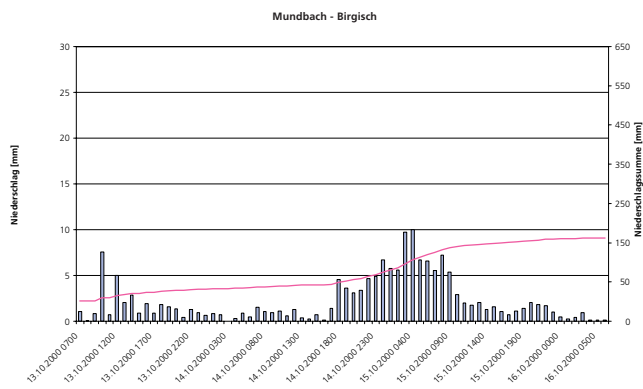
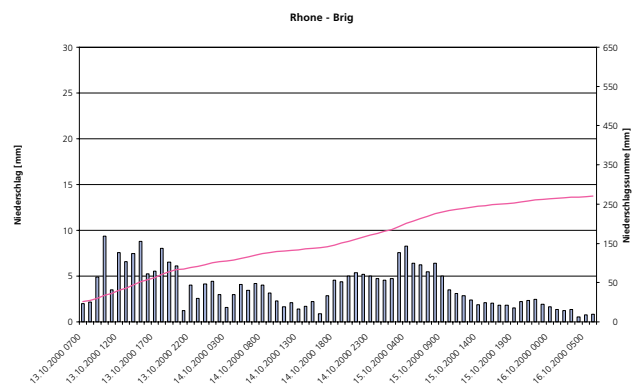
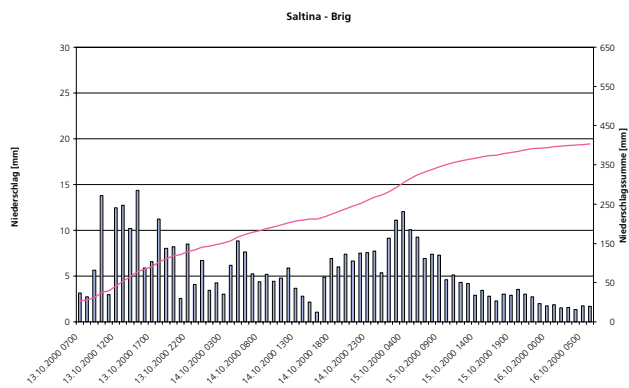
Tabellenverzeichnis

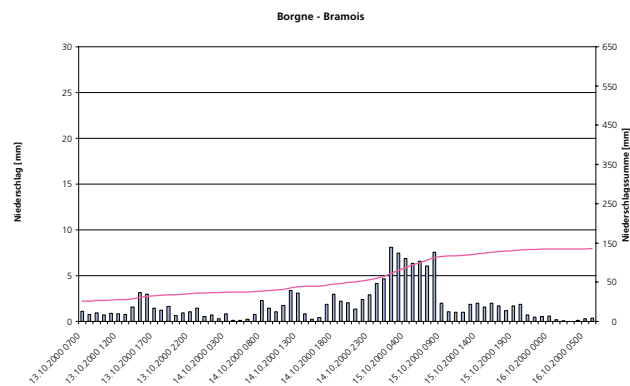
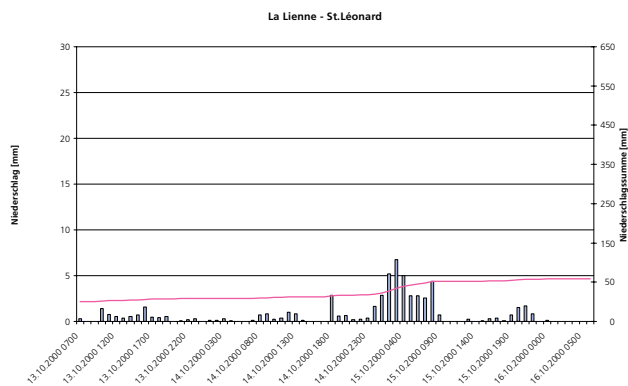
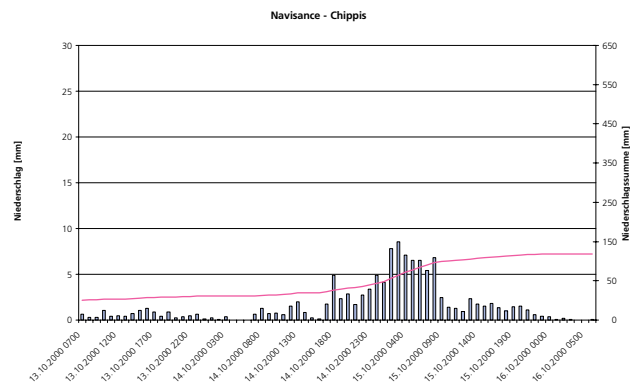
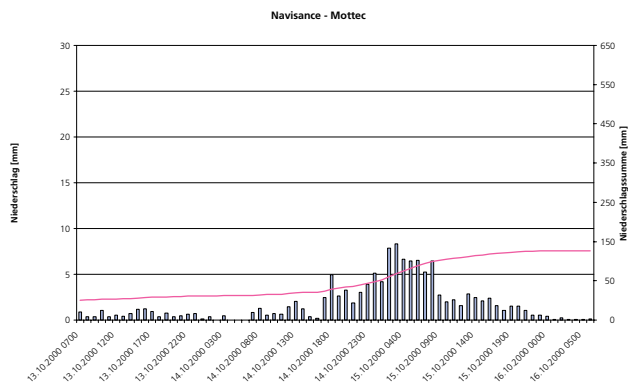
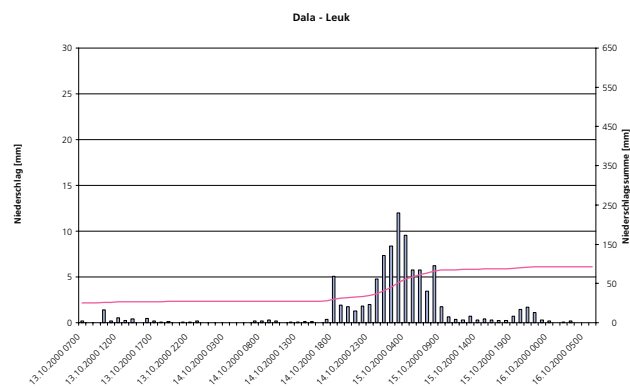
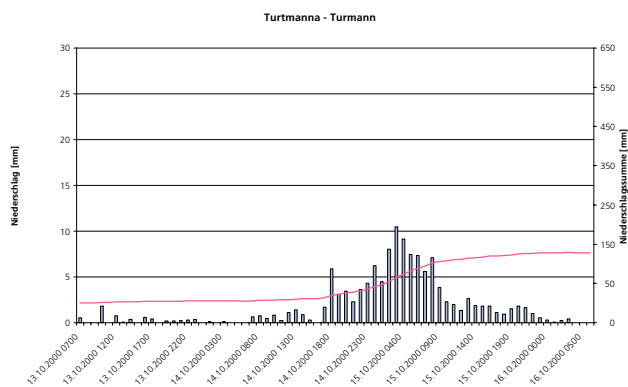
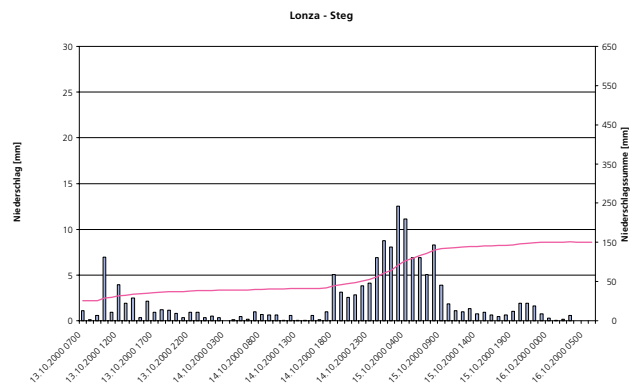
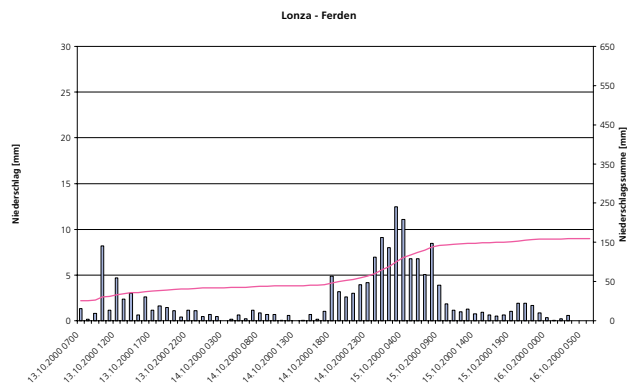
Tab. 2-1: Räumlich-zeitliche Verschiebung der Tagesniederschläge durch Drehung der Anströmungsrichtung vom 12. zum 14. Oktober 2000 und Zunahme der Niederschlagsmengen durch die Drehung sowie weitere atmosphärische Eigenschaften an den Stationen Camedo bis Simplon Dorf vom 10. bis 14.10.2000.....	27
Tab. 2-2: 1-, 2- und 5-Tagesniederschlags-Höchstwerte sowie deren Jährlichkeiten von ausgewählten Stationen der MeteoSchweiz im Wallis und dessen näheren Umgebung.....	37
Tab. 2-3: Maximale 3 Std., 24 Std. und 48 Std. Niederschläge, entsprechende PMP Werte sowie Anteile des Effektivniederschlags am PMP Wert für wichtige Einzugsgebiete im Wallis und in angrenzenden Gebieten.	40
Tab. 3-1: Ausgewählte Messstationen: Abflussspitzen Oktober 2000 im Vergleich mit früheren Ereignissen.	51
Tab. 3-2: Maximale Abflussspenden während des Ereignisses im Oktober 2000.....	53
Tab. 3-3: Maximale Abflussvolumen der Ereignisse 1993 und 2000 über 1 – 5 Tage	56
Tab. 3-4: Ausgewählte Messstationen: Spitzenwerte Hochwasser Oktober 2000 im Vergleich mit bisherigen Werten.....	56
Tab. 3-5: Caractéristiques de la crue d'octobre 2000 – comparaison avec les crues de 1987 et 1993	60
Tab. 3-6: Valeurs de débits observés et naturels lors des crues de 1987, 1993 et 2000.	62
Tab. 3-7: Statistische Masszahlen der Abfluss-Beobachtungsreihen von Sion und Porte du Scex.....	64
Tab. 3-8: Einfluss der Messperiode auf die berechnete Wiederkehrperiode am Beispiel der Saltina	64
Tab. 3-9: Wiederkehrperioden der Hochwasser vom Oktober 2000	65
Tab. 3-10: Wahrscheinlichkeiten des Hochwassers Oktober 2000 für die durch den Kraftwerksbetrieb beeinflussten Stationen.....	68
Tab. 3-11: Spitzenabflüsse in ausgewählten Seitengerinnen der Rhone während dem Hochwasserereignis vom 15./16. Oktober 2000	69
Tab. 3-12: Abfluss- und Niederschlagskennwerte der analysierte Einzugsgebiete.	71
Tab. 3-13: Abfluss- und Niederschlagskennwerte von ausgewählten gemessenen Einzugsgebieten für das Hochwasser vom September 1993.....	75
Tab. 3-14: Abfluss- und Niederschlagskennwerte von ausgewählten gemessenen Einzugsgebieten für das Hochwasser vom Oktober 2000 unter Einbezug einer Schneefallgrenze von 3000 m ü. M. bzw. von 2600 m ü. M.	76
Tab. 5-1: Extrait du tableau des caractéristiques des surfaces inondées	101
Tab. 5-2: Répartition des inondations par région ...	102
Tab. 5-3: Importance des différents processus	102
Tab. 5-4: Dangers d'inondation et mesures prises	103
Tab. 5-5: Mesures réalisées avant les intempéries	103
Tab. 5-6: Débits observés en comparaison avec les valeurs calculées pour la 3 ^{ème} correction du Rhône	103
Tab. 5-7: Zusammenstellung der Geschiebeverlagerungen während den Hochwasser vom Oktober 2000.....	107
Tab. 5-8: Übersicht über Murgangereignisse grösser als ca. 10 000 m ³ im Rhonetal und Murgangereignisse grösser als ca. 1000 m ³ in den Visper Tälern	114
Tab. 5-9: Übersicht über fluviale Hochwasser in Wildbächen (Gebirgsflüssen)	117
Tab. 6-1: Comparaison des degrés de remplissage et des réserves de capacité au début des crues 1987, 1993 et 2000.....	124
Tab. 6-2: Apports totaux et volumes stockés sur une durée de 3 jours en 1987, 1993 et 2000	125
Tab. 6-3: Débits maximum évacués par les organes de décharge.....	125
Tab. 6-4: Valeurs de débits de pointe effectifs et naturels lors des crues de 1987, 1993 et 2000.....	126
Tab. 6-5: Résumé de la crue 2000	127
Tab. 6-6: Degré de remplissage au début de la crue 2000	128
Tab. 6-7: Apports et volumes stockés au barrage de Ritom	128
Tab. 6-8: Volumes maximum stockés par les aménagements de Blenio et de Maggia	129
Tab. 6-9: Apports et volumes stockés au barrage de Contra.....	129

8 Anhang

8.1 Gebietsniederschläge







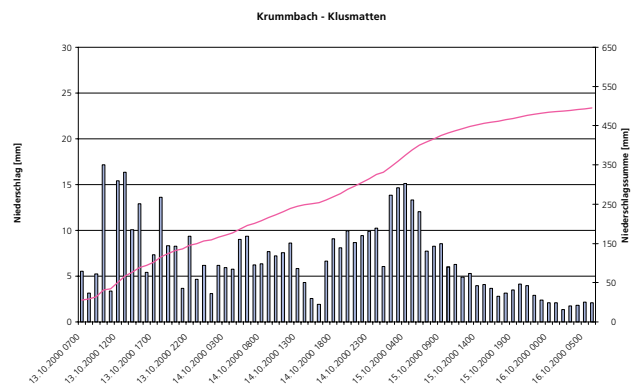
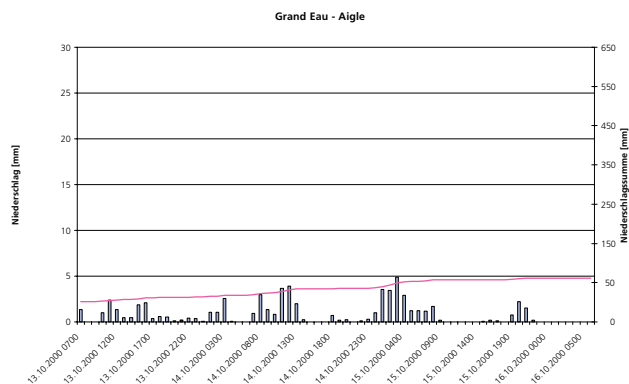
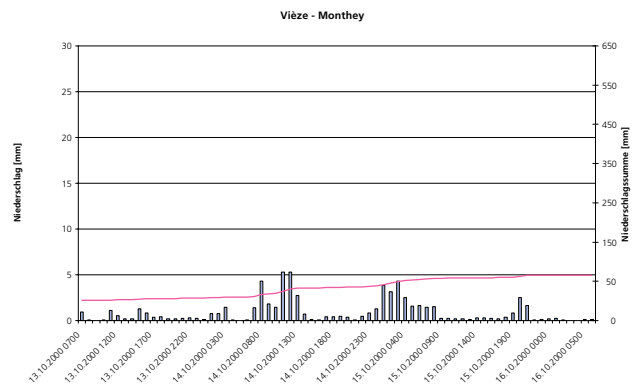
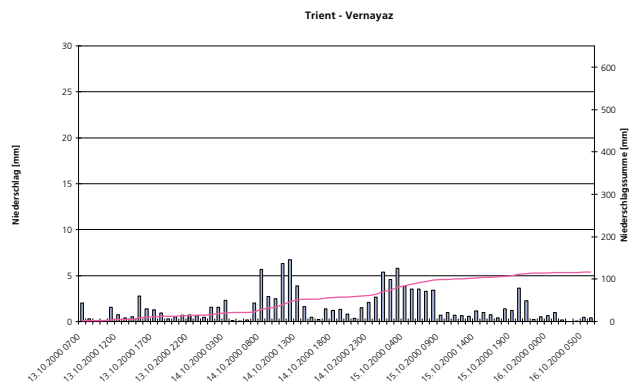
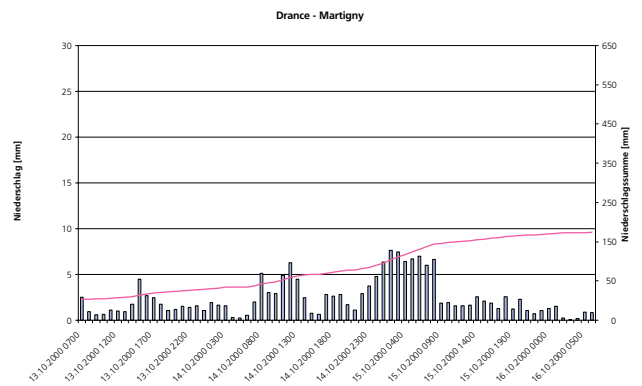
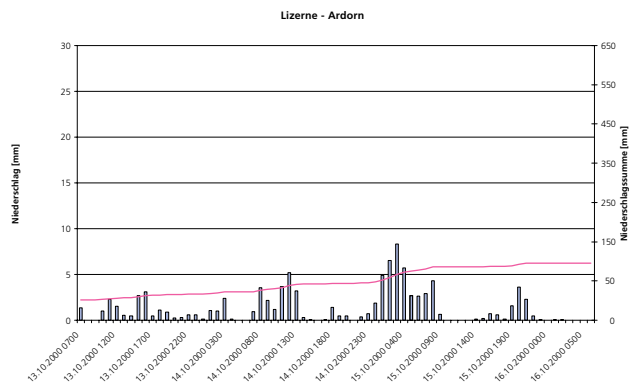
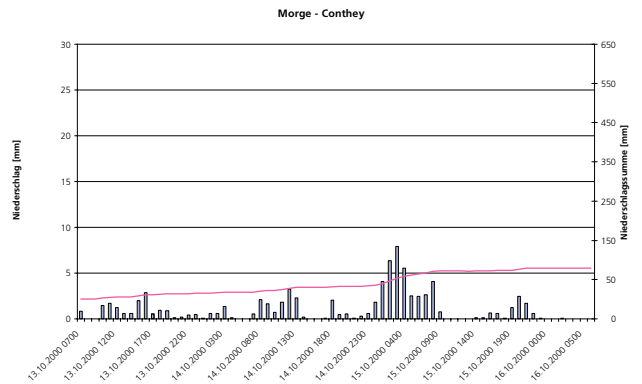
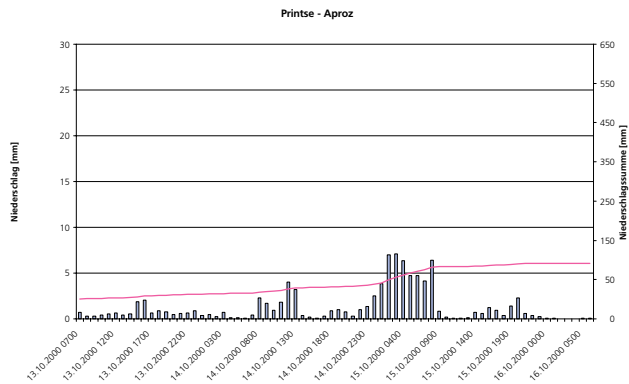
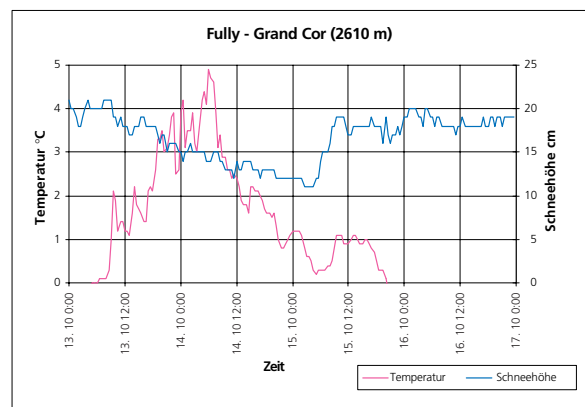
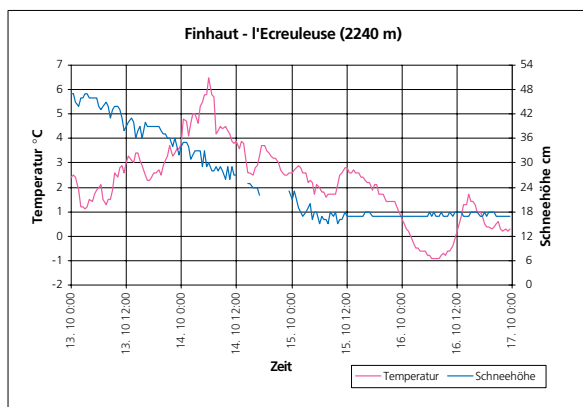
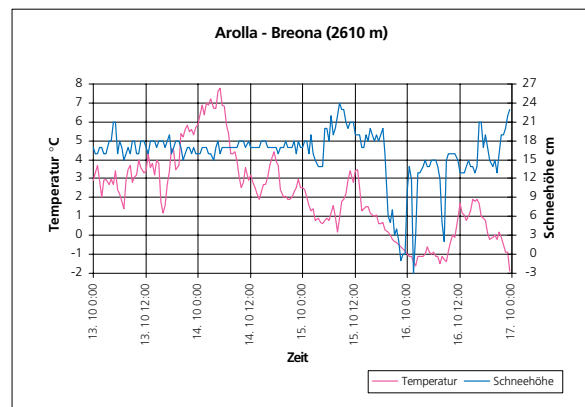
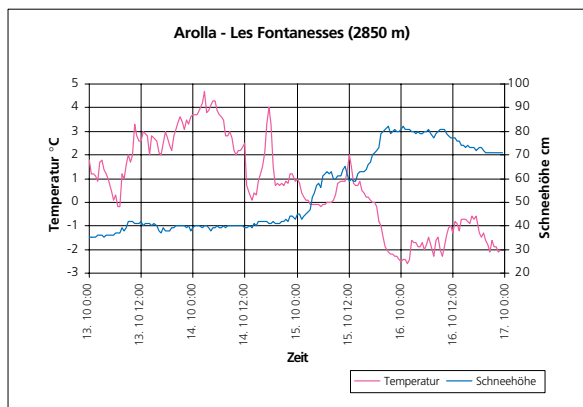
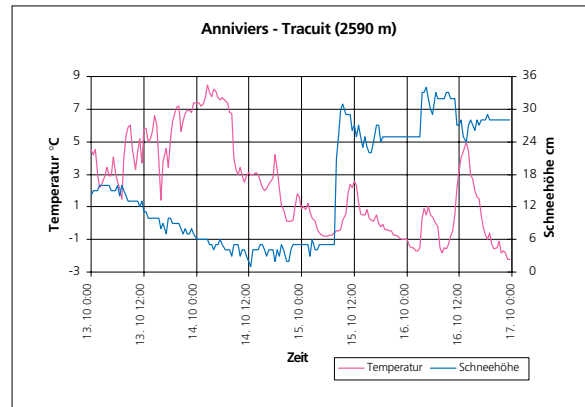
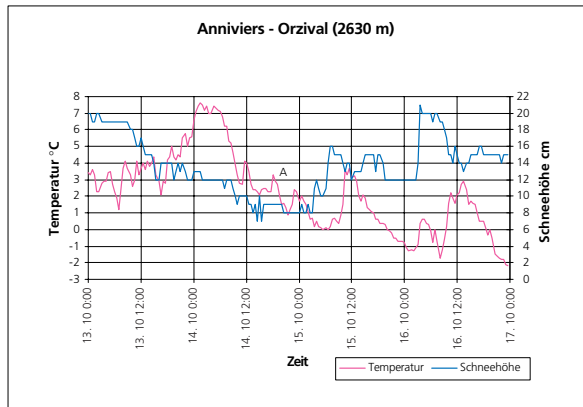
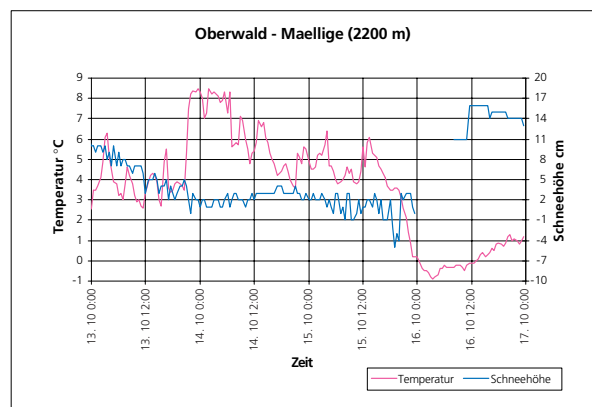
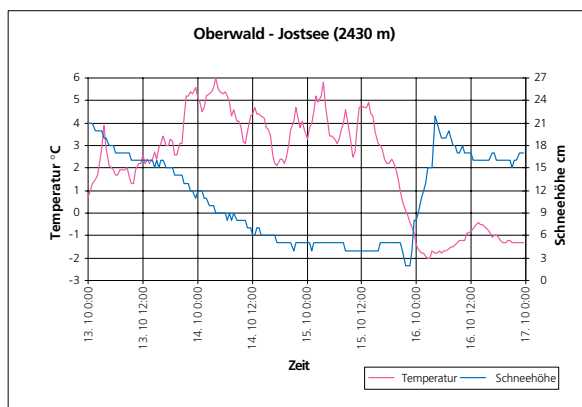
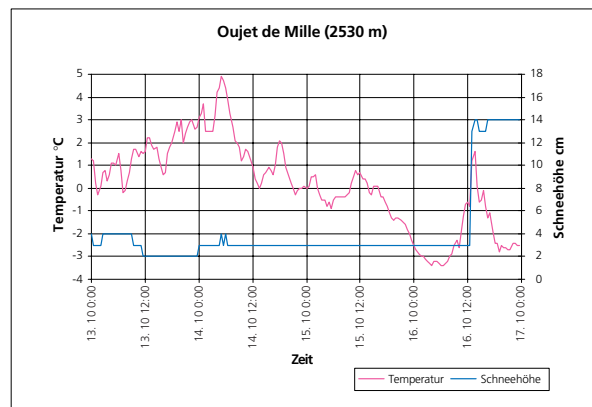
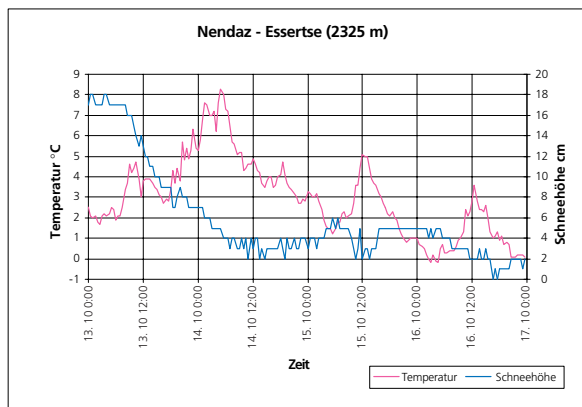
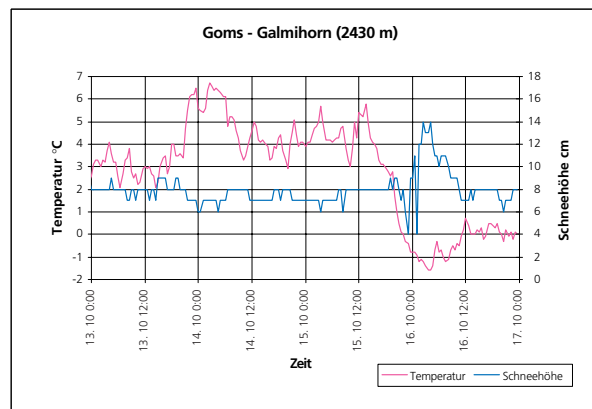
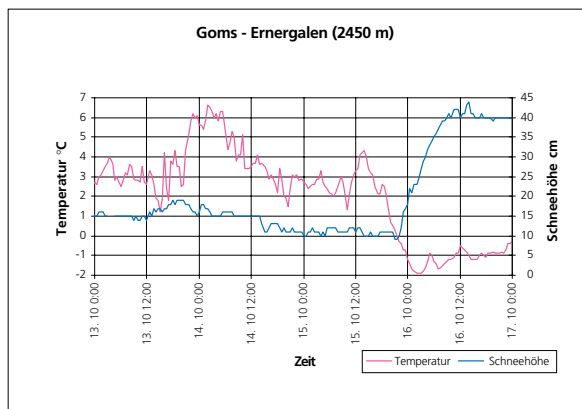
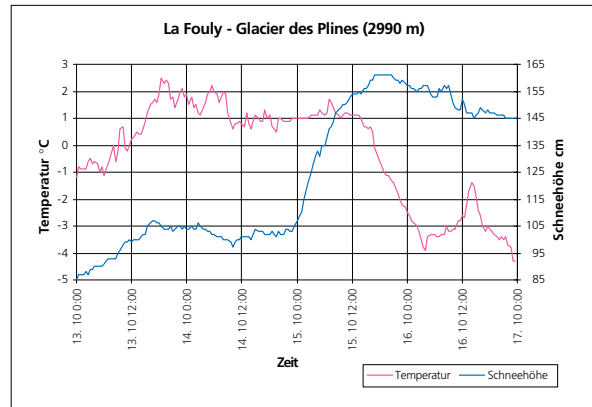
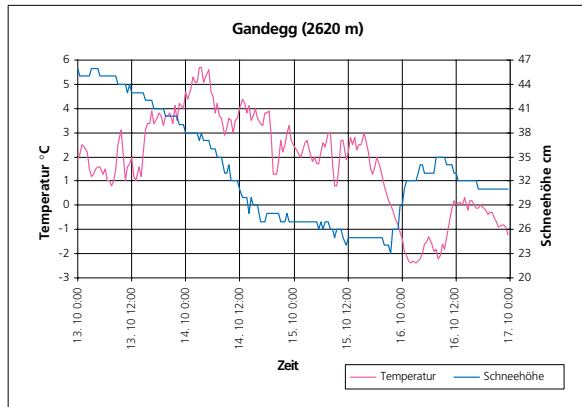


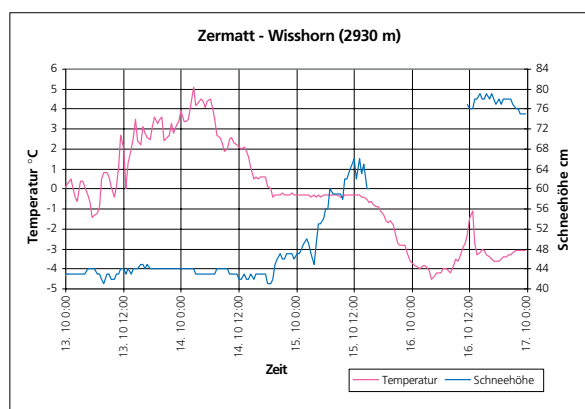
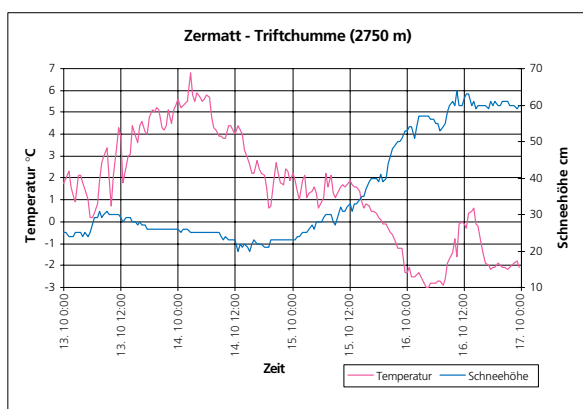
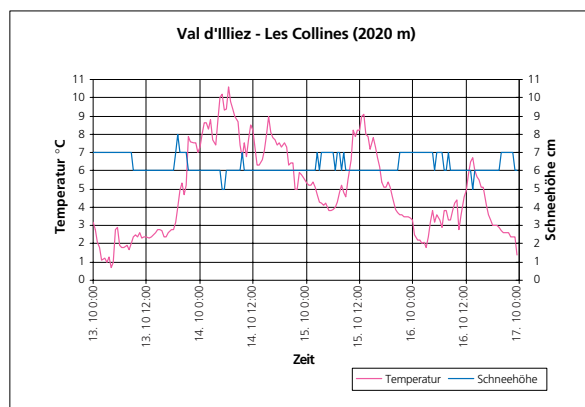
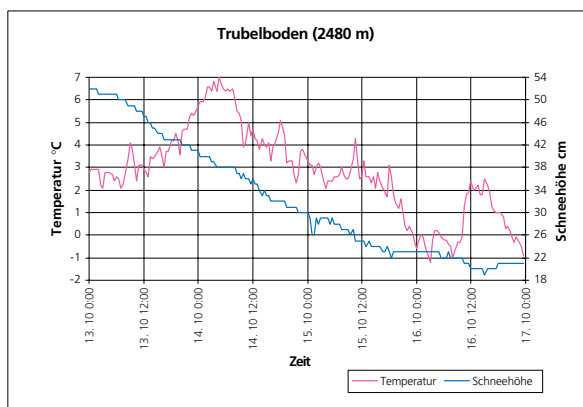
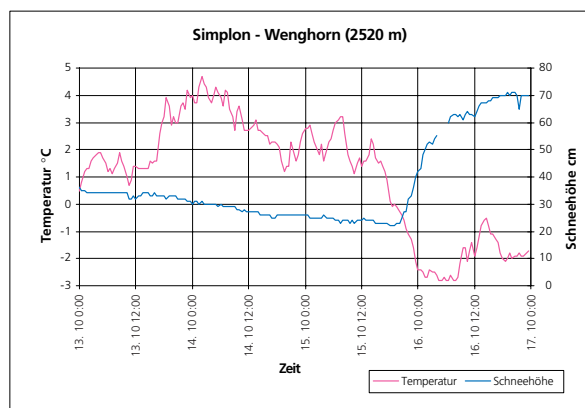
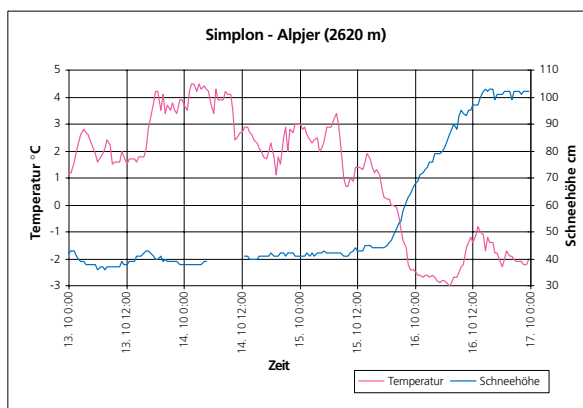
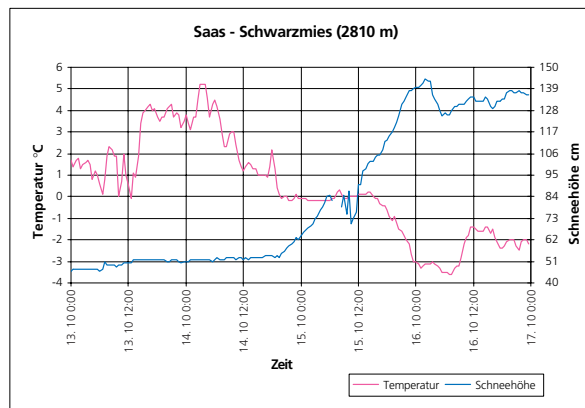
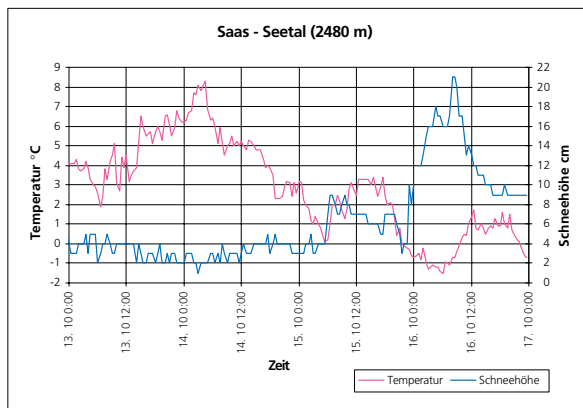


Fig. 8-1: Gebietsniederschläge in den vom Unwetter im Oktober 2000 betroffenen Gebieten.

8.2 Schneehöhen bei den IMIS-Stationen vom 13.–17. Oktober 2000







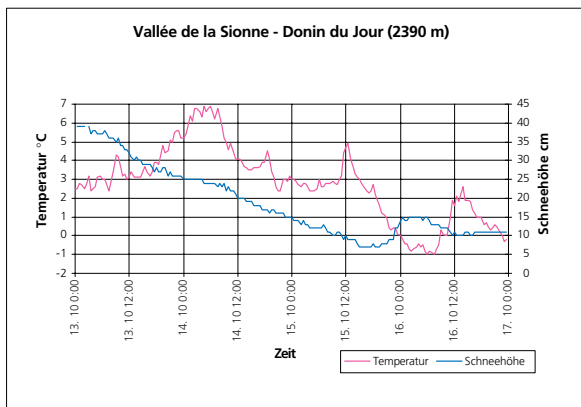


Fig. 8-2: Verlauf von Temperatur und Schneehöhe an IMIS-Stationen im Wallis (Quelle: SLF, Davos).

8.3 Tägliche Abflussvolumen im September 1993 und Oktober 2000

Tägliches Abflussvolumen in mm

	Lütschine – Gsteig	Drance de Bagnes – Le Chable	Weisse Lütschine – Gsteig	Grand Eau – Aigle	Rhone – Gletsch	Rhone – Reckingen	Kander – Hondrich	Goneri – Oberwald	Rhone – Porte du Scex	Rhone – Sion	Vispa – Visp	Drance – Martigny	Lonza – Blatten	Saltina – Brig	Massa – Blatten	Rhone – Brig	Rhone – Branson
September 1993																	
20.09.93	4.37	0.63	4.77	2.39	5.68	3.36	2.83	4.08	2.41	2.22	1.53	0.99	6.06	1.53	6.31	3.36	2.39
21.09.93	4.50	0.63	4.88	2.15	6.69	3.59	2.76	4.47	2.46	2.56	1.60	0.98	6.39	1.54	7.52	4.51	2.46
22.09.93	5.74	0.63	5.93	2.08	11.83	7.62	2.75	8.59	2.85	3.49	2.03	1.00	7.52	1.92	9.06	8.02	3.27
23.09.93	8.26	0.61	7.86	2.06	22.70	19.71	4.01	28.21	5.50	7.73	3.76	1.04	10.33	14.45	13.10	17.56	7.28
24.09.93	14.55	2.31	13.70	2.48	30.96	33.86	5.88	47.35	8.77	12.74	21.60	3.32	24.12	54.45	24.74	30.68	11.81
25.09.93	14.51	1.07	13.70	3.49	26.83	30.11	8.27	41.59	13.18	12.72	13.83	2.95	15.18	21.78	26.07	23.93	14.20
26.09.93	9.10	0.64	8.47	3.41	12.67	12.49	6.77	16.94	6.47	5.97	3.64	1.99	7.73	9.08	11.55	11.00	7.19
27.09.93	5.85	0.58	5.63	2.80	7.88	9.05	5.02	11.26	4.83	4.39	3.23	1.51	6.03	6.01	6.44	7.36	5.41
Oktober 2000																	
12.10.00	2.50	0.50	2.54	2.42	2.79	3.47	2.39	6.07	2.75	1.82	1.55	0.89	2.14	1.74	1.77	2.42	2.68
13.10.00	5.65	0.62	5.68	2.35	7.64	15.35	2.79	31.71	2.94	3.11	2.21	1.00	6.13	12.94	3.09	10.21	3.38
14.10.00	18.84	2.05	15.22	4.66	16.47	29.11	4.60	67.12	7.93	10.23	6.06	4.38	17.60	70.20	11.10	25.58	9.49
15.10.00	29.37	8.23	31.30	10.91	24.15	39.85	15.41	72.68	16.86	18.96	15.21	15.14	39.84	83.14	37.76	42.69	16.99
16.10.00	12.21	3.01	10.91	5.57	13.58	18.64	8.40	25.12	13.34	12.94	7.37	5.85	13.93	30.41	20.79	19.23	13.70
17.10.00	7.22	1.98	6.64	3.44	13.58	10.63	5.12	11.45	6.89	7.17	4.19	3.66	6.47	16.39	9.64	12.24	7.26
6-Tages- summe	75.79	16.39	72.28	29.36	78.20	117.04	38.72	214.14	50.72	54.24	36.59	30.92	86.11	214.81	84.14	112.36	53.49

Tab. 8-1: Tägliche Abflussvolumen während der Ereignisse September 1993 und Oktober 2000.

8.4 Zones inondées lors des crues d'octobre 2000 →

No d'identification	Surface (m²)	Surface (ha)	Nom du cours d'eau (-)	Processus	Processus – détail	Détail du processus	Cause inond. (0 = Rhône; 1 = canal ou autres)	Surface inond. due aux canaux (ha)
1	324569	32	canal Sion-Riddes	rupture digue	Rupture de digue canal	Rupture de digue du canal drainant la surface amont d'inondation Rhône	1	32
2	986	0	canal Sion-Riddes	rupture digue	Rupture de digue canal	Rupture de digue du canal drainant la surface amont d'inondation Rhône	1	0
3	2419176	242	Rhône	rupture digue	Rupture digue Rhône	Rupture digue Rhône	1	0
4	1437638	144	canal Leytron-Fully	capacité	Débordement du canal	Débordement du canal dû à surcharge de débit provenant de la rupture de digue du canal amont	1	144
5	69653	7	Rhône	refoulement	Débordement canal (cour. remous) puis débord. Rhône	Refoulement canal puis débordement Rhône	1	0
6	26509	3	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône	0	3
7	717983	72	Salanfe	capacité	Débordement de la Salanfe	Débord de la Salanfe à cause pt bas digue et courbe de remous Rhône	1	0
8	81092	8	Salanfe	refoulement	Débordement de la Salanfe	Débord de la Salanfe à cause de remous Rhône	1	0
9	2934	0	Salanfe	refoulement	Débordement de la Salanfe	Débord de la Salanfe à cause de remous Rhône	1	0
10	69001	7	Salanfe	refoulement	Débordement de la Salanfe	Débord de la Salanfe: courbe de remous Rhône	1	0
11	103557	10	Salanfe (affluent de la)	refoulement	Débordement affluent Salanfe par courbe	Débord de la Salanfe: courbe de remous Rhône	1	0
12	73506	7	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône à cause de digue endommagée	0	7
13	7441	1	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône	0	1
14	23870	2	Rhône	refoulement	Refoulement des canalisations	Refoulement des canalisations dans la ville de St-Maurice (conduite de pompage)	1	0
15	2433	0	Rhône	refoulement	Refoulement des canalisations	Refoulement des canalisations dans la ville de St-Maurice	1	0
16	9503	1	Rhône	refoulement	Refoulement des canalisations	Refoulement des canalisations dans la ville de St-Maurice	1	0
17	28294	3	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône	0	3
18	375325	38	Jolbach puis Galdi canal	capacité	Débordement Jolbach puis Galdi canal	Débord Jolbach puis Galdi canal; Manque de capacité; Pas d'effet de remous.	1	0
19	71662	7	canal Milibach	capacité	Débordement canal	Débordement canal Milibach	1	0
20	32578	3	Grossgrundkanal	capacité	Débordement canal	Débordement Grossgrundkanal	1	0
21	6134	1	Grossgrundkanal	capacité	Débordement canal	Débordement Grossgrundkanal	1	0
22	15667	2	Grossgrundkanal	capacité	Débordement canal	Débordement Grossgrundkanal	1	0
23	30209	3	Kanal Eschlerwas	refoulement	Débordement canal	Débordement Schnydriugu Kanal Eschlerwas; courbe de remous due au Rhône	1	0
24	3824	0	Torrent Bietschbar	capacité	Débordement torrent Bietschbar	Débordement torrent Bietschbar	1	0
25	202598	20	Galdi canal	refoulement	Débordement Galdi canal	Débordement Galdi canal à cause de courbe de remous due au Rhône	1	0
26	977	0	Lonza + Galdi	refoulement	Débordement Galdi	courbe de remous due au Rhône	1	0
27	3605	0	Lonza + Galdi	refoulement	Débordement Galdi	courbe de remous due au Rhône	1	0
28	499229	50	Galdi canal	refoulement	Débordement Galdi	Débordement Galdi canal à cause de courbe de remous due au Rhône	1	0
29	107532	11	canal X (à côté usine alum. Steg)	capacité	Débordement d'un canal X ?	Débordement d'un canal X ?; Pas un débordement du Rhône	1	0
30	64112	6	Kanal Eschlerwas	refoulement	Débordement Schnydriugu Kanal Eschlerwas	Débordement Schnydriugu Kanal Eschlerwas; Courbe de remous due au Rhône	1	0
31	13246	1	Kanal Eschlerwas	refoulement	Débordement Schnydriugu Kanal Eschlerwas	Débordement Schnydriugu Kanal Eschlerwas; Courbe de remous due au Rhône	1	0
32	174151	17	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône, au minimum en quatre points bas	0	17
33	466574	47	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône en trois points bas + apport zone amont par canal ?	0	47
34	730517	73	Rhône	capacité	Débordement Rhône	Débordement Rhône sur 200m de long	0	73
35	251456	25	canal du Meretschibach	refoulement	Débordement du canal du Meretschibach	Débordement du canal du Meretschibach courbe de remous due au Rhône	1	0
36	486194	49	Rhône	rupture digue	Rupture digue Rhône	Rupture digue Rhône Zone de Finges	0	49
37	32730	3	Tannenbach	capacité – charriage	Débordement du Tannenbach	Débordement du Tannenbach Provient d'une lave torrentielle	1	0
38	29561	3	canal Putjergraben	capacité – charriage	Débordement du Tannenbach	Débordement du Tannenbach Provient d'une lave torrentielle	1	0
39	18294	2	canal Putjergraben	embâcle	Débordement canal Putjergraben	Débordement canal Putjergraben formation d'embâcle au pont CFF	1	0
40	221040	22	canal Putjergraben	embâcle	Débordement canal Putjergraben	Débordement canal Putjergraben formation d'embâcle au pont CFF	1	0
41	31911	3	canal du Meretschibach	refoulement	Débordement du canal du Meretschibach	Débordement du canal du Meretschibach	1	0
42	2097	0	canal du Meretschibach	capacité	Débordement du canal du Meretschibach	Débordement du canal du Meretschibach	1	0
43	196049	20	Grosser Graben	refoulement	Débordement Grosser Graben	Débordement Grosser Graben Courbe de remous du Rhône	1	0
44	21087	2	Grosser Graben	refoulement	Débordement Grosser Graben	Débordement Grosser Graben Courbe de remous du Rhône	1	0
45	116897	12	Finnubach	capacité	Débordement Grosser Graben	Débordement Grosser Graben Courbe de remous du Rhône	1	0
46	226205	23	Saasensvipa	hors plaine	Débordement Finnubach	Débordement Finnubach	1	0
47	475409	48	Vispa	hors plaine		Hors plaine du Rhône	1	0
48	69292	7	Rhône	percolation digue	Débordement Rhône	Débordement Rhône percolation digue	1	0
49	368022	37	Gamsa	capacité	Débordement Gamsa ?	Débordement Gamsa ? A l'emboucure Rhône et transit vers aval	1	0
50	138291	14	Matersvipa	hors plaine		Hors plaine du Rhône	1	0
51	140654	14	Matersvipa	hors plaine		Hors plaine du Rhône	1	0
52	102923	10	canal de Wissiggen	refoulement	Débordement canal de Wissiggen	Débordement canal de Wissiggen courbe de remous du Rhône	1	0
53	22104	2	canal de Wissiggen	refoulement	Débordement canal de Wissiggen	Débordement canal de Wissiggen courbe de remous du Rhône	1	0
54	75984	8	canal de Wissiggen	refoulement	Débordement canal de Wissiggen	Débordement canal de Wissiggen Et débordement Rhône au km 64.475	1	0
55	38867	4	Printse	refoulement	Débordement de la Printse	Débordement de la Printse courbe de remous du Rhône	1	0
Somme	11261152	1126					45	677
								1126

Tab. 8-2: Tabelle récapitulative des zones inondées lors des crues d'octobre 2000 en Valais (voir aussi Fig. 5-5).

Fallbeispiele

1	Rutschungsereignisse im Gebiet Goms/Binntal	151
2	Grosses Wasser und Dovéria	162
3	L'ovaille de Gondo	167
4	Saltina (Brig-Glis)	170
5	Gamsa	180
6	Dorfbach Mörel	185
7	Mattmark	190
8	Beiterbach (Neubrück)	193
9	Vispa im Bereich Sefinot-Ackersand	199
10	Baltschieder	206
11	Temporäre Schutzmassnahmen während des Hochwassers in der Lonza	211
12	Rhône à Chippis	218
13	Rhône à Bieudron	223
14	Salanfe-Rhône (Evionnaz)	231
15	Drance (Sembrancher)	238
16	Le Bossay (Commune de Fully)	242
17	Torrent de St. Jean (Commune de Martigny-Combe)	246

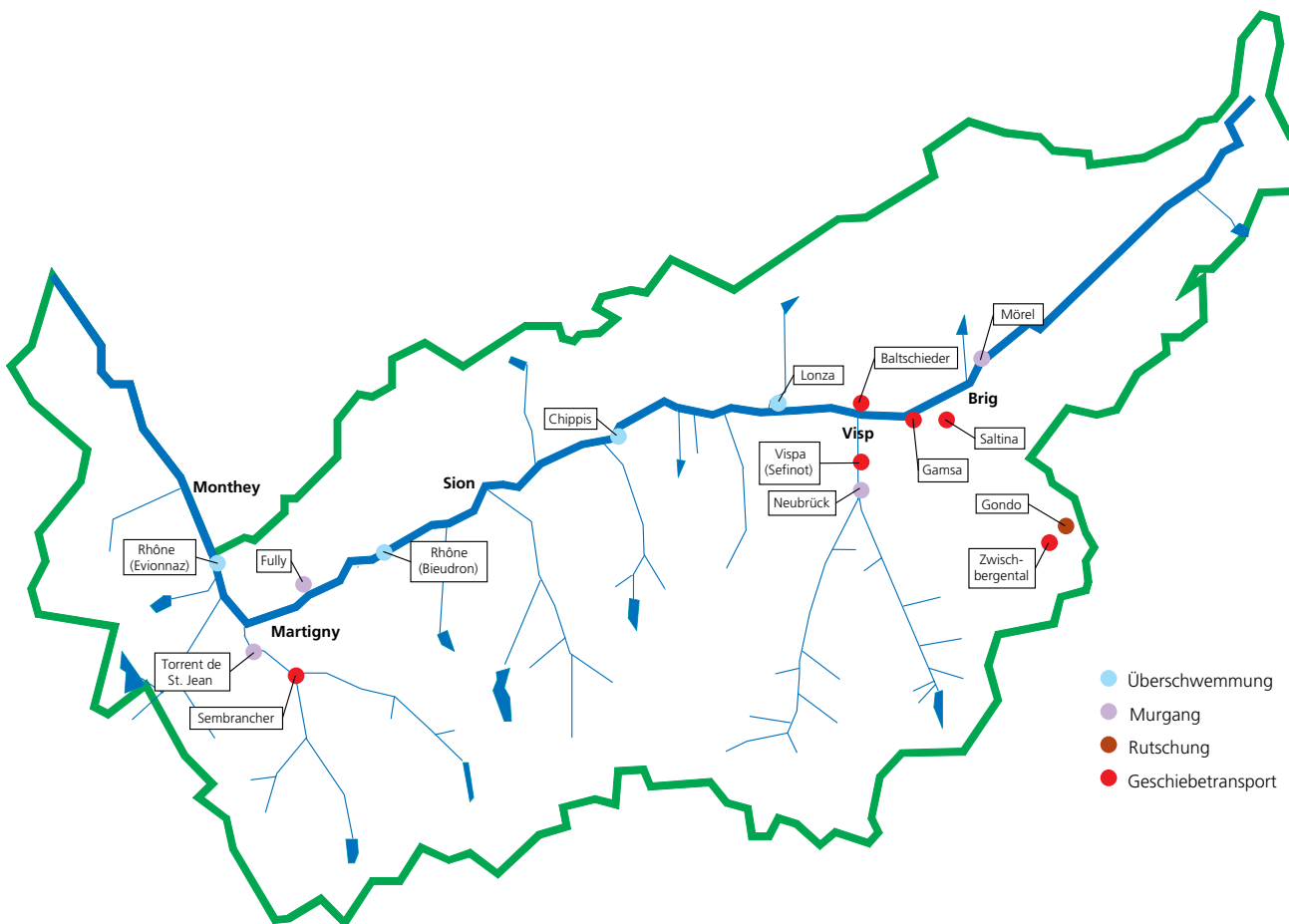


Fig. 1: Fallbeispiele zu kritischen Stellen und Hauptschadenplätze

1 Rutschungsereignisse im Gebiet Goms/Binntal

Jean-Daniel Rouiller, Charles-Louis Joris

1.1 Allgemeines

Verglichen mit den schweizweit bekannten Ereignissen in Gondo, Neubrück, Baltschieder und Mörel vom Oktober 2000 sind die unwetterbedingten Schadensereignisse im übrigen Oberwallis von der grossen Öffentlichkeit gar nicht oder nur am Rande wahrgenommen worden. Die extreme Wetterlage verursachte indessen nicht nur in den oben namentlich genannten Orten Erdbewegungen; mancherorts ist es nur dem Zufall zu verdanken, dass diese nicht zu Schäden katastrophalen Ausmasses führten. Die meisten dieser wenig beachteten Schadensereignisse ereigneten sich in den Gebieten Untergoms/Binntal sowie in den Vispertälern.

In diesem Fallbeispiel werden die Ereignisse im Gebiet Goms/Binntal vorab aus geologischer respektive hydrogeologischer Sicht dargelegt. Allerdings kann nicht jeder Rutsch bis ins Detail genau dargelegt werden. Nur die auffälligsten Ereignisse werden genauer beschrieben.

1.2 Meteorologie

Im Frühherbst 2000 wurde das Wetter massgeblich durch eine Serie von Tiefdruckgebieten über dem westlichen Mittelmeer geprägt. Diese Wetterlage ist nicht ungewöhnlich. Meistens regnen die anbrandenden Wolken auf der Alpensüdseite ab, so dass das Rhonetal und dessen Seitentäler meist geschont werden. Im September/Oktober 2000 war die Wolkenfront so hoch, dass deren Niederschläge sich bekanntlich bis in die Berner Alpen verheerend ausbreiteten. Im Goms war vor allem das unmittelbar nördlich der Wasserscheide befindliche Binntal betroffen.

Die meteorologischen Daten der folgenden Tabelle im Gebiet Goms/Binntal zeigen, dass in der interessierenden Zeit das Binntal eindeutig die meisten Niederschläge aufwies und nahezu die Werte des Simplongebietes erreichte. Die andern Gebiete wiesen deutlich geringere Niederschläge auf.

Datum	Goms			z. Vergleich
	Oberwald (mm/d)	Fieschertal (mm/d)	Binn (mm/d)	Simplon Dorf (mm/d)
25.09.00	0	0	0	0
26.09.00	0	0	0	0
27.09.00	0	0	0	0
28.09.00	31	0.8	7.2	1.6
29.09.00	33	26	88	18
30.09.00	71	86	100	164
1.10.00	35	2.7	4.7	10
2.10.00	12	18	13	6.7
3.10.00	0	0	0	0
4.10.00	0	4.2	0	0
5.10.00	3.4	0	0.7	0
6.10.00	0	0	3.4	0
7.10.00	0	0	0	0
8.10.00	10	4.6	2.4	0
9.10.00	11	1	0	5.2
10.10.00	11	1.7	1.2	10
11.10.00	25	9.1	16	28
12.10.00	30	8.9	28	47
13.10.00	49	125	226	247
14.10.00	58	90	179	248
15.10.00	49	43	99	108
16.10.00	28	2.6	18	16
17.10.00	1.1	0.7	0.9	0

Tab. 1: Niederschläge zwischen dem 25.9.–17.10.2000 (mm)

Wie aus der Tabelle leicht ersehen werden kann, gingen im Binntal zwischen dem 11. bis 15. Oktober gut 80% der Niederschlagsmengen nieder, die im Simplon gemessen wurden. Im nur 8 km nördlich von Binn gelegenen Fieschertal waren es lediglich noch 40%. Wie aus den folgenden Ausführungen hervorgehen wird, sind es denn auch das Binntal und das nahe Saflischthal, welches von den hier besprochenen Gebieten am meisten betroffen wurden.

1.3 Schadensgebiete Gemeinde Grengiols

Im Saflischthal wurden an der linken Talflanke zahlreiche Rutschungen festgestellt, die z.T. bereits 1999 aktiv waren.

Die übrigen Schadensgebiete der Gemeinde Grengiols befinden sich an der linken Talflanke des Rhonetals. Hier wurden vorab alte Instabilitäten remobilisiert. Neben den in der Folge beschriebenen massiveren Schadens- respektive Risikogebieten Firsitte und Wyss Ture gingen in diesem Bereich noch einige weitere kleinere und grössere Rutschungen vonstatten, die allerdings von geringerem Interesse sind. Von Interesse

ist, dass die meisten dieser Rutschungen – wie im Saflischtal – in einem mehr oder weniger engen Zusammenhang mit den Triasschuppen stehen.

1.3.1 Saflischtal

Koordinaten: 653'- - - - 656'- - - /133'- - -
Höhe: 1600–2400 m ü. M.

1.3.1.1 Geologisches Umfeld

Das Anstehende der linken Talflanke des Saflischtals wird zum grössten Teil von 70–90° in SSE (und NNW) Richtung einfallenden Kalkglimmerschieferabfolgen der Rosswaldserie und der Fäldbachzone aufgebaut. Zwischen diesen Abfolgen ist eine bis zu 20 m mächtige, vorwiegend dolomitische und sulfatische, untergeordnet sericitphyllitische Triasschuppe eingekeilt. Bedingt durch das sehr steile Einfallen der Abfolgen ist der Fels bis in 10–40 m Tiefe einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Hakenwurf unterworfen. Das Quartär im Gebiet besteht zur Hauptsache aus feinanteilreicher Moräne, untergeordnet aus Gehängeschutt, Eluvialböden und Wildbachschutt-ablagerungen.

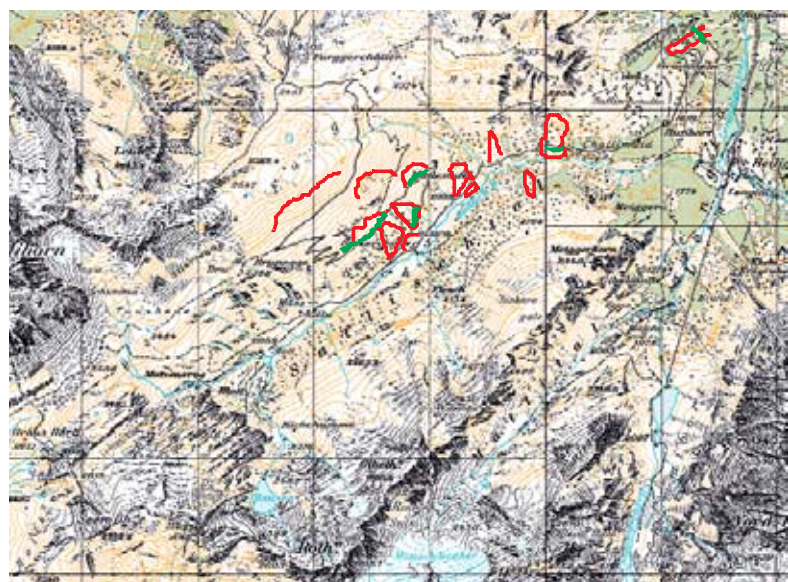
1.3.1.2 Ursachen der Rutschungen

Bereits anno 1999 – nach einer recht abrupten Schneeschmelze – wurde festgestellt, dass die allgemeine Rutschaktivität in engem Zusammenhang mit dem auf circa 2100 m durchziehenden, zwischen wenig wasser-durchlässigen Bündnerschiefern eingekeilten, stark Wasser führenden, anstehenden Triasband steht, welches bei Starkniederschlägen jeweils überläuft und den darunter befindlichen Hang stark mit Wasser durchtränkt. Allerdings muss auf Grund der enormen Niederschläge vom Oktober 2000, welche wohl einer Ereigniswahrscheinlichkeit ≥ 100 Jahre entsprechen, auch davon ausgehen, dass im Oktober 2000 Rutschungen und Murgänge auch ohne Präsenz des Triasbandes erfolgt wären, allerdings in einem anderen Ausmass, was hier nicht zur Diskussion steht.

1.3.1.3 Schadensumfang

Von den allgemeinen Flurschäden in Form von übermürten Alpweiden abgesehen, wurden vor allem 1,6 km der insgesamt 8 km langen Meliorationsstrasse von Muren und Rutschungen erfasst und weitgehend unpassierbar gemacht. Zudem wurde der kleine Speichersee unterhalb des Maiensässes «Meirisch Stafel» zu $\frac{3}{4}$ mit Bachschutt verfüllt. Die Schäden an der Strasse waren unter anderem auch

durch die vorhandenen Rohrdurchlässe verursacht worden, die vor allem dort, wo sie nur dem Durchlass von temporär anfallenden Wässern dienten. Diese Durchlässe sind – sobald ihre Kapazität überschritten wird – nicht nur nicht von Nutzen sondern erweisen sich eindeutig als Schadensursache. In der erfolgten Sanierung wurde dieser Tatsache bereits Rechnung getragen, indem die Rohrdurchlässe durch zweckmässige Furten ersetzt wurden.



Rezente Rutschhänge; z.T. reaktiviert
Betroffene Meliorationsstrassenabschnitte

Fig. 1: Situationsplan 1: 50 000 Schadensgebiet Saflischtal

1.3.2 Rutschungen Firsitt

Koordinaten: 653'5- - /136'0- -
Höhe: 1400–1700 m ü. M.

Neben einigen anderen Gebieten der Gemeinde Grensols wurde auch das seit langem bekannte Rutschgebiet unterhalb der Alpe «Firsitte» durch die Unwetter im Oktober 2000 in Mitleidenschaft gezogen. Am 18. Oktober wurde das Gebiet ein erstes Mal begangen. Die Forststrasse war auf insgesamt fünf Abschnitten entweder weggerutscht oder – vor allem – von Rutschungen verschüttet worden. Der erste Augenschein im Oktober reichte für eine umfassender Beurteilung der Rutschungen und deren Zusammenhänge leider nicht aus. Im Juli 2001 wurde das Gebiet noch einmal begangen und im Massstab 1:10 000 kartiert.

1.3.2.1 Geologisches Umfeld

Das Anstehende im Gebiet besteht zur Hauptsache aus dunkelgrauen, rot anwitternden penninischen Bündnerschiefern (Rosswaldserie) und den diesen sehr stark ähnelnden dunkler gefärbten gotthard-massivischen Sedimenten der Zone von Termen. Zwischen diesen beiden sind die – vor allem bei den nahen «Wysse Türe», aber auch andernorts – augenfällig hervortretenden triadischen Abfolgen als Deckentrenner eingeschuppt. Sofern keine quartären Umlagerungen erfolgten, fallen diese Einheiten variabel mit 50–80° in SSE Richtung ein.

Bei den Geländeterrassen von Grengiols handelt es sich um eiszeitlich geformte Treppen, die meist von einer relativ geringmächtigen Moräne, von feinkörnigen periglazialen Sedimenten und postglazialen Gehänge- und Bachschutt überdeckt sind.

Im uns enger interessierenden Bereich besteht der unmittelbar zu beobachtende Untergrund vorab aus Hakenwurf unterworfenen, z.T. tiefergründig versackten Einheiten der unter Kap. 1.3.1 genannten tektonischen Einheiten. Der Fels, wo er einigermaßen beobachtbar ist, weist eine starke Auflockerung und Verwitterung auf, die bis zur Ausbildung eigentlicher Eluvialböden gehen kann. Spezifisch für die triadischen Abfolgen ist zudem deren sehr hohe Grad an tiefgründiger Verwitterung der Sulfate und Karbonate (Dolomit und Gips), die bis zur eigentlichen «Verpulverung» des ursprünglich festen Fels führt, sowie die extreme talkartige Aufweichung der fast nur aus reinem Glimmer bestehenden Quartarschiefer im Triasobersten.

Diese Felsqualität kann vorab entlang der Forststrasse oder dann in den mehr oder weniger rezenten Rutschabrissskanten beobachtet werden.

Die neben den Eluvialböden noch auftretende quartäre Lockergesteinsbedeckung (Gehängeschutt), dürfte selten mehr als einen Meter Mächtigkeit aufweisen.

Moräne ist – ausser in den hier nicht interessierenden Terrassen von Grengiols – keine beobachtet worden.

1.3.2.2 Bewegungsmorphologie

Dass es sich – im näheren und weiteren Gebiet von Grengiols – bei der ganzen linken Talflanke um ein seit langer Zeit bewegungsaktives Gebiet handelt, beweist nur schon der alte Sackungs- und Rutschungskessel des «Rufenewalds» unterhalb «Gart». Bei diesem Kessel handelt es sich nur um eines der auffälligeren Phänomene. Im von weitem nicht ohne weiteres als solchen erkennbaren recht weitläufigen Hang unterhalb «Firsitte» können mehrere Phänomene beobachtet werden, die sich als seit alters her bewegungsaktiv ausweisen.

Nackentälchen

Bei den vorhandenen Nackentälchen – im Dialekt «Twäre» genannt – handelt es sich um mehr oder weniger parallel zur Hangausrichtung ausgerichtete, natürlich entstandene, grabenartige Geländesprünge von 1–5 m Tiefe. Nackentälchen sind typische Kennzeichen für langanhaltende, jedoch langsam und kontinuierlich verlaufende Sackungs- und/oder Kriechbewegungen eines Hanges. Nackentälchen sind auf Grund ihrer Morphologie bevorzugte Einsickerungsbereiche für bei Regen oder Schneeschmelze oberflächlich zufließendes Meteorwasser.

Kriechhang

Bei Kriechhängen handelt es sich gleichsam um langsam verlaufende Rutschungen. Verglichen mit den raschen Rutschungen führen Kriechhänge nicht zu mehr oder weniger katastrophalen Zerstörungen von Einrichtungen oder Forstbesatz. Im Boden sind Kriechhänge vor allem an den typischen Geländewülsten zu erkennen. Diese Geländewülste sind – ausser in Lichtungen – im dicht bewaldeten Gebiet der «Firsitte» nur schwer zu erkennen und werden oft von den Wülsten der Wurzelwerke kaschiert. Allerdings verrät sich der Kriechhang dann durch die entweder in einem regelmässigen Bogen empor wachsenden Nadelbäume (nicht zu verwechseln mit dem schneedruckbedingten Sichelwachstum).

Kriechhänge sind sehr empfindlich auf Anböschungen jedwelcher Art. Selbst durch nur 1–2 m tiefe Anböschungen (etwa durch Strassenbau) kann ein Kriechhang in gefährliche rasche Rutschbewegungen übergehen.

Im interessierenden Untersuchungsgebiet befindet sich gemäss unserer ersten Kartierungen vor allem der Hang unterhalb der Triasaufschlüsse in kriechender Bewegung. Höher oben sind die Kriechphänomene wesentlich weniger markant.

Rutschungen

Oftmals handelt es sich bei den rezenten (seit Oktober 2000) Rutschungen um reaktivierte ältere Rutschungen. Mehr als 50% der hier festgehaltenen Rutschungen hängen ursächlich mit zu wenig gesicherten bergseitigen Strassenböschungen zusammen. Ein kleinerer Teil hängt mit den gewählten Entwässerungsmassnahmen zusammen. Diese manifestieren sich durch wegbrechende Fahrbahnen, die sich bis 5 m nach unten bewegt haben. Eine genaue Relation dieser ursächlichen Zusammenhänge zu den rein natürlichen Rutschungen kann allerdings erst gemacht werden, wenn auch das übrige Gebiet umfassender erfasst werden wird. Generell handelt es sich um nicht sehr tiefgreifende Gleitflächen.

Der Mechanismus der Rutschauslösungen und -bewegungen hängt unzweifelhaft mit dem periodisch vermehrt in den Untergrund eindringenden Wasser zusammen. Dieses Wasser kann sowohl von der Oberfläche her über die beschriebenen Nackentälchen und von den ähnlich wirkenden Strassen her dem Untergrund zugeleitet werden, als auch von wesentlich weiter oben her, innerhalb der aufgelockerten und angesackten Bündnerschiefeleinheiten, die praktisch die ganze Bergflanke aufbauen.

1.3.2.3 Hydrogeologie

Das Gebiet «Firsitte» ist bekannt als ausgesprochen quellenarmes Gebiet. Im direkt interessierenden Bereich wurde lediglich eine einzige – ca. 2 l/s schütende Quelle – direkt unterhalb der Strassenböschung beobachtet. Dies überrascht insofern nicht, als dass der Felsuntergrund – wie beschrieben – fast auf der ganzen Bergflanke stark aufgelockert ist. Das Sickerwasser findet so fast keine Stauhorizonte innerhalb des Berges vor, die es zum konstanten Austreten in Form einer Quelle zwingt. Innerhalb der Trias kann sich das Wasser zudem in den wahrscheinlich vorhandenen Karstwegen tiefer im Berg verlieren. Diese Karsthohlräume weisen allerdings selbst nur eine begrenzte Wasseraufnahmefähigkeit auf, sodass sie bei sehr massiven Niederschlägen oder starker Schneeschmelze überlaufen können und den Rutsch- und Kriechhang destabilisieren. Bei der nahen Rutschung Gaschiwald unter den «Wysse Ture» ist dieser Mechanismus eindeutig der Fall. Ob sich unterhalb der Triaseinheiten im hier interessierenden Gebiet der gleiche Mechanismus abspielt, kann noch nicht zweifelsfrei gesagt werden, ist aber – angesichts der doch sehr ähnlichen geologischen Voraussetzungen – durchaus denkbar.

1.3.2.4 Schadensausmass und Ursachen

Wie bereits gesagt, hängt ein guter Teil der erfassten Rutschschäden mit dem Bau der Forststrasse zusammen, das heisst, dass der 1984 begonnene Bau der Strasse im bereits seit langem aktiven, in labilem Gleichgewicht befindlichen Kriechhang einen massgeblichen Einfluss auf das Rutschgeschehen und -ausmass der letzten Dekade hatte. Konkret sind zudem folgende Feststellungen von Bedeutung:

- Die zur Rutschanierung erstellten Holzkastenverbauungen haben sich sehr bewährt. Wo diese errichtet wurden, wurden auch bei den Unwettern von Oktober 2000 keine erneuten Rutschungen mehr ausgelöst.
- Als problematisch erachten wir die regelmässigen Querrinnen, die das Strassenwasser in regelmässigen

Abständen in den darunter liegenden Hang ableiten. Dies führt bei Starkniederschlägen oder der Schneeschmelze zu einer immer wiederkehrenden punktuellen Be- und Überlastung des Hanges direkt unterhalb der Forststrasse. Das von dieser Tatsache ausgegangene Schadensausmass ist allerdings nicht in gleicher Weise offensichtlich wie der Nutzen, der von den Holzkastenverbauungen ausgegangen ist. Ein gewisser negativer Einfluss scheint uns indessen gegeben, vor allem was jene Rutschungen angeht, die direkt unterhalb des Strassentrassees abgegangen sind und/oder das Trassee ganz oder teilweise mitrissen.

1.3.2.5 Konsequenzen

Als kurzfristige Massnahmen wurde folgendes vorgeschlagen und z.T. durchgeführt:

- Die bergseitigen Böschungen sind, wo die letzten Rutschungen abgegangen sind, konsequent und durchgehend mit Holzkästen zu sichern. Wo der Fels zu wenig aufgelockert ist, kann diese Sicherungsmassnahme punktuell mittels Blockwurf und/oder einer Kombination Blockwurf/Holzkasten ersetzt oder ergänzt werden.
- Die abgegangenen Rutsche sollen nicht wieder vollständig aufgebaut werden.
- Inwiefern – auch finanziell – ein Ersatz der Querrinnen durch eine entlang der Strasse anzulegende Rigole und eine kontrollierte Abführung des Wassers in bestehende Vorfluter machbar ist, muss seitens der zuständigen Forstinstanzen noch abgeklärt werden; geotechnisch macht diese Massnahme auf alle Fälle Sinn.

Auf längere Frist kann auch eine kontrollierte Anbohrung der problematischen, bei Starkregen überlaufenden Triaszüge oder andere effektive Drainagemassnahmen (siehe Kap. 1.3.2.2, letzter Abschnitt unter Kriechhang) erwogen werden. Hierzu sind allerdings noch tiefergehende und umfassendere geologische Studien und vorgängig wirtschaftliche Kosten/Nutzenanalysen vonnöten. In eine derartige Studie könnten auch die übrigen Problembereiche (z. B. «Wysse Ture», Gaschiwald) von Grengiols mit einbezogen werden.

1.3.3 Gebiet Wyss Türe

Koordinaten: 653'5- -/136'0- -
Höhe: 1050–1580 m ü. M.

1.3.3.1 Geologische Situation bei den «Wyss Türe»

Die «Wyss Türe» gehört zu einem deckentrennenden Triasband. Sie bestehen, wie in diesem Triasband üblich, vornehmlich aus Gips, untergeordnet aus Quarziten, Rauhwacke und Sericitphylliten. Es handelt sich hierbei – mit Ausnahme der geringmächtigen Quarzite an der Basis – um ausgesprochen weiche, mürbe und verwitterungsanfällige Felsen. Aus diesen Felsen lösen sich immer wieder kleinere und grössere Felspartien, die fast immer vom darunter wachsenden Wald oder in den Schneisen aufgehalten werden.

Anlässlich der Begehung konnte festgestellt werden, dass sich im Nahbereich der «Wyss Türe» relativ frische Risse gebildet hatten. Allerdings konnte anhand der Morphologie in diesem Bereich auch festgestellt werden, dass sich in diesen Bereichen bereits seit langem Bewegungen ereignet haben, die zu der kupierten Geländeform von heute führten. Unterhalb der «Wyss Türe» befindet sich die seit langem bekannte Rutsch- und Kriechzone «Gäschwald». Nach bisherigen Erfahrungen bewegt sich dieser Rutsch – immer nach starken Niederschlägen oder starkem Tauwetter im Frühling – relativ abrupt. Diese Bewegung hängt insofern mit den «Wyss Türe» zusammen, als dass sie durch die intermittierenden Quellen aus deren Karst in Bewegung gehalten werden. Zur Destabilisierung der «Wyss Türe» trägt diese Rutschung nichts bei.

1.3.3.2 Mechanische Felsqualität

Die oben beschriebene Petrographie weist die «Wyss Türe» als ausgesprochen plastischem, wenig widerstandsfähige Felsen aus. Anlässlich der Begehung wurde beschlossen, zwei in den Schneisen darunter gefährlich hängen gebliebene Blöcke sprengen zu lassen. Dabei wurden die mit Auflegern gesprengten Blöcke buchstäblich pulverisiert. Die entstandenen kleineren Blöcke erreichten die Geländeterrasse von «Bädel» nicht und entwickelten praktisch keine zerstörerische Wirkung.

Für einen direkten Absturz grösserer Blöcke ist nicht nur aus dieser Erkenntnis heraus mit grosser Sicherheit davon auszugehen, dass dabei die Blöcke in kleinere Einheiten aufgesprengt werden.

1.3.3.3 Bewegungen

Im rückwärtigen Bereich der direkt aufgeschlossenen Gipsfelsen ist eine deutliche Bewegungsmorphologie auszumachen. In erster Annäherung kann man von einer Kubatur von 20 000–50 000 m³ Fels sprechen, die relativ rezent im cm-Bereich bewegt wurden. Allerdings ist auf Grund der Morphologie in diesem Bereich davon auszugehen, dass bereits früher wie auch in jüngerer Zeit immer wieder Bewegungen stattgefunden haben, die das gesamte Felspaket betroffen haben. Diese Bewegungen dürften auch der Grund für die immer wiederkehrenden Abstürze einzelner Blöcke sein.

1.3.3.4 Vorläufige Beurteilung der Risiken

Geht man von den oben erwähnten Tatsachen aus, kann man vorerst folgende – provisorische – Risiko-urteilung abgeben:

- Beim Absturz einzelner Blöcke ist das Risiko nur sehr gering, dass diese bis in die darunter liegenden Wiesen gelangen können.
Das Risiko für das Gebiet «Bädel» kann für solch ein Ereignis als sehr unwahrscheinlich bezeichnet werden.
- Die manifesten Felsbewegungen finden schon seit längerer Zeit – wahrscheinlich schon seit mehreren Jahrhunderten statt. Dass diese einmal zu einem massiveren Felssturz führen könnten, ist nicht auszuschliessen. Vorderhand kann man aber noch davon ausgehen, dass durch das ständige Wegbrechen vorderer Partien dieses Risiko jeweils kleiner wird.

1.3.3.5 Weitere Massnahmen und Studien

Für weitere Massnahmen empfehlen wir vorderhand Folgendes:

- Die jeweils festgestellten Blockstürze sind von einer zu bestimmenden Person (evtl. Förster) zu registrieren und zu beschreiben (Ausmass, Absturzfolgen).
- Im Bereich oberhalb der «Wyss Türe» ist ein Vermessungsnetz einzurichten, das eine länger andauernde Überwachung der Felsbewegungen des Gesamtmassivs der «Wyss Türe» gestatten wird. Eine Überwachung einzelner Böcke macht aus physikalischen Gründen (Trägheit der Bewegungen) keinen Sinn.

Die genaue Art der Messungen und des Messnetzes müsste dabei mit einem Geometer noch abgesprochen werden. Die übliche Frequenz der Messungen beträgt drei bis vier Mal pro Jahr; bei aussergewöhnlichen Naturereignissen (massive Niederschläge, Erdbeben) können spezielle Messkampagnen angeordnet

net werden. Die Resultate sind von einem Geologen zu interpretieren.

Erst auf Grund einer grösseren Anzahl Messungen können das Gefährdungsbild und die diesbezüglich adäquaten Massnahmen genauer umschrieben werden.

- Für den Fallraum unterhalb der «Wysse Ture» ist zudem eine mit der Strukturanalyse der Felsen einhergehende Sturzbahnanalyse durchzuführen. Die Sturzbahnanalyse ist ein probates Hilfsmittel zur quantitativen Eingabelung der Risiken für das Unterliegergebiet.

Bei der Analyse ist allerdings unbedingt auf die Plastizität und den hohen Verwitterungsgrad der herabfallenden Kompartimente zu achten, die bei der Definition der elastischen und plastischen Anteile im Sturzraum mit zu berücksichtigen sind.

1.4.1 Rutschgebiet «Lee»

Koordinaten: 657 000/132 900

Höhe: 1620 m ü. M.

1.4.1.1 Geologisches Umfeld

Die im Gebiet «Lee» anstehenden Gneise gehören der Monte Leone-Decke des Penninikums an. Unmittelbar nördlich davon schliesst das Mesozoikum der penninischen Decken an. Im verrutschten Gebiet ist der Felsen durch mächtige Moränen- und Hangschuttablagerungen bedeckt. Grössere, schlecht gerundete Blöcke deuten auch auf altes Bergsturzmaterial hin. Die Mächtigkeit dieser quartären Bedeckung ist uns nicht bekannt.

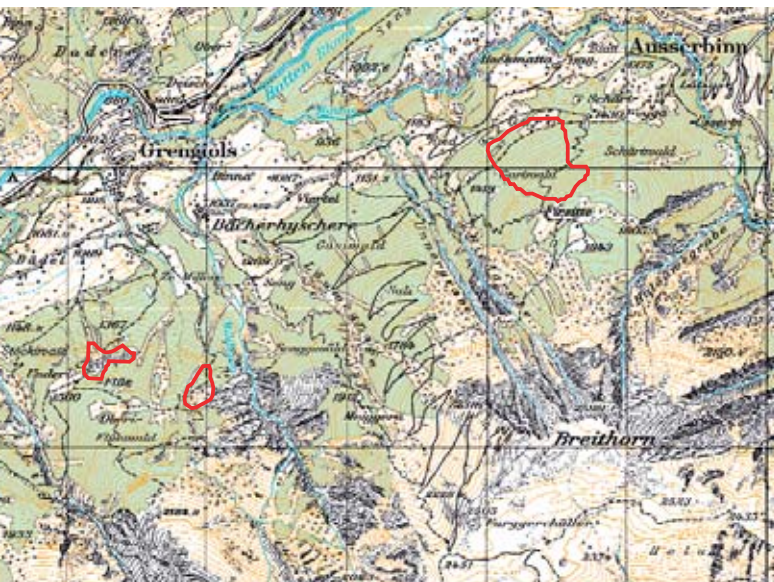
1.4.1.2 Rutschmechanismen und Ursachen

Bei der Rutschung handelt es sich um eine flachgründige Hanginstabilität. Mit grosser Wahrscheinlichkeit wurden nur die oberflächennahen, quartären Lockergesteinsschichten erfasst. Der Hauptanriss ist mit einer Ausdehnung von 20–30 m Länge im Wald oberhalb der Lichtung «Lee» deutlich zu erkennen, der Versatz erreicht ca. 10 m. Die seitliche Verlängerung des Risses im Wald hat eine Länge von ca. 150 m. Die seitliche Begrenzung der verrutschten Zone durch grössere Risse ist im Feld deutlich erkennbar. Beim Material handelt es sich um Gehängeschutt und ev. auch Moränenmaterial. Der Boden ist sandig und stark verlehmt. Es kommen auch Steine und vereinzelt grössere Blöcke von älteren Felsstürzen vor.

Aufgrund der Charakteristik des verrutschten Gebietes wird davon ausgegangen, dass die Gleitfläche relativ oberflächennah liegt. Gemäss der Aussage von Herrn Erwin Imhof, dem Besitzer des im nördlichen Teil des Rutschgebietes gelegenen Hauses, sei bei Aushubarbeiten auf einer Tiefe von 0.5–1 m eine Lehmschicht angetroffen worden. Diese Schicht dürfte als Gleithorizont und Wasserstauer für diese Hangrutschung verantwortlich sein.

Im verrutschten Gebiet sind zahlreiche Wasseraustritte zu beobachten. Weiter oberhalb des Anrisses konnten zur Zeit der Begehung (ca. zehn Tage nach den Starkniederschlägen) keine Wasseraustritte und kein Oberflächenabfluss festgestellt werden. Sämtliche Wasseraustritte befinden sich im Rutschgebiet unterhalb des Anrisses.

Direkte Anzeichen einer älteren, grösseren Rutschung konnten im Gebiet keine gefunden werden, doch weist die Charakteristik der Geländeoberfläche darauf hin, dass wohl schon immer kleinste Bewegungen (Hangkriechen im cm-Bereich) stattgefunden haben.



 Rezente Rutschungen

Fig. 2: Übersichtskarte 1:50 000 Gebiet Wysse Ture

1.4 Schadensgebiete Gemeinde Binn

Während der Unwetter wurde das ganze Gebiet der Gemeinde Binn von mehr oder weniger starken Bodenbewegungen erfasst. Neben den hier vorgestellten drei massivsten Ereignissen waren auch mehrere Meliorationsstrassen im hintern Tal durch Rutsche beschädigt worden. Die bekannte Mineraliengrube Lengenbach wurde durch den überbordenden gleichnamigen Wildbach überflutet und mit Geschiebe teilverfüllt. Hier beschränken wir uns auf die Beschreibung der drei bedenklichsten Schadensereignisse.

1.4.1.3 Schadensumfang

Durch die Hanginstabilität wurden zwei Chalets sowie ein im Umbau befindlicher Stall beträchtlich in Mitleidenschaft gezogen. Die Fundamente des Chalets wurden um gut zwei Meter talwärts verschoben. Der Hang ist auf Grund der ausserordentlich hohen Niederschläge vom Wochenende vom 14./15. Oktober 2000 und den vorangehenden Tagen ins Rutschen geraten.

Sofern kein vergleichbares Unwetter eintrifft kann davon ausgegangen werden, dass sich der Hang künftig stabil verhält. Geringfügigere, mit der Zeit nachlassende Folgebewegungen können allerdings in den nächsten 2–5 Jahren nicht ausgeschlossen werden.

1.4.2 Rutschgebiet «Aebmet»

Koordinaten: 657 700 / 134 800
Höhe: 1520 m ü. M.

1.4.2.1 Geologisches Umfeld

Der Hang des Gebietes «Aebmet» ist durch Gehängeschutt und Moränenmaterial bedeckt. Die Mächtigkeit dieser quartären Bedeckung ist uns nicht bekannt. Die darunter liegenden Gesteine gehören zur penninischen Monte-Leone-Decke. Das Gebiet liegt unmittelbar in der Kontaktzone zwischen den Gneisen und den Bündnerschiefern, die durch den triadischen Dolomit getrennt sind. Ob ein Zusammenhang zwischen diesen lithologischen Wechseln und den die Hanginstabilität verursachenden Wasseraustritten besteht, kann mit dem heutigen Wissensstand nicht ausgesagt werden.

1.4.2.2 Rutschmechanismen und Ursachen

Das Anrissgebiet der Hangrutschung befindet sich östlich oberhalb «Aebmet» im Wald und ist nur ca. 15–20 m breit. Die verrutschte Hangmasse erstreckt sich auf einer Länge von 150 Metern talabwärts. Am unteren Ende der Rutschmasse ist deutlich ersichtlich, dass das Material stark mit Wasser gesättigt war und sich die obersten Hangpartien wie ein Teppich langsam nach unten bewegten. Hier beträgt der Gesamtversatz mehr als 8 Meter! Wären dem Hang weiterhin grössere Mengen an Wasser zugeführt worden, hätte beim Weiterrutschen des mobilisierten Materiales die Gefahr bestanden, dass die Schuttmassen die östlichsten Häuser auf der linken Flussseite von Binn bedroht hätten. Zudem deuten kleinere Risse in der Wiese, die unterhalb des Anrissgebietes in westlicher Richtung verlaufen, darauf hin, dass auch die östlichen Hangteile abrutschgefährdet waren.

Bei der Rutschung handelt es sich um eine flachgründige Hanginstabilität. Es wurden nur die oberflächennahen, quartären Lockergesteinsschichten erfasst. Der Hauptanriss ist – mit einer Ausdehnung von ca. 10 m Länge – im Wald oberhalb der Lichtung «Lee» deutlich zu erkennen. Beim Material handelt es sich um Gehängeschutt und Moränenmaterial.

Aufgrund der Charakteristik des verrutschten Gebietes wird davon ausgegangen, dass die Gleitfläche relativ oberflächennah liegt.

Ungefähr 10 Tage nach dem Unwetter waren ausser einer kleinen Quelle im verrutschten Gebiet keine Wasseraustritte zu beobachten.

Direkte Anzeichen einer älteren, grösseren Rutschung konnten im Gebiet keine gefunden werden, doch weist die Charakteristik der Geländeoberfläche darauf hin, dass wohl schon immer kleinste Bewegungen (Hangkriechen im cm-Bereich) stattgefunden haben. Gebäude sind durch die Rutschung keine betroffen.

1.4.2.3 Beurteilung der Hangstabilität

Der Hang ist auf Grund der ausserordentlich hohen Niederschläge vom Wochenende vom 14./15. Oktober 2000 und den vorangehenden Tagen ins Rutschen geraten. Bei diesen Niederschlagsmengen handelte es sich um ausserordentlich hohe Werte, die im Bereich über einem hundertjährigen Ereignis einzuordnen sind. Der Hang hat somit innerhalb einer kurzen Zeit sehr viel Wasser erhalten und wurde übersättigt.

Es ist davon auszugehen, dass kleinere Bewegungen im cm-Bereich pro Jahr stattfinden können. Mit grösseren Bewegungen ist bei der Schneeschmelze nicht zu rechnen.

Ebenso dürfte ein kurzes, heftiges Sommergewitter die Rutschung nicht aktivieren können. Gefährlicher sind lang anhaltende Niederschlagsperioden, die eine Wassersättigung des Bodens zur Folge haben, wie dies auch bei diesem Unwetter geschehen ist.

Die längerfristige Beurteilung von Hangrutschen stellt oft die Schwierigkeit dar, dass beobachtete und gemessene Daten der Hangstabilität durch die günstige Wirkung mehrerer trockener Jahre oftmals zu optimistisch interpretiert werden. In trockenen Jahren kann sich der Hang durchaus stabil verhalten. In Zeiten intensiver Regenfälle kann der Rutsch aber wieder reaktiviert werden, auch wenn dies erst Jahre oder sogar Jahrzehnte später sein kann.

1.4.2.4 Beurteilung der Gefährdung für das Dorf Binn

Für das Dorf Binn besteht durch den beim Unwetter vom 14./15. Oktober 2000 ausgelösten Hangrutsch im Gebiet «Aebmet» oberhalb Binn keine Gefährdung mehr. Auch bei einem nächsten Grossereignis stellt der Hang keine unmittelbare Gefährdung dar. Durch das Verwirklichen der Sanierungsmassnahmen kann das Restrisiko minimiert werden.

Eine Gefahr für den auf der orographisch linken Tal- seite der Binna gelegenen Dorfteil bestünde theoretisch durch einen grösseren Hangrutsch oder eine Hangmure. Dies kann aber ausgeschlossen werden, da dazu enorme Wassermassen im Boden nötig wären. Selbst bei einem so grossen Ereignis wie im Oktober 2000, bei dem grosse Wassermengen den Boden durchtränkten, kam es «nur» zu langsamen Kriechbewegungen.

Vom Hang direkt oberhalb des Dorfteiles Lätze Matte geht ebenfalls keine Gefährdung aus. Dieser Hang kann als stabil betrachtet werden, hat er doch das hundertjährige Ereignis von Oktober 2000 praktisch unbeschadet überstanden. Bei noch grösseren Ereignissen besteht ein gewisses Restrisiko, dass sich oberflächennahe Schichten als Rutschung lösen können.

1.4.2.5 Empfohlene Massnahmen

Zur Sicherheit wurden folgende Massnahmen empfohlen:

- Kontrolle des Gebietes bei und/oder nach sehr starken Niederschlagsperioden vor allem in Form von Regen.
- Da es sich um eine neue Rutschung handelt, sind vorerst provisorische, nicht permanente Entwässerungen einzubauen. Es sind dies Installationen, die durch oftmaliges Verlegen dauernd den Geländeänderungen angepasst werden können (offen verlegte Kännel, Schläuche usw.).
- Während stärkeren Niederschlagsperioden ist das Gebiet zu begehen und Beobachtungen im Gebiet zu protokollieren. Wasseraustritte sind zu kartieren, ev. im Gelände zu markieren und nach Möglichkeit die Schüttung zu messen. Auf Grund dieser Beobachtungen und Messungen kann später über eine allfällige permanente Entwässerungsanlage entschieden werden.
- Aktive Stabilisierungen mittels Holzkästen wurden nur für den Hauptanriss empfohlen.

1.4.3 Rutschgebiet «Talschlüecht»

Koordinaten: 658 100/134 900

Höhe: 1600 m ü. M.

1.4.3.1 Geologisches Umfeld

Der Hang des Gebietes «Talschlüecht» ist durch Gehängeschutt und Moränenmaterial bedeckt. Zudem ist das ganze Gebiet bewaldet. Die Mächtigkeit der quartären Bedeckung ist uns nicht bekannt. Wie bereits im Gebiet «Aebmet» beschrieben (vgl. Kap. 4.2) gehören die darunter liegenden Gesteine zur penninischen Monte-Leone-Decke. Das Gebiet liegt unmittelbar in der Kontaktzone zwischen den Gneisen und den Bündnerschiefern, die durch den triadischen Dolomit getrennt sind. Ob ein Zusammenhang zwischen diesen lithologischen Wechseln und den die Hanginstabilität verursachenden Wasseraustritten besteht, kann mit dem heutigen Wissensstand nicht ausgesagt werden.

1.4.3.2 Rutschmechanismen und Ursachen

Die ausserordentlichen Niederschläge führten im Gerinne «Talschlüecht» und im nordöstlich davon liegenden Gerinne zu einem eigentlichen Hochwasserereignis mit hohem Geschiebetransport. Zudem wurden grosse Bereiche der Gerinnewände erodiert. In den oberen Bereichen der beiden Gerinne sind auch grosse Teile des Waldes ins Rutschen geraten, so dass etliche Bäume umstürzten oder verrutscht wurden. Die Schäden am Baumbestand sind beträchtlich. Die Ausdehnungen der einzelnen Rutschungen ist auf Fig. 3 ersichtlich. Vermutlich handelt es sich um flach- bis mittelgründige Rutschungen, die lediglich die quartären Lockergesteinschichten erfassen. Die Rutschungsbeträge liegen im Meterbereich.

1.4.3.3 Beurteilung der Situation/ Gefährdungspotential

Weiteres Rutschen des Hanges: Bei normalen Witterungs- und Niederschlagsverhältnissen in den nächsten Jahren dürfte sich das Gebiet durch den Wiederbewuchs der Vegetation stabilisieren. Bei einem erneuten Grossereignis in ähnlicher Dimension wird das Gebiet sicherlich wieder zu einer Problemzone werden, da einmal ins Rutschen geratene Hänge schneller wieder aktiviert werden. Durch geeignete Massnahmen kann das Risiko etwas verringert werden.

Erosion der Gerinneböschung und Geschiebeeintrag in die Binna: Aufgrund des Hochwassers vom Oktober 2000 sind entlang der Gerinne grössere, aus Gehängeschutt bestehende Seitenborde freigelegt worden, die

nun stark erosionsanfällig sind. Bei einem nächsten Hochwasser – ein starkes Gewitter genügt – können schnell grössere Massen an Geschiebe mobilisiert werden. Es besteht auch die Gefahr des Nachrutschens der Hänge.

In einer ersten Einschätzung erachten wir die Gefahr als relativ gross, dass durch ein erneutes Hochwasser grössere Massen an Geschiebe mobilisiert werden können, was im Bereich der Einmündung in die Binna (Aufstauen) oder weiter unten im Bereich des Dorfes Binn zu erheblichen Problemen führen könnte.

Gefährdung von Verkehrswegen und Anlagen: Direkt im Gefahrenbereich eines Murganges aus der östlich gelegenen Rinne steht die Sendeanlage bei der Lichtung «Aebmet». Das Risiko wird als hoch eingestuft, dass bei einem nächsten grösseren Ereignis die Anlage in Mitleidenschaft gezogen werden kann, da wegen den nun zahlreich erodierten Abhängen entlang des Gerinnes viel Material mobilisiert werden kann.

Auch die Strasse von Binn nach Fäld quert das Gerinne und es besteht die Gefahr, dass Murgänge und möglicherweise auch Ausbrüche, die weiter oben aufgestaut werden und plötzlich ausbrechen können, die Strasse verschütten, wie dies bereits bei diesem Unwetter geschehen ist. Zudem führen auch Wanderwege durch das gefährdete Gebiet.

1.5 Schadensgebiet Gemeinde Steinhaus: Peterstutz

Koordinaten: 657'02-/141'70-

Höhe: 1260 (±20) m ü. M.

Der bekannte Erosionsgraben des Rufibach (Gemeinde Steinhaus), der 1998 Ursache eines spektakulären Aufstaus des Rottens war, verhielt sich im Oktober 2000 relativ ruhig. Hingegen wurde die als Verbindung ins Obergoms dienende Meliorationsstrasse auf einer Länge von rund 30 m durch einen Rutsch unterbrochen.

Auf dem Gebiete der Gemeinde Mühlebach wurde der aus dem Rappental zufließende Milibach auf einer Länge von 70 m durch einen grobblockigen Felsrutsch verschüttet.

1.5.1.1 Geologisches Umfeld

Das Gebiet von Steinhaus ist geprägt durch den grossen Wildbachschuttkegel des Rufibach, der das grosse Delta gegen den Rotten hin aufbaut und der immer wieder spektakuläre Murgänge führt.

Das Anstehende, das den Erosionskessel des Rufibach aufbaut, besteht zum grössten Teil aus 40–60° in SW-SSW Richtung einfallenden kristallinen Gneisen und Schiefern des Gotthardmassivs; nur gerade in den untersten Bereichen besteht der anstehende Fels aus schwarzen liasischen Ton- und Kalkglimmerschiefern der gotthardmassivischen Sedimenthülle.

Das Dorf Steinhaus selber und dessen östlich des Rufibach gelegene Weiler wurden auf einer späteiszeitlich entstandenen weitläufigen Moränterrasse erstellt, die von Ernen über Mühlebach bis Niederwald reicht. Im enger interessierenden Gebiet quert die Strasse eine steil abfallende Seitenmoräne, in welcher auch – wie 1985 beim Bau der Galerie beim westlich gelegenen Löiwibach – recht mächtige eigentliche Lössablagerungen beobachtet werden können. Ein Phänomen, das im Oberwallis nur sehr selten angetroffen wird. Anlässlich der Begehung konnte eindeutig festgestellt werden, dass sich der destabilisierte Bereich ausschliesslich innerhalb des Löss befand. Westlich und östlich desselben befand sich die Strasse auf Moränenmaterial.

1.5.1.2 Die Rutschung vom Oktober 2000

Die Rutschung erfolgte ausschliesslich innerhalb von Lössmaterial. Die Moräne selber wurde vom Rutsch in keiner Weise tangiert.

Die Abrissnische befindet sich circa 15 m oberhalb der Strasse. Der Rutschhorizont befindet sich im Mittel circa 4–5 m unterhalb des ehemals gewachsenen



Rezente Rutschungen

Fig. 3: Übersichtskarte 1:50 000 Rutschgebiet Talschluecht

Terrains. Unterhalb der Strasse reichte der Rutsch noch circa 25 m tiefer. Die Strasse wurde auf einer Länge von 25 m talwärts weggerissen.

Anlässlich der Begehung (ca. 15 Tage nach dem Ereignis) konnten in den oberen Bereichen nicht nur keine Quellen, sondern auch keine Spuren von einem temporär aktiven Wasserzutritt festgestellt werden. In den unteren Bereichen konnte gegen den rechten Rutschungsrand hin ein möglicher geringfügiger Quellzutritt noch erahnt werden, allerdings reichte dieser allein kaum zur Rutschauslösung aus.

Wir gehen davon aus, dass der Rutsch alleine durch das überaus massiv oberflächlich zudringende Niederschlagswasser ausgelöst wurde.

Auf Grund der Granulometrie und der damit zusammenhängenden geotechnischen Eigenschaften des Materials (keine echte Kohäsion), muss der Rutsch nach erfolgter Destabilisation sehr rasch erfolgt sein, das heisst ohne vorgängige Anlaufphase mit langsamer Rissbildung in den Abrissbereichen.

In erster Annäherung muss man von einem Gesamtvolumen von 3000–5000 m³ abgerutschten Lössmaterials ausgehen.

1.5.1.3 Sanierung

Die Sanierung konnte nach Erwägung mehrerer Varianten im Frühjahr 2001 relativ preisgünstig erfolgen, indem überschüssiges Geschiebe vom nahen Rufibach hier zur Wiederherstellung des Hanges verwendet wurde.

1.6 Schadensgebiet Gemeinde Mühlebach: Milibach

Koordinaten: 656'- - - /139'- - -

Höhe: 1400–1500 m. ü. M.

Auf dem Gebiet der Gemeinde Mühlebach wurde vorab das äussere Rappental betroffen, wo die Meliorationsstrasse dahin an mehreren Stellen von Rutschen und Bachgeschiebe beschädigt und überflutet wurde. Ebenso war die Wasserversorgungsleitung entlang der Meliorationsstrasse gefährdet. Sie entging jedoch knapp einer Unterbrechung. Als Spätfolge der Unwetter muss auch der im Frühjahr 2001 erfolgte Felsrutsch von circa 20 000–50 000 m³ betrachtet werden, der das Bett des Milibach auf einer Länge von rund 100 m unter einem 3–10 m mächtigen Blockschuttkegel begrub. Wie unsere Befunde zeigten, konnte auch das hochgehende Schmelzwasser durch diesen hochdurchlässigen Blockschutt nicht aufgestaut werden, so dass keine unmittelbare Überflutungsgefahr besteht.

Es wurde allerdings eine periodische Überwachungsbegehung durch die gemeindeeigenen Organe angeordnet und/oder durch die Gommer Kraftwerke AG empfohlen.



 Rezente Rutschungen

Fig. 4: Übersichtskarte 1: 50 000 Steinhaus und Mühlebach

1.7 Schadensgebiet Betten: Betten Dorf

Koordinaten: 657'02''/141'70''

Höhe: 1260 (± 20) m ü. M.

Auf dem ganzen Gebiete der Gemeinde Betten ereigneten sich ebenfalls mehrere Rutschungen, von denen die meisten ohne nennenswerten Schaden abliefen (z. B. Bettmerhorn). Glimpflich allerdings lief der Rutsch ab, der sich direkt oberhalb des Dorfes Betten infolge der Unwetter in Bewegung setzte.

1.7.1.1 Geologisches Umfeld

Das Anstehende im nahen Umfeld der Gemeinde Betten wird von steil in SSE Richtung einfallenden Gneisen und Schiefern der südlichen Schieferhülle des Aarmassivs aufgebaut, die im Gebiet zum grösseren Teil einem recht tiefgreifenden Hakenwurf unterworfen sind. Der Fels weist deshalb oberflächennah eine sehr gute Wasserdurchlässigkeit auf. Im unmittelbar interessierenden Gebiet der Rutschung oberhalb des Dorfes wird der

Fels von einer 5–10 m mächtigen leicht kohäsiven Lockergesteinsdecke aus Gehängeschutt und Moräne überlagert.

1.7.1.2 Rutschmechanismen

Durch die massive Wasserübersättigung geriet der Hang oberhalb der Bergstation der Luftseilbahn LBB in Bewegung. In der Nacht vom Sonntag auf den Montag (15./16. Oktober) bildeten sich am Hang auf einer Gesamtlänge von rund 100 m Risse, die eine Tiefe und Breite von ca. 30 cm aufwiesen. Der Riss selber hatte sich bezeichnenderweise circa 5 m unterhalb einer alten aufgegebenen Wasserleite gebildet. Es musste mit einem oberflächennahen Rutsch von insgesamt 1000–3000 m³ gerechnet werden. Innerhalb des Hauptrisses konnten konzentrierte Wasseraustritte beobachtet werden. Die sofort angeordneten insgesamt 13 behelfsmässigen Messpunkte zeigten in der Folge Bewegungen von 0,5–2 cm/h.

1.7.1.3 Sofortmassnahmen

Als stabilisierende Sofortmassnahmen wurde Folgendes angeordnet:

- Instandstellung der alten Wasserleite auf einer Länge von rund 250 m und Verlegung von PVC-Halbschalen.
- Kontrolliertes Sammeln und Ableiten der konzentrierten Wasseraustritte mittels Seihern und PE-Schläuchen.
- Abdecken der Abrissnische mittels Plastikplanen.

Begleitend dazu wurden:

- Eine vorsorgliche Evakuierung des gefährdeten Dorfteils für die Nacht vom 16./17. Oktober 2000.
- Überwachung der Messpunkte im 3-Stunden Rhythmus.

Die angeordneten stabilisierenden Sofortmassnahmen erwiesen sich als sehr erfolgreich, konnten doch die Rutschungsbewegungen damit praktisch augenblicklich gestoppt werden. Dies und die einsetzende Wetterbesserung erlaubten es, die Evakuierung am 17. Oktober aufzuheben.



Fig. 5: Übersichtskarte 1:10 000 Schadengebiet Gemeinde Bettlen

2 Grosses Wasser und Dovéria

Blaise Dussex, Alfred Squaratti

2.1 Introduction

Le week-end du 13 au 15 octobre 2000, des précipitations diluviennes se sont déversées sur les vallées au sud du Simplon (13 octobre 2000, 300 mm–14 octobre, 200 mm, 15 octobre, 100 mm), soit un total de 600 mm en trois jours dans la région de Gondo. Les modifications morphologiques (érosions, dépôts) et les inondations consécutives à cet événement, sont à l'origine des dommages dans la vallée de Zwischbergen et aux abords de la Dovéria.

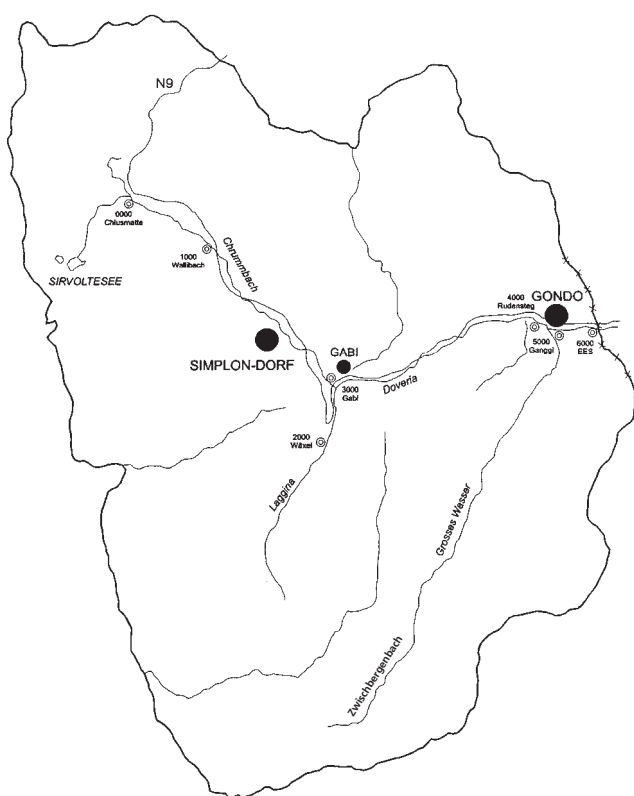


Fig. 1: Vue générale du réseau hydrologique

2.2 Situation générale

2.2.2 Zwischbergental (Grosses Wasser et Zwischbergenbach)

Le Grosses Wasser et le Zwischenbergbach sont les cours d'eau principaux de la vallée de Zwischbergen. D'une longueur d'environ 14 km, ils récoltent les eaux d'un bassin versant de 47 km², dont le point le plus élevé se situe à 3300 m s. m. et le point le plus bas à 830 m s. m. respectivement au sommet du glacier de Zwischbergen et à la confluence du Grosses Wasser et de la Dovéria au pied du village de Gondo.

Les érosions, dépôts et inondations consécutives aux intempéries d'octobre 2000, ont endommagé les installations hydroélectriques d'EES (Energie Electrique du Simplon) soit: la retenue de Fah, la centrale de Tannuwald, le poste de couplage de Sera, la retenue de Sera, la ligne 16 kV enterrée sous la route entre Tannuwald et Sera. En parallèle, des objets publics et privés ont été touchés, dont principalement: des ponts, des passerelles, la route entre Sera et Fah, une habitation et des pâturages.

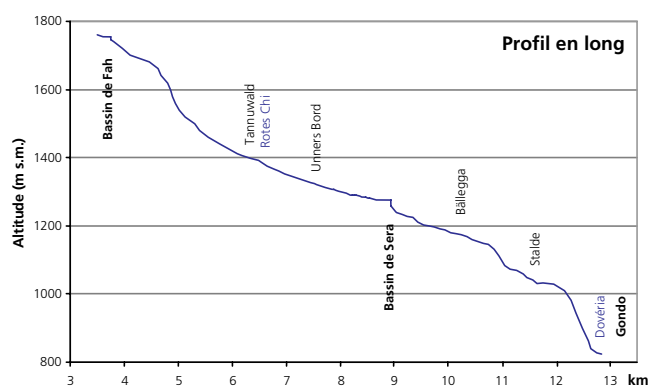


Fig. 2: Profil en long du Grosses Wasser

2.2.3 Gondo (Dovéria)

La Dovéria prend naissance à Gabi à la confluence de la Laggina et du Chrummbach, puis elle s'écoule au fond des gorges de Gondo (Fig. 1).

La confluence entre le Grosses Wasser et la Dovéria se situe en rive droite, au pied du village de Gondo à environ 1 km en amont de la frontière italienne. A cet endroit, le Grosses Wasser effectue une chute d'environ 70 m (Fig. 3).

Les dommages aux ouvrages en bordure de la rivière, entre Rudensteg et la frontière italienne, ont été causés par les érosions du lit et des berges. Les objets touchés sont: des murs de protection, des enrochements de rive, la station d'épuration, des passages à câbles, des garages et des places de parc.



Fig. 3: Topographie de la confluence entre le Grosses Wasser et la Dovéria.

En amont de la retenue de Sera, le Grosses Wasser et le Zwischbergenbach ont érodé les deux rives, pour occuper complètement la largeur de la vallée. Durant cet évènement, plusieurs torrents latéraux ont apporté des matériaux solides aux cours d'eau principaux. Les débits solides et liquides combinés aux particularités topographiques et aux ouvrages hydro-électriques, ont créé alternativement des zones de dépositions et d'érosions du lit. La figure ci-dessous représente les variations du profil en long sur le tronçon Tannuwald-Sera.

2.3.1.1 En amont de la retenue de Fah

Mis à part une desserte agricole, cette partie de la vallée ne compte aucune infrastructure. Les inondations et les modifications morphologiques ont affecté plusieurs pâturages ainsi que la desserte agricole. Sur ce tronçon, l'évaluation du volume des matériaux déposés et des surfaces touchées n'a pas encore été réalisée.

2.3 Phénomènes observés et analysés

2.3.1 Le Grosses Wasser et le Zwischbergenbach

Le relevé des traces sur l'évacuateur de crue du barrage de Sera, a permis d'estimer à 360 m³/s le débit maximum du Grosses Wasser à cet endroit. Ceci correspond à un débit spécifique de 10 m³/s*km².

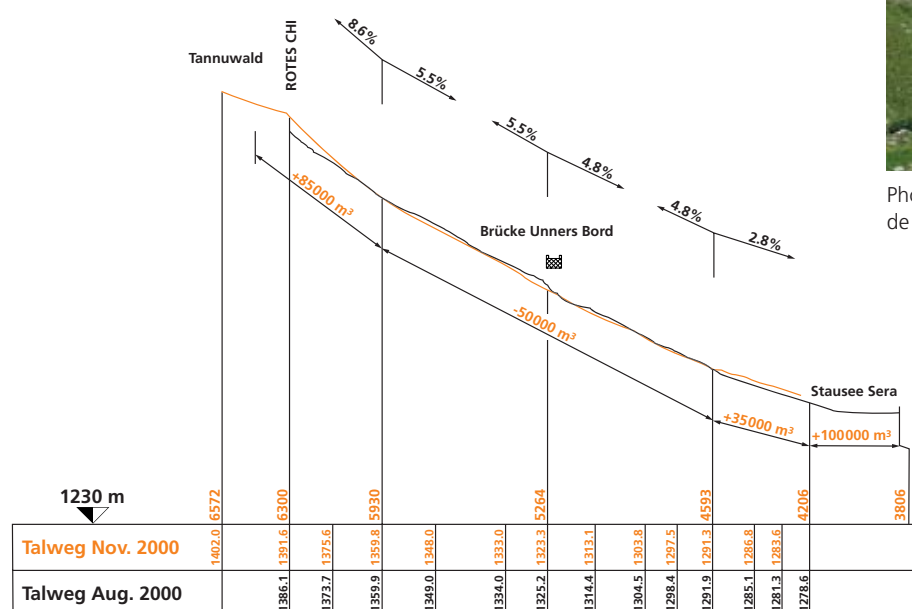


Fig. 4: Exemple des variations du profil en long suite aux intempéries d'octobre 2000 entre Tannuwald et Sera.



Photo 1: Dépôts en amont de la retenue de Fah.

2.3.1.2 Retenue de Fah

Cette retenue située sur le Zwischbergenbach à 1759 m s. m., et dont le bassin versant a une superficie d'environ 15 km², a piégé 25 000 m³ de matériaux lors des intempéries d'octobre 2000. Mis à part le volume de gravats stockés dans la retenue, l'ouvrage n'a pas subi de dommages significatifs.

2.3.1.3 Entre Fah et Tannuwald

Sur ce tronçon, le phénomène principal observé est une nouvelle morphologie de la rivière qui occupe actuellement toute la largeur de la vallée. Ces surfaces supplémentaires, liées à la dynamique du Zwischbergenbach, ont été gagnées sur les pâturages et la route agricole. Le déficit de charriage, causé par les matériaux piégés en amont dans la retenue de Fah, a favorisé le développement des phénomènes érosifs entre Fah et Tannuwald.



Photo 2: Érosion du Zwischbergenbach directement en aval de la retenue de Fah et engrèvement de la retenue de Fah.

2.3.1.4 Tannuwald

La centrale hydroélectrique d'EES qui se situe à Tannuwald, a été complètement inondée (à l'intérieur jusqu'à 4 m d'eau et de limon) et partiellement enterrée par les gravats (à l'extérieur environ 2 m de sédiment). Ces dommages sont consécutifs à une obstruction de la vallée de Zwischbergen par une lave torrentielle provenant du torrent de «Rotes Chi» en rive droite. La combinaison d'un éboulement et des précipitations a permis le déclenchement de cette lave torrentielle.

Le volume total des matériaux qui constitue l'embâcle sur le Grosses Wasser à Tannuwald est estimé entre 80 000 m³ et 100 000 m³.

L'obstruction de la vallée a provoqué l'exhaussement du lit et de la ligne d'eau du Grosses d'environ 5,5 m. Les niveaux d'eau relevés à l'intérieur de la centrale attestent le développement de ce phénomène.

La rupture directe ou progressive de ce lac a probablement influencé le débit de pointe du Grosses Wasser.



Photo 3: Tannuwald, Lave torrentielle du Rotes Chi

2.3.1.5 Entre Tannuwald et Sera

La route et les infrastructures (enrochements, passerelles, ligne 16 kV, fibre optique etc. ...) ont été détruites sur 80% du tronçon. Depuis l'événement d'octobre 2000, le Grosses Wasser occupe toute la largeur de la vallée sur la majeure partie du tronçon entre Tannuwald et Sera.

Lors de ces intempéries, le torrent de Furggu, dont l'embouchure se situe en rive gauche 300 m en amont de la retenue de Sera, est sorti de son lit pour s'écouler sur tout son cône de déjection. La combinaison des problèmes hydrauliques et morphologiques du torrent de Furggu et du Grosses Wasser a détruit une habitation située 150 m en amont de la retenue de Sera.

L'obstruction du canal d'entrée de la retenue de Sera (Photo 5), a favorisé les dépositions et l'exhaussement du lit du Grosses Wasser en amont de Sera.



Photo 4: Nouvelle emprise du Grosses Wasser entre Tannuwald et Sera.

2.3.1.6 Sera

La retenue de Sera d'un volume de 160 000 m³ est située à 1278 m s. m. Elle obstrue la vallée de Zwischbergen 3,5 km en amont du village de Gondo. Le bassin versant direct de la retenue est d'environ 36 km², auquel viennent se rajouter les eaux dérivées de bassins versants extérieurs (Laggintal, Senggibach, Alpengbach etc. ...).

Selon EES qui exploite les installations hydroélectriques, le Grosses Wasser a déposé 100 000 m³ de matériaux dans le lac de Sera lors des intempéries d'octobre 2000.

Le poste de couplage situé en rive gauche en amont de la retenue de Sera a été déstabilisé par des érosions et partiellement inondé. Ces phénomènes ont été accentués avec l'obstruction de l'ouvrage d'entrée du barrage de Sera par les bois flottants.



Photo 5: Ouvrage d'entrée du Grosses Wasser dans le barrage de Sera après les intempéries.

2.3.1.7 En aval de Sera

Le Grosses Wasser, entre la retenue de Sera et son embouchure dans la Dovéria au niveau du village de Gondo, s'écoule sur 3,5 km au creux de la vallée de Zwischbergen.

Le déficit de transport solide occasionné par les matériaux retenus dans le lac de Sera, a provoqué essentiellement des érosions latérales sur ce tronçon. Les affleurements rocheux presque continus, ont évité les érosions verticales du lit.

Compte tenu du faible potentiel de dommages, les dégâts entre Sera et Gondo sont peu importants (quelques passerelles, une prise d'eau).

2.3.2 La Dovéria

Sur le territoire suisse, la Dovéria a subi des dégâts importants entre Rudensteg et la frontière italienne. Ces dégâts sont liés aux phénomènes principaux suivants:

- Dissipation d'énergie à la confluence entre le Grosses Wasser et la Dovéria
- Erosions du lit
- Débordements ponctuels

Si l'on compare les événements de septembre 1993 et d'octobre 2000, une première approche met en évidence l'inversion des apports hydrauliques entre le Grosses Wasser et la Dovéria.

	Grosses Wasser	Dovéria (en amont de Rudensteg)
Q _{septembre 1993} (m ³ /s)	150 à 185 ¹	360 à 450 ¹
Q _{octobre 2000} (m ³ /s)	350 à 450 ²	200 à 300 ³

Tab. 1: Récapitulatif de la première estimation des débits de crue.

¹ Tiré du rapport «Simplon Süd Synthesebericht, Hochwasserschutzprojekt», Oktober 95, Ingenieurbüro Teyssire & Candolfi AG

² Selon les traces de crue relevées au barrage de Sera

³ Selon les traces de crue de la Dovéria relevées dans le canal EES en amont de la frontière (~ 650 m³/s)

2.3.2.1 Confluence Dovéria – Grosses Wasser

La situation particulière de cette confluence, chute d'environ 70 m du Grosses Wasser et jonction des écoulements à 90°, ne facilite pas la dissipation des énergies et la fluidité des écoulements. Ces particularités ont accentué le développement d'écoulements variés (tourbillons, ressauts hydrauliques etc. ...).



Photo 6: Confluence Grosses Wasser – Dovéria pendant la crue d'octobre 2000.



Photo 7: Confluence Grosses Wasser – Dovéria après la crue d'octobre 2000.

Ceux-ci ont accéléré les processus d'érosion du lit, des berges ainsi que la déstabilisation et la destruction des enrochements et des murs de protection aux alentours de la confluence.

2.3.2.2 De Rudensteg à la frontière italienne

Le déficit de charriage du Grosses Wasser, causé par le lac de Sera qui a retenu les sédiments, n'a pas pu être compensé par le charriage provenant de la Dovéria. Le charriage de la Dovéria en amont de Rudensteg était limité par son débit hydraulique et le dépotoir sur le Chrumbach en amont de Gabi.

Cette conjonction de phénomène a favorisé les érosions du lit de la Dovéria. Ces érosions varient entre 2 m et 4 m, ce qui correspond à environ 50 000 m³

de matériaux prélevés par la rivière entre Rudensteg et la frontière. Des érosions importantes du lit et des berges ont également été constatées jusqu'à Varzo 10 km en aval de la frontière italienne.

L'abaissement important du lit a déstabilisé les enrochements et les murs de protection qui ont été partiellement détruits sur plusieurs secteurs.

2.4 Synthèse et conclusions

En comparaison avec l'évènement de septembre 1993, la situation hydrologique a été inversée entre le Grosses Wasser et la Dovéria (en septembre 1993, il y avait un débit prépondérant qui provenait de la Dovéria et un débit secondaire qui provenait du Grosses Wasser, en octobre 2000 cette caractéristique était inversée). En amont du lac de Sera, le Grosses Wasser et le Zwischbergenbach occupent aujourd'hui toute la largeur de la vallée de Zwischbergen. Les retenues de Fah et de Sera ont piégé tous les sédiments qui étaient transportés par le charriage et de ce fait ont créé à l'aval un déficit en ce qui concerne le transport solide. Une lave torrentielle provenant du torrent de Rotes Chi en rive droite à la hauteur de Tannuwald, a obstrué la vallée de Zwischbergen entraînant l'inondation de la centrale hydroélectrique suite à l'exhaussement du lit et de la ligne d'eau du Grosses Wasser. Les particularités topographiques de la confluence entre le Grosses Wasser et la Dovéria ont favorisé la destruction des ouvrages aux alentours. Le déficit de matériaux provenant du Grosses Wasser a intensifié l'érosion du lit de la Dovéria en aval de Rudensteg.

2.5 Référence

Ingenieurbüro Teyssire & Candolfi AG, 1995: Simplon Süd. Synthesebericht, Hochwasserschutzprojekt Oktober 95.

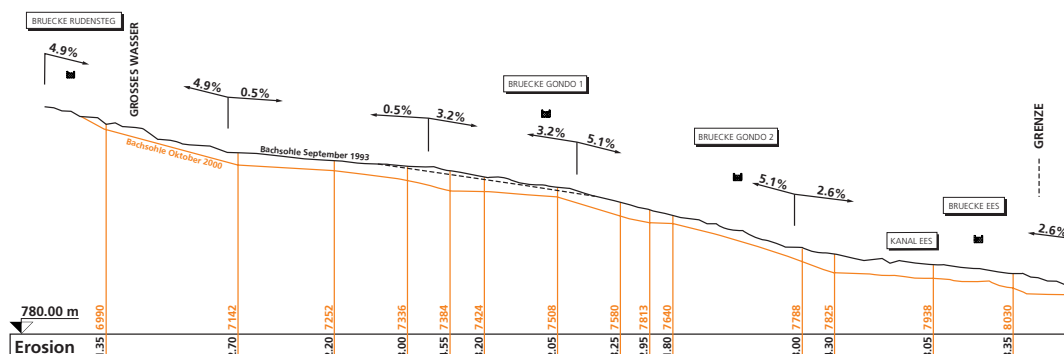


Fig. 5: Représentation des érosions sur le profil en long de la Dovéria entre Rudensteg et la frontière.

3 L'ovaille de Gondo

Jean-Daniel Rouiller, Charles-Louis Joris

Le 14 octobre 2000 à 10h15, les pluies qui tombaient sans discontinuer sur la région du village de Gondo depuis 48 heures déclenchèrent une ovaïlle¹ de 10 000 m³. La coulée composée de boue et de blocs a fait 13 victimes et a détruit une dizaine de bâtiments dont la tour Stockalper vieille de 400 ans.

3.1 Situation géographique et géologique

Gondo est un village frontière entre la Suisse et l'Italie situé sur l'axe routier international du Simplon, à l'extrême est du Valais (Fig. 1). Il est construit sur les éboulis d'une imposante falaise (Photo 1), à la confluence de la rivière Doveria avec le torrent Grosses Wasser qui lui amène les eaux de la vallée de Zwischbergen. La frontière italo-suisse se trouve à 900 m s. m. sur le versant sud du col du Simplon (2002 m s. m.); il s'agit du seul bassin versant valaisan qui alimente le fleuve Pô. Du point de vue géologique, l'axe de la vallée coïncide avec un important décrochement est-ouest qui affecte les gneiss de la nappe de l'Antigorio.

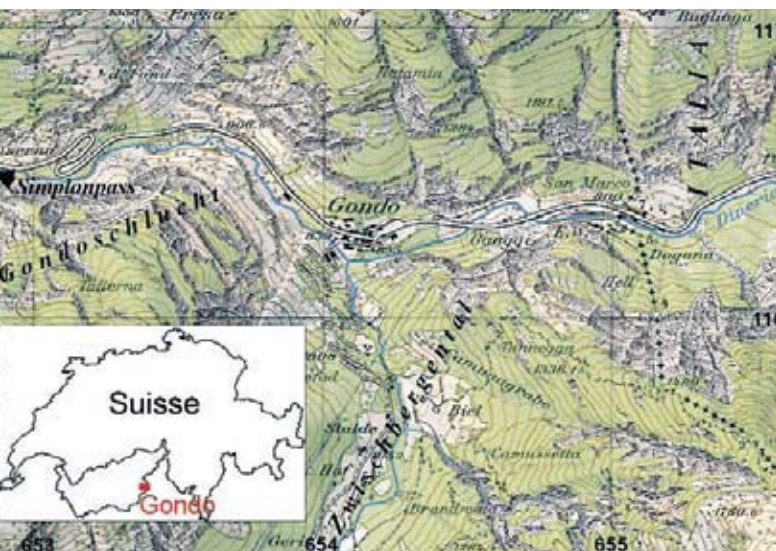


Fig. 1: Situation géographique de Gondo – Extrait de la carte topographique fédérale 1: 25 000.

3.2 Carte des dangers de Gondo

Gondo est depuis toujours exposé au danger de chute de pierres et à celui d'érosion de ses berges. Cette situation a conduit la commune à ériger en 1988 un imposant piège à blocs au-dessus du village. En 1996, une

¹ Hangmure – Spitting mudflow



Photo 1: Falaise dominant le village de Gondo (www.crealp.ch). On remarque le piège à blocs à l'amont de maisons.

étude structurale de la falaise réalisée à l'aide de la méthode MATTEROCK² confirmait le danger de chutes de pierres et justifiait la présence du piège à blocs. La confluence des cours d'eau Doveria et Grosses Wasser donne lieu chaque automne à un risque d'érosion des berges du bas du village. Le jour de l'événement une partie des habitations avaient été évacuée. Quant au risque de glissement de l'éboulis sur lequel est construit le village depuis plus de 400 ans, il n'a jamais été mis en évidence ni historiquement ni lors des constructions de bâtiments dont certains ont six étages (Photo 2). L'étude géotechnique qui avait précédé l'implantation du piège à blocs avait conclu à la stabilité de l'éboulis. Les forages n'avaient notamment pas détecté la présence d'eau souterraine.

3.3 Contexte météorologique de l'événement

3.3.1 Situation générale

La situation météorologique qui a prévalu lors des intempéries d'octobre 2000 est semblable à celle qui avait conduit aux inondations de Brig-Saastal-Doveria en 1993 avec un front d'humidité en provenance de la Méditerranée s'élevant jusqu'à 9000 m d'altitude (voir www.crealp.ch). Il en est résulté un franchissement aisé des Alpes valaisannes avec une forte pénétration dans la vallée du Rhône.

² Méthode d'auscultation de falaise et de détection d'éboulement potentiel développé par le Centre de recherche sur l'environnement alpin (voir website www.crealp.ch).

3.3.2 Intensité de l'événement pluviométrique

Comme le montre la carte des isohyètes de l'événement (voir Rapport principale, Chapitre Météorologie), la région de Gondo est celle qui a été le plus abondamment arrosée entre le 11 et le 15 octobre 2000 avec 678 mm à la station de Simplon-Dorf (7 km au nord-ouest de Gondo) contre 366 mm en 1993. Le record a été enregistré à la station de Lago Paione (5 km à l'est de Gondo) avec 809 mm dont 603 mm pour les seuls 13 et 14 octobre (495 mm à Simplon-Dorf).

Comme discuté plus loin, le «cul-de-sac» naturel au fond duquel se trouve Gondo a certainement favorisé une quantité de précipitations encore plus importante qu'à Lago Paione.

La quantité de précipitations a passé au-dessus des 50 mm/j dès le 12 octobre à 01h00. Entre le 13 octobre à 01h00 et le 14 à la même heure, elle a dépassé les 245 mm/j. Au moment de l'ovaille (10h15 le 14) il tombait encore 200 mm/j. Les précipitations ont cessé dans la matinée du 16 octobre. En 5 jours le nord-ouest du Tessin et la région du Simplon ont enregistré un cumul de précipitations de 35 à 45% plus élevé que celui sur 6 jours de septembre 1993. Une fois encore le comportement de l'isotherme 0°, qui dans un premier temps a franchi les 3000 m d'altitude pour redescendre à 2000 m à partir du 15 au matin, a été le paramètre clé. En effet, le retour de la neige à basse altitude a sauvé le canton du Valais d'une catastrophe encore plus grande.

3.4 Crue du Rhône et laves torrentielles

Comme le montre le tableau ci-après, cet événement météorologique a provoqué une crue quasi centennale sur les 120 km de tronçon du Rhône séparant la ville de Brig du lac Léman. Comme lors des intempéries de 1987 et 1993, la présence des barrages hydroélectriques d'altitude a permis une fois de plus de rabaisser le niveau de crue du Rhône (0,5 m entre Sion et Martigny), ce qui a évité des ruptures de digues encore plus importantes.

Sur l'ensemble du canton du Valais, en dessous de 2000 m d'altitude, les lits majeurs et berges de nombreux torrents ont alimenté des laves torrentielles dont certaines ont causé des victimes et d'importants dégâts. L'isotherme 0° – qui fort heureusement au cours des étés précédents (et surtout en 2000) s'est très rarement installé au-dessus de 3500 m – a fait que le permafrost des moraines périglaciaires n'était pas suffisamment dégelé pour donner lieu à des laves torrentielles comme cela a été le cas en 1987 et 1993.

3.5 Déclenchement de l'ovaille

Butant contre l'obstacle orogénique qui ferme la vallée de Zwischbergen au nord, la perturbation a déversé des quantités d'eau phénoménales sur Gondo. Les premiers géologues arrivés sur place observèrent 5 heures après le déclenchement de l'ovaille que le ruissellement formait encore une importante tranche d'écoulement laminaire à la surface de la paroi qui domine le village.

Selon le scénario le plus probable (Fig. 2 et suivantes), l'eau a pénétré dans le sol directement au pied de la falaise et a saturé les 3–5 d'éboulis ($K = 10-5$) qui recouvrent à cet endroit une moraine de fond imperméable, laquelle recouvre à son tour les gneiss sur 15 m de hauteur. Par solifluxion, une masse de 10 000 m³ de boue et de blocs a obstrué en quelques minutes le piège à blocs et fait barrage à l'eau qui s'écoulait à l'intérieur de celui-ci.

	Août 1987		Septembre 1993		Septembre 1994	Octobre 2000	
Bassin versant	Qobs. m ³ /s	Qnat. m ³ /s	Qobs. m ³ /s	Qnat. m ³ /s	Qobs. m ³ /s	Qobs. m ³ /s	Qnat. m ³ /s
Vispa à Visp	285	450	330	494	161	196	257
Rhône à Sion	775	1045	830	1054	546	910	1035
Rhône à Branson	820	1029	930	1091	614	980	1080

Tab. 1: Débits observés et naturels des crues de 1987, 1993, 1994 et 2000 (Crealp/CONCRU 2000).

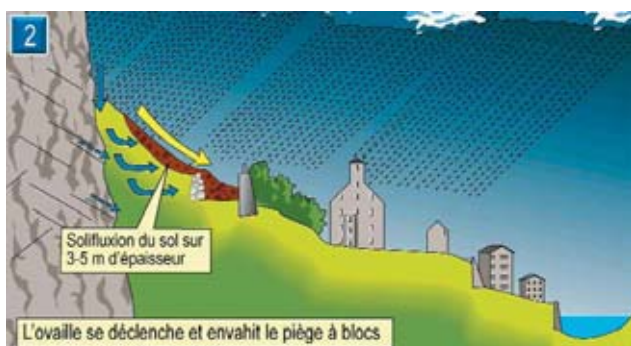


Fig. 2: Solifluxion du sol et déclenchement de l'ovaille.
Au centre la tour Stockalper. (www.crealp.ch).

L'eau accumulée derrière la masse s'est alors infiltrée en profondeur et a sous-miné les fondations du piège à blocs en moins de trente minutes. Ce mur – construit de façon à pouvoir malgré la forte pente former un écran pare-blocs d'une hauteur suffisante – est composé d'éléments de béton de type cyclopéen (dim. 2.5 x 8 x 15 m) pesant chacun 500 tonnes qui sont imbriqués les uns dans les autres par de simples joints de dilatation, ceci afin d'absorber sans dommage les dilatations dues aux fortes variations saisonnières de la température à cette altitude. Une fois les fondations solifluées, les trois éléments sur lesquels pressait la masse de boue ont basculé sur le dos (effet de levier estimé à 150–300 t/m²).

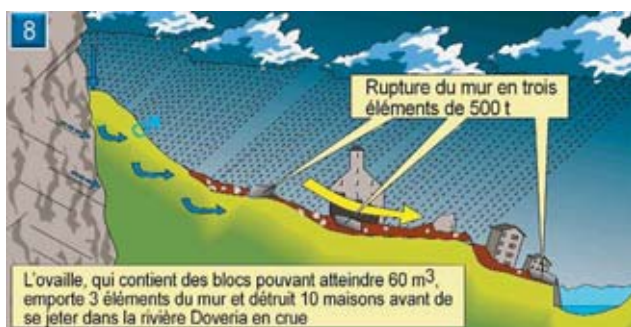


Fig. 3: Rupture brutale du piège à blocs. En moins de 20 secondes la coulée de boue coupe le village en deux. NOTA: Les 8 infographies illustrant le déclenchement de l'ovaille sont accessibles sur (www.crealp.ch).

Deux d'entre eux ont surfé sur la coulée de boue, participant à la destruction des maisons. Le premier s'est encastré dans la tour historique, alors que l'autre a poursuivi son chemin jusqu'au bord de la Doveria (Fig. 3 et Photo 2). En l'espace d'une vingtaine de secondes, le village s'est retrouvé coupé en deux sur une largeur de 50 m par une coulée déferlant à quelque 15–30 m/s.



Photo 2: Tranchée créée dans le village de Gondo. On distingue le piège à bloc, les trois éléments de mur (cerclés), la Doveria et la route internationale du Simplon qui traverse le village d'ouest en est (www.crealp.ch).

3.6 Période de retour du phénomène

En septembre 1993 le même type de perturbation en provenance du sud se divisait en deux axes principaux de pénétration en Valais: le Simplon et la vallée de Saas, avec les dégâts que l'on sait à Brig. Les vallées de l'Entremont (Gd-St-Bernard), sises à l'extrémité ouest du canton, étaient moins touchées.

En octobre 2000, le gros de la perturbation a envahi la région du Simplon et le nord-ouest du Tessin avec une pénétration générale en Valais beaucoup plus importante qu'en 1993. Il est incontestable que l'orientation nord-sud de la vallée de Zwischbergen et la position «cul-de-sac» de Gondo au pied d'une barrière orogénique haute de 2000 m a très certainement occasionné sur le village un déversement de précipitations beaucoup plus important que n'indiquent les stations d'enregistrement environnantes, ce que tend à démontrer une analyse pluviométrique en cours.

Les extrapolations de la période de retour d'un tel événement – telles qu'elles ont été réalisées à partir des valeurs des stations voisines de Cheggio (800 ans), Bognanco (3650 ans) et Varzo (9200 ans) – doivent rester indicatives du fait du manque de points de calage de la courbe (voir www.crealp.ch). Néanmoins, sur ces seules bases on peut admettre que l'événement pluviométrique de Gondo est millénal, si ce n'est plus.

4 Saltina (Brig-Glis)

André Burkard, Martin Jäggi

4.1 Einleitung

Der Wildbach Saltina (vom lateinischen «saltare», d.h. springen, hüpfen) hat als «springendes» Wasser Brig und Glis immer wieder in Atem gehalten. In der Zeit von 1500 bis 1875 überquerte eine 50 m lange und aus drei Steinbögen gebaute Brücke die Saltina. Nach und nach landete die Bachsohle immer mehr auf, weswegen der Unterlauf der Saltina zwischen 1875 und 1877 auf einer Breite von 10–12 m kanalisiert wurde. Aus einem 1831 in Brig erschienen Kalender (Anonymus, 1899) entnehmen wir:

«... Nur durch den mittleren Bogen dieser steinernen Brücke findet der wilde Strom seinen Ausweg, denn auch der dritte Bogen steckt, wie der erste, tief im Boden. Diejenigen, welche diese Brücke haben erbauen lassen, wussten wahrscheinlich aus Erfahrung, dass sich die tobende Saltine nicht zu allen Zeiten mit einem so schmalen Raume begnügt. Nehmen wir das Jahr 1828 als Beispiel an. Zwar fasste das mittlere Gewölbe dazumal noch immer alles Wasser, allein es hätte sich nur unter den häufig herbeiströmenden Hölzern ein einziger Stamm, mit oder ohne Wurzeln, überzwerch zu werfen brauchen, so wäre diese Öffnung auf einmal geschlossen gewesen, und die Folgen für den unteren Teil der Stadt, oder wenigstens aller nahe gelegenen Güter, höchst gefährlich geworden. Schon um einer solchen Gefahr willen, die sich in jedem Jahr erneuern kann, ist der wirklichen Brücke eine sogenannte Fall- oder Zugbrücke weit vorzuziehen; denn sollte auch ein noch so schnelles und unerwartetes Anschwellen der Saltine statthaben, wäre die Fallbrücke innerhalb fünf Minuten aufgezogen, wovon die eine Hälfte einer solchen aus zwei Teilen bestehenden Zugbrücke als Schutzwehr für die Stadt vortrefflich dienen würde ...»

Es brauchte die verheerende Überschwemmung am 24. September 1993, damit die 1831 geschilderte Zugbrücke 1997 gebaut wurde.

Die erste Hauptprobe fand beim sehr grossen Hochwasser vom 14./15. Oktober 2000 statt – nur drei Jahre nach dem Bau der Hubbrücke. Deshalb und dank weiterer Schutzmassnahmen, die anschliessend an das Hochwasser von 1993 realisiert worden waren und während des Hochwassers 2000 umgesetzt wurden, konnte Brig-Glis vor einer Überflutung bewahrt werden.

4.2 Das Einzugsgebiet

Das 78 km² grosse Einzugsgebiet der Saltina liegt am Alpenhauptkamm nördlich des Simplonpasses. Das Bortelhorn mit 3194 m ü. M. stellt den höchsten Punkt

dar (Fig. 1). Massgebend für hohe Abflüsse sind die Teileinzugsgebiete Ganter (36 km²), Taferna (17 km²) und Nessel (9 km²). Diese drei Gerinne vereinigen sich im mit 6% geneigten Gerinneabschnitt Im Grund auf einer Höhe von 1050 m ü. M. (Fig. 1 und Foto 1). Erst diese drei Vorfluter bilden die Saltina, die anschliessend durch die sehr enge und steile Schlucht fliesst. Vom Schluchtausgang (850 m ü. M.) bis zur Napoleonsperre (725 m ü. M.) liegt der sogenannte 2 km lange Gerinneabschnitt Grindji, dessen Neigung von 10% auf 2% kontinuierlich abnimmt. Der anschliessende 1,8 km lange kanalisierte und 10–12 m breite Saltinaabschnitt liegt grösstenteils auf einem Schwemmkegel und weist eine abnehmende Längsneigung von 4% auf ca. 2% auf. Die Saltina mündet schliesslich auf einer Höhe von 670 m in den Rotten ein. Rund 30% des Einzugsgebiets sind bewaldet, Schutthänge machen rund 10%, Felsgebiete 10% und Weid- und Wiesengebiete rund 50% aus.

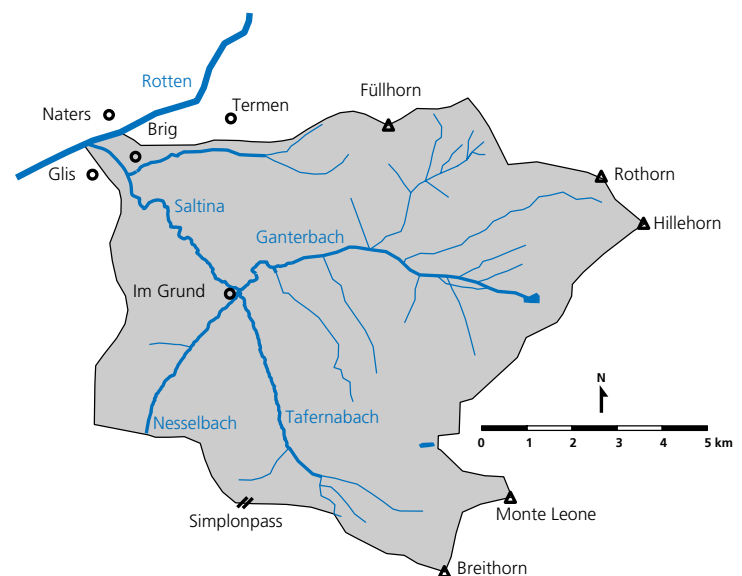


Fig. 1: Einzugsgebiet der Saltina

Die Quartärgeologie des Gebiets ist geprägt durch grössere Flächen glazial- und postglazialer Moränen sowie Hang- und Blockschutt unterhalb von Felswänden. Nach VAW (1994¹) kann das Einzugsgebiet in vier Flächen gleicher Retentionseigenschaften, in so genannte Abflusstypen, unterteilt werden. Demnach weist rund die Hälfte des Einzugsgebiets eine (sehr) grosse Bodenretention auf. Es sind Zonen mit Ablagerungen quartären oder rezenten Alters mit grosser bis sehr grosser Mächtigkeit (2–5 m bzw. > 5 m). Der Abflusskoeffizient liegt daher im Vergleich mit anderen Einzugsgebieten eher tief ($q_{100} \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$) und führt zu einem gedämpften Verhalten des Saltina-

abflusses, wobei die spezifischen Abflüsse innerhalb der Teileinzugsgebiete um den Faktor 2–3 variieren können. Eine grobe Schätzung für das Ereignis von Oktober 2000 führt zu spezifischen Abflüssen von 2–3 m³/s*km² für die Taferna, von (1)–2 m³/s*km² für den Ganterbach und 1–(2) m³/s*km² für den Nesselbach (Ereignis von 1993: Ganterbach: 1.7 m³/s*km², Taferna: 2–4 m³/s*km² und Nesselbach: 1.1 m³/s*km²). Zu grösseren Abflüssen kommt es nach VAW (1994¹) erst, nachdem eine eingehende Befeuchtung des Bodens stattgefunden hat und nach Niederschlägen über 100 mm innerhalb weniger Tage. Während der Nacht vom 13. auf den 14. Oktober 2000 stieg der Abfluss von 20 auf 70 m³/s an, nachdem im Einzugsgebiet 200 mm Niederschlag innerhalb von einigen Tagen gefallen waren.

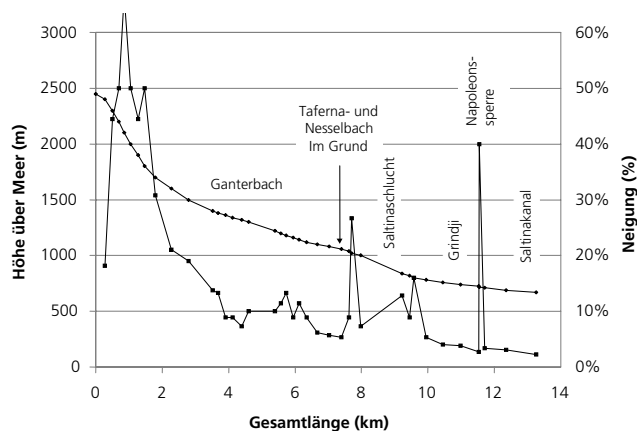


Fig. 2: Längenprofil des Ganterbaches und der Saltina und Abschnitte mittlerer Neigung innerhalb gewählter Gerinneabschnitte.

4.3 Niederschlag

Die ausserordentlichen Niederschläge aus südwestlicher Strömungsrichtung vom Oktober 2000 begannen am 9. Oktober mit mässigen Intensitäten. Ab Mittwoch, dem 11. Oktober traten namhafte Intensitäten auf. Insgesamt hielten die Niederschläge bis am 17. Oktober an. Die Schneefallgrenze lag gerade während des Niederschlagsmaximums, vom 13. bis 14. Oktober, wesentlich über 2500 m ü. M. Das Hochwasser vom Oktober 2000 war durch eine Wetterlage geprägt, durch die während etwa sieben Tagen eine ortsfeste Südanströmung gegen die Alpen bestand. Für die Niederschläge bedeutete dies nach Grebner et al. (2000) eine ununterbrochene Überregnung der gleichen Region. Im Raume Simphon fielen extreme Mengen mit eingelagerten Spitzenintensitäten. Markant waren gleichzeitig wiederholt entstandene, schauerartige Intensitätsspitzen in unmittelbarer Nähe von Gondo.

Die grössten Tagesniederschläge akkumulierten sich dadurch am 13. und 14. Oktober 2000 im Raum Simphon-Südrampe. Die Wiederkehrperioden der 1-, 2- und 5-tägigen Niederschlagssummen erwiesen sich deutlich höher als im September 1993. Die erwähnten Niederschlagssummen für die Region Binn-Simphon werden einer Wiederkehrdauer von (weit) über 500 Jahren zugeordnet Grebner et al. (2000).



Foto 1: Blick auf das Gebiet Im Grund (1050 m ü. M.) und die Bäche Ganter (1), Taferna (2), Nessel (3) und Saltina (4). Foto: André Burkard, November 2000.

4.4 Abflussganglinie

Fig. 3 illustriert die gemessene Abflussganglinie vom Oktober 2000. Die Ganglinie vom September 1993 wurde von VAW (1994¹) rekonstruiert; demnach wurde die Abflussspitze zwischen 80–100 m³/s und die Dauer für einen Abfluss von mindestens 30–40 m³/s auf 20 Stunden ermittelt. Bezeichnend am jüngsten Ereignis ist die Abfolge von zwei 100-jährlichen Abflussspitzen von rund 120 m³/s jeweils am Samstag- und Sonntagvormittag, dem 14. bzw. 15. Oktober 2000.

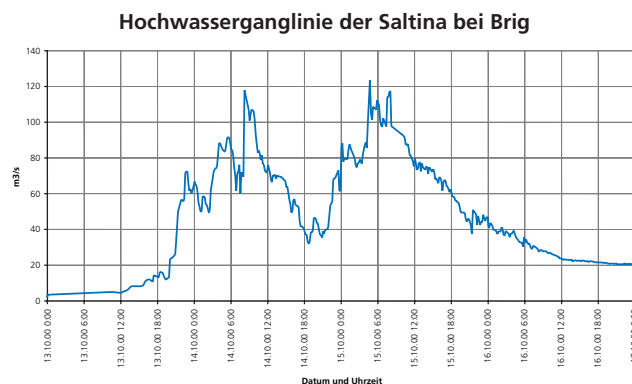


Fig. 3: Abflussganglinie der Messstation Saltina, Brig mit zwei Abflussspitzen am Vormittag des 14. und 15. Oktober 2000.

Beide Maxima bilden die Spitze eines praktisch gleichschenkligen Dreiecks mit einer Basisdauer von jeweils 24 h für Abflüsse von mindestens 40 m³/s. Es flossen mindestens 40 m³/s während 48 Stunden, mindestens 80 m³/s während 20 h und mindestens 100 m³/s während 8 h. Dies entspricht zwei nacheinander auftretenden HQ₁₀₀, wenn man die hydrologische Untersuchung der Hochwasserkatastrophe in Brig vom 24. September 1993 (VAW 1994¹) zugrunde legt. Die Dauer kann dem zufolge gar einem 500-jährliche Ereignis zugeordnet werden.

Am späteren Sonntagvormittag, dem 15. Oktober 2000, erreichten der Rotten und die Saltina bei Brig praktisch zeitgleich den höchsten Wasserstand. Zum Spitzenwert in Brig (560 m³/s) haben nach Grebner et al. (2000) das Goms (Station Reckingen), die Massa und die Saltina mit rund 120 m³/s ähnlich viel beigetragen. Sowohl bei der Saltina als auch beim Rotten in Brig liegen die Spitzenwerte rund 20–25% über jenen von 1993.

Die Analyse der Hochwasser seit dem 17. Jahrhundert zeigt, dass hohe Saltinaabflüsse praktisch ausschliesslich und gleich verteilt in den Monaten August, September und Oktober auftreten.

4.5 Geschiebetransport und Ablagerungen

1923 wurde die Napoleonssperre (Fig. 2 und Fig. 4) nach den Hochwassern von 1920, 1921 und 1922 erstellt. Die Folge davon war ein starker Geschieberückhalt im Grindji und dadurch eine Reduktion der Geschiebezufuhr in den Saltinakanal im Unterlauf. Dies führte dort zu einer erhöhten Erosionsanfälligkeit. Als Gegenmassnahme wurden Sperren zur Fixierung der Sohle erstellt.

Zwischen den Sperren erhält die alluviale Sohle entsprechend der Geschiebezufuhr ein höheres oder geringeres Zwischengefälle. Aus der Differenz zwischen dem Bruttogefälle, welches dem Verhältnis der Höhendifferenz zwischen den Sperrenkronen und dem Abstand der Sperren entspricht, und diesem Zwischengefälle ergibt sich die Absturzhöhe an den Sperren (s. a. Fig. 5). Geringe Geschiebezufuhr und ein flaches Gefälle führen zu übergrossen Kolken und eventuell zum Kollaps der Sperren. Wird zu viel Geschiebe zugeführt, so kann das Zwischengefälle grösser werden als das Bruttogefälle. Dadurch wird die obere Sperre des entsprechenden Feldes eingekiest und der Bach uferstark zu starker Sohlenhebung aus. Es gilt somit, den Geschiebeaustrag aus dem Grindji möglichst genau zu dosieren.

4.5.1 Geschiebeablagerung im Grindji

Nach der Überschwemmung von 1993, die durch eine Überlastung des Saltinakanals durch Geschiebe bei der Saltinabrücke verursacht wurde, wurden im Jahr 1994 100 000 m³ Geschiebe über einer Länge von 600 m im untersten Grindjiabschnitt weggeführt, um wieder einen wirksamen Rückhalteraum zu erhalten (Fig. 4). Gemäss der flussbaulichen Analyse der VAW (1994²) muss der generellen Auflandungstendenz im unteren Teil des Grindjis entgegen gewirkt werden. Dies ist von zentraler Bedeutung, weil ohne Unterhaltmassnahmen langfristig die Transportkapazität im Unterlauf des Grindji jene des Saltinakanals übersteigt. Es wurden im untersten Abschnitt des Grindji zwei Geschieberückhaltekompartimente angeordnet. Am unteren Ende jeder Kammer ist ein Gefälle von 1.5% angelegt worden, damit die erwünschte dosierte weiterverfrachtete Geschiebemenge in den Saltinakanal ermöglicht wird. So kann die Saltina während eines Hochwassers ständig eine Geschiebemenge aufnehmen, welche im Unterlauf zwischen den Sperren ein Zwischengefälle bewirkt, das weder zu übermässiger Auflandung noch zu Erosion führt.

So wird nur das wirklich überschüssige Geschiebe zurückgehalten. Ein konventionelles Geschieberückhaltebecken würde auch noch grosse Mengen an Schwebstoffen zurückhalten. Eine solche Anlage würde auch einen temporären Unterbruch der Geschiebeführung bewirken, womit ein momentan zu flaches Gefälle und Kolkprobleme an den Sperren die Folge wären.

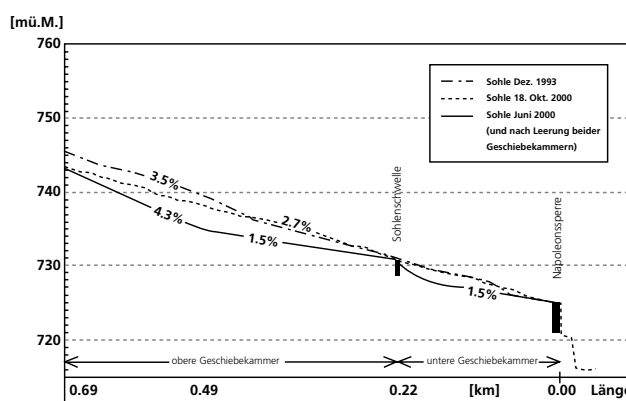


Fig. 4: Längenprofil der oberen und unteren Geschiebekammer im Unterlauf des Grindji mit 1.5% geneigter Dosierstrecke jeweils am unteren Kammerende.

In beiden Geschiebekammern, die vor dem Ereignis 2000 praktisch leer waren, wurden nun 60 000 m³ Geschiebe abgelagert. Die Fotos 2, 3 und 4 zeigen die Verhältnisse in der oberen Geschiebekammer vor,

während und nach dem Ereignis vom Oktober 2000. Es hat sich ein einigermaßen gleichmässiges Verlandungsgefälle von 2.7% über einer Länge von 700 m eingestellt (im Unterlauf des Saltinakanals stellte sich gemäss den Modellversuchen (VAW 1994¹) im Ereignis von 1993 ein Verlandungsgefälle von 2.4% ein).

Basierend auf der gemessenen Abflussganglinie vom Oktober 2000 ergibt sich rechnerisch bei einem konstanten Gefälle von 1.5% ein Austrag in den Saltinakanal von 25 000 m³. Diese Fracht liegt zwar in der gleichen Grössenordnung wie jene vom September 1993, allerdings war die Transportrate 1993 mit der kürzeren Ereignisdauer und dem steileren Gefälle höher.

Für das Hochwasserschutzkonzept Brig-Glis wurde auch die Wirkung der Geschieberückhalteammern für sehr hohe Geschiebeeinträge in den Abschnitt Grindji untersucht (Schälchli & Abegg, 1998). Diese entsprachen ungefähr der maximalen Transportleistung der Saltina am Schluchtausgang oberhalb des Grindji, was eine Sättigung des Transports durch Einträge aus den Seitengerinnen und den Hängen voraussetzt. Wie Tab. 1 verdeutlicht, war der Eintrag im Oktober 2000 deutlich weniger hoch. Gemäss diesen Berechnungen funktioniert die Dosierung auch für solch hohe Einträge, doch gibt es dann eine stärkere rückwirkende Auflandung und damit Ablagerungen weit oberhalb der beiden

Kammern. Somit war die Rückhaltekapazität der Kammern im Oktober 2000 bezüglich der Dauer des Ereignisses erschöpft, jedoch nicht bezüglich der Höhe der Eintragsrate. Für den Fall extrem hoher Zufuhr hätte noch mehr Speichervolumen zur Verfügung gestanden.

Aus dem Gutachten Schälchli & Abegg (1998) resultieren Geschiebeausträge in den Saltinakanal von 17 000 und rund 40 000 m³ für $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $150 \text{ m}^3/\text{s}$, ausgehend von der Ganglinie (VAW 1994¹) aus (Tab. 1). Der berechnete Austrag von 25 000 m³ für das Ereignis 2000 stimmt mit diesen Werten gut überein, da die gemessene Ganglinie vom Spitzenabfluss aus betrachtet einem theoretischen HQ_{100} und von der Dauer her einem Extremereignis EHQ entspricht.

Der grosse Vorteil der Dosierstrecke ist der Umstand, dass die Dosierung und somit die Austragsrate praktisch unabhängig vom Eintrag in die Geschiebekammern sind.

Beobachtungen während des Hochwassers vom Oktober 2000 zeigten, dass die Geschiebekammern am Sonntagmorgen gefüllt waren, und damit die Dosierwirkung am unteren Ende der Geschiebekammern abzunehmen begann. Die damit zusammenhängende Zunahme des Geschiebeaustrags in den Saltinakanal war auch an der intensiveren Farbe des Wassers erkennbar.



Foto 2: Leere obere Geschiebekammer im Grindji. Foto in Fliessrichtung, Aufnahme vom 10. Februar 2000 (André Burkard).



Foto 3: Obere Geschiebekammer im Grindji. Foto in Fliessrichtung, Aufnahme vom 14. Oktober 2000 (André Burkard).



Foto 4: Gefüllte obere Geschiebekammer im Grindji. Foto in Fliessrichtung, Aufnahme vom 4. November 2000 (André Burkard).

Ereignis	Wiederkehrdauer	Ganglinie, Dauer mit Abfluss > 40m³/s > 80 m³/s	Neigung der Dosierstrecke (DS) Grindji	Eintrag ins Grindji	Ablagerung im Grindji (gerundet)	Austrag in Saltinakanal	Autor(en)
September 1993 $Q_{\max} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	50–100 J. (VAW)	15 h / 3 h (VAW)	3% keine Dosierstr. (L = 400 m)	60 000 m³	30 000 m³	30 000 m³* gemessen	VAW (1994 ¹ , 1994 ²)
24. Sept. 1993 $Q_{\max} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$	50–100 J. (VAW)	15 h / 3 h (VAW)	DS = 1.5%	60 000 m³	55 000 m³	5000 m³ berechnet	VAW (1994 ¹)
$Q_{\max} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$	100 J.	20 h / 7 h (VAW)	DS = 1.5% (L = 400 m)	145 000 m³ geschätzt	128 000 m³ berechnet	17 000 m³ berechnet	Schälchli & Abegg (1998)
$Q_{\max} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$	500 J.	40 h / 13 h (VAW)	DS = 1.5% (L = 400 m)	230 000 m³ geschätzt	190 000 m³ berechnet	40 000 m³ berechnet	Schälchli & Abegg (1998)
Okt. 2000 $Q_{\max} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$	> 100 J.	48 h / 18 h gemessen	DS = 1.5% (L = 400 m)	85 000 m³ berechnet	60 000 m³** gemessen	25 000 m³*** berechnet	Jäggi (2001)

Tab. 1: Geschiebeeintrag in den flachen Unterlauf des Grindjis (Schlüsselstrecke), Ablagerung und Austrag in den Saltinakanal für unterschiedliche Ereignisse sowie vor und nach Massnahmen für das Ereignis vom September 1993.

* In Brig abgelagertes Geschiebe (Schwebstoffe und Feingeschiebe machten rund 300 000 m³ aus).

** Der Geschiebeein- und austrag ergeben sich aus einer groben Abschätzung.

*** Der Wert resultiert aus Querprofilen vor und nach dem Ereignis.

4.5.2 Geschiebe im Saltinakanal

Die kanalisierte Strecke der Saltina weist eine begrenzte und gegen die Mündung in den Rotten hin abnehmende Transportkapazität auf. Die Zunahme des Geschiebeaustrags wegen Abnahme der Wirksamkeit der Dosierung in den Geschiebekammern führte denn auch zu Auflagerungen im Saltinakanal im Verlaufe des Sonntags, dem 15. Oktober 2000. Dies konnte besonders auf der gepflasterten Sohle im Bereich der Hubbrücke und auf der Höhe des Spitals im Unterlauf des Saltinakanals beobachtet werden (Foto 5). Solche Ablagerungen führen erst dann zu Schäden, wenn das Absturzbauwerk oberhalb der Hubbrücke deutlich eingekiest ist. Dieser Zustand wurde am 15. Oktober 2000 nicht erreicht.

Das Geschiebe auf dem gepflasterten Kanalabschnitt unterhalb der Hubbrücke wurde am Dienstag kontinuierlich weggeschwemmt, was durch die steile Rampe unmittelbar oberhalb der Hubbrücke wohl gefördert wurde. Die temporären Geschiebeablagerungen im Saltinakanal werden grob auf 2000 bis 3000 m³ geschätzt (unterhalb der Hubbrücke und zwischen der Überland- und Festungswachtbrücke).

4.5.3 Geschiebe im Rotten

Am linksufrigen Rottenbett, im Deltabereich der Saltina, bildete sich eine Geschiebebank von rund 1500 m³, die wohl zum grössten Teil der Saltina zuzuschreiben ist.



Foto 5: Angehobene Hubbrücke über die Saltina. Sonntagvormittag, 15. Oktober 2000 (St. Walther, Brig-Glis).

4.6 Wasserstand und Überflutung

Der Vergleich des höchsten Wasserstandes im Saltinakanal mit den Werten in Fig. 5 zeigt, dass der beobachtete höchste Wasserspiegel am 15. Oktober vormittags sehr gut mit den von der VAW 1994 simulierten Werten für einen Spitzenabfluss von 120 m³/s und einem Geschiebeaustrag in den Kanal von rund 17 000 m³ überein gestimmt hat. Oberhalb der Hubbrücke schien der beobachtete Höchstwasserstand die simulierten Werte nicht ganz erreicht zu haben, was auf die wegen geringeren Eintragsraten auch geringeren Ablagerungen zurückzuführen ist.

$HQ_{100}/Q_{\max} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ – Geschiebeeintrag $GF = 16'500 \text{ m}^3$ (VAW, 1994), $15'900 - 17'900 \text{ m}^3$ (Schälchli & Abegg, 1998)

Geschiebeabtrag in den Rotten $GF = 11'500 \text{ m}^3$; Ablagerung im Kanal V $\sim 7'200 \text{ m}^3$ ($GF = 5'000 \text{ m}^3$)

[m ü. M.]

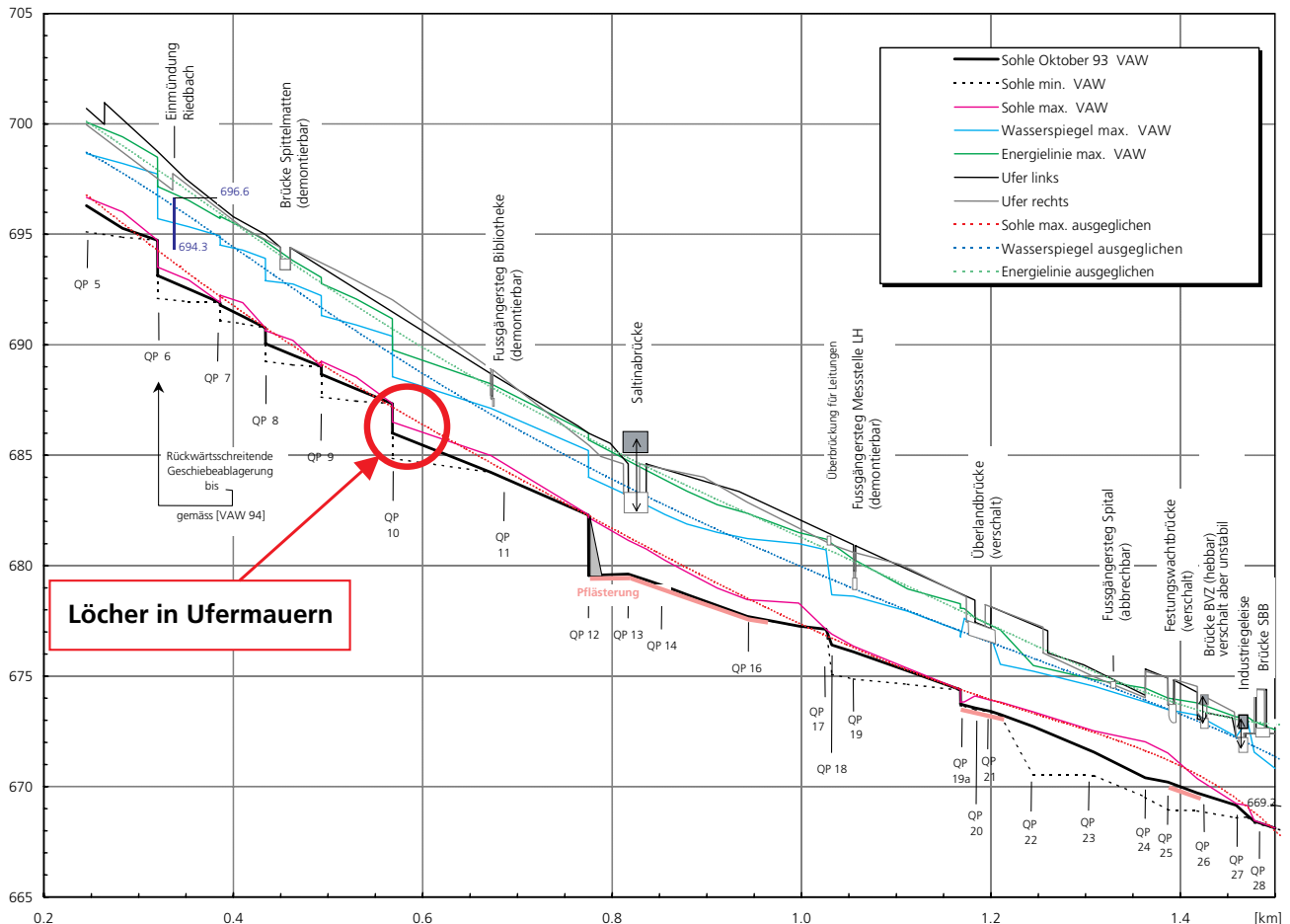


Fig. 5: Längsprofil des untersten Saltinakanals (Einmündung Riedbach bis Rotteneinmündung) mit den nach Schälchli & Abegg (1998) simulierten Abflusshöhen und Geschiebeabtragungen für eine 100-jährliche Abflussspitze und einem Geschiebeeintrag von rund $17\,000 \text{ m}^3$ (ARGE SBWZ, 2000).

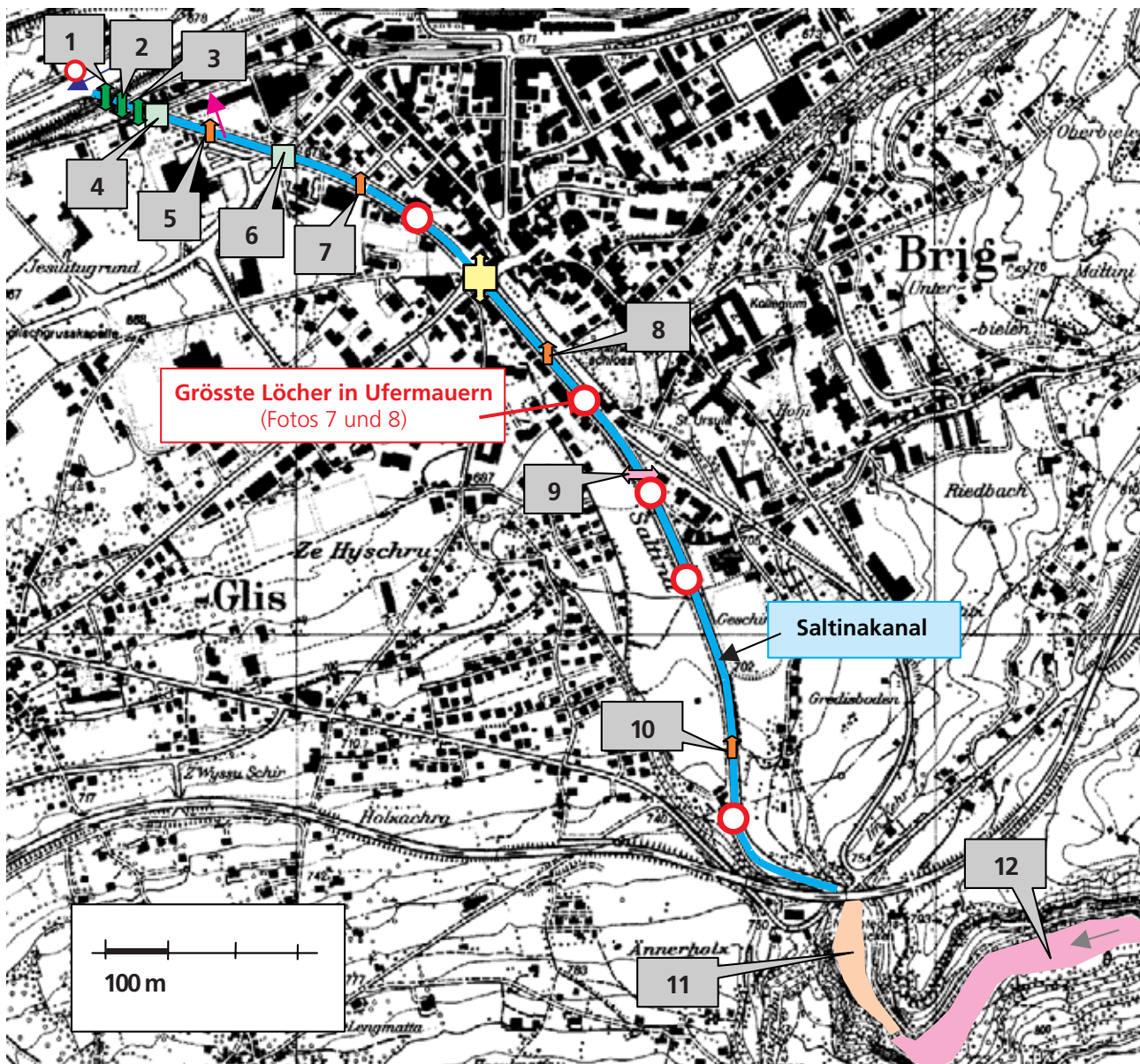
Zwischen den verschalteten Brücken Überlandstrasse und Festungswacht (Foto 6) verursachte die Auflandung einen kritischen Anstieg des Wasserspiegels bis auf die Höhe des (noch nicht abgebrochenen) Fussgängerstegs, der den schwallartigen Abfluss zeitweise leicht staute, so dass Wasser rechtsufrig in die Keller-geschosse der Rehabilitationsklinik eindrang. Mit Schalungstafeln und Sandsäcken konnte die leichte und (sehr) lokale Überflutung nach etwa einer halben Stunde eingedämmt werden.

4.7 Ufererosion im Saltinakanal

Im Saltinakanal brachen die Ufermauern an einigen Stellen in unterschiedlichem Ausmass zusammen, an anderen Stellen wurden die Ufermauern unterspült (Foto 7 und Foto 8). Solche Erscheinungen waren

schon teilweise nach dem Ereignis vom September 1993 festgestellt worden, wurde aber noch nicht saniert. Die Einbrüche der Ufermauern erfolgten während den Hochwasserspitzen am Samstag- und Sonntagvormittag. Der erste Einbruch von ca. 20 m^2 konnte am späteren Freitagvormittag, 14. Oktober 2000, unmittelbar oberhalb der Spittelmattenbrücke in einer leichten Linkskurve beobachtet werden (Fig. 5 und Fig. 6).

Die grössten Löcher entstanden am Sonntagvormittag, 15. Oktober 2000, infolge eines weggeschwemmten Kolkschutzes aus grossen Blöcken bei einer $1,5 \text{ m}$ hohen Sperre, rund 250 m oberhalb der Hubbrücke (Fig. 5). Die Ufermauer brach nach Bodenmann (16.10.2000) um 7 Uhr linksufrig und um 10 Uhr rechtsufrig ein. Es entstanden Löcher im Dammkörper von ca. 200 bzw. 400 m^3 (Foto 7 und Foto 8). Ein angrenzendes Wohnhaus musste evakuiert werden. Die



Überbrückungen über den Saltinakanal

- | | | | |
|---|---|---|---|
|  | 1, 2, 3: hebbare SBB-, Industriegleis- und BVZ-Brücken |  | 9: demontierbare Spittelmattenbrücke |
|  | 4, 6: Verschalte Festungswacht- und Überlandstrassenbrücke |  | 11: Untere Geschiebekammer |
|  | 5, 7, 8: Abnehmbare Fussgängerstege |  | 12: Obere Geschiebekammer |
|  | 10: abbrechbarer Fussgängersteg |  | leichte, lokale Überflutung am 15. Oktober 2000 |
|  | Saltina-Hubbrücke |  | Grössere Löcher in den Ufermauern |

Fig. 6: Überbrückungen über den Salinakanal und Lage der grösseren Löcher in den Ufermauern.

Ufermauer wurde auch beim Übergang von gepflästerter zu natürlicher Sohle, bei einer leichten Rechtskurve beschädigt.
Die Geschiebedosierung ist so angesetzt, dass in der kritischen flachen Strecke bei der Hubbrücke möglichst

lange keine Auflandungen entstehen. Deshalb war das Zwischengefälle in den eher steileren Abschnitten oberhalb der Hubbrücke flacher als beim Ereignis von 1993. Darum und auch wegen des höheren Spitzenabflusses war die Kolkbelastung grösser.

4.8 Treibholz

Beobachtungen über Treibholz liegen kaum vor. Der erste Autor hat am Sonntagvormittag kontinuierlich Stämme, die parallel zur Strömung gerichtet waren und mehrheitlich in Bachmitte trieben, beobachtet.



Foto 6: Blick in Fliessrichtung auf den Unterlauf des Saltinakanals auf der Höhe des Spitals. Die Stelle, wo der Fussgängersteg abgebrochen wurde, ist mit einer punktierten weissen Linie markiert. Der Abfluss staute sich zweitweise und leicht an der verschalteten Festungswachtbrücke (Foto: André Burkard).



Foto 8: Einbrüche der Ufermauer bei einer Sperre am 15. Okt. 2000.



Foto 7: Einbruch der Ufermauer bei einer Sperre am 15. Okt. 2000.

Eine zufällige Auszählung über 1 Minute zeigte ein sichtbares Stück Holz pro Sekunde im Saltinakanal. Beobachtungen während des Ereignisses 2000 zeigten jedoch, dass Treibholz nirgends zu kritischen Situation geführt hatte. Es wurde beobachtet, dass mitgerissene Bäume durch die Strömung nach etwa 1 Kilometer entastet und teilweise gebrochen wurden.

4.9 Interventionsmassnahmen während des Ereignisses

Samstag, 14. Oktober 2000

Baumaschinen werden aufgeboden und Wachtposten platziert. Die Hubbrücke Saltina wird frühmorgens angehoben. Um ca. 11 Uhr Mauereinbruch oberhalb Spittelmattbrücke, und diverse Leitungen werden freigespült. Sofort werden die Löcher mit grossen Blöcken stabilisiert. Spittelmattbrücke und Fussgängersteg Altersheim werden entfernt und Baumaschinen bei der BVZ-Brücke postiert. Treibholz in der Saltina klein. Die Ufermauern des Saltinakanals sind unterspült.

Sonntag, 15. Oktober 2000

Um ca. 7 Uhr linksufrig, um 10 Uhr rechtsufrig Einbruch gegenüber liegenden Ufermauern zwischen Hub- und Spittelmattbrücke. Die entstandenen Löcher werden mit grösstmöglichen Steinblöcken gefüllt. Angrenzendes Haus wird evakuiert. Fussgängersteg auf der Höhe des Spitals wird abgebrochen. Angehoben werden die SBB-Brücke und die Industriegleisbrücke, die BVZ-Brücke wird entfernt. Wasseraustritt rechtsufrig auf der Höhe des Spitals, das linksufrig liegt, Wassereintritt in die rechtsufrig gelegene Rehabilitationsklinik. Pulsierende schwache Überflutung, die kurz danach mittels Holztafeln gestoppt werden kann. Die Bevölkerung wurde während des Ereignisses durch das Lokalradio Radio Rottu laufend über die Situation und die Verhaltensmassnahmen informiert. Alle Brücken wurden im Verlaufe des Samstags oder Sonntags angehoben, abgebrochen oder demontiert (Spittelmatten).

4.10 Schäden und Massnahmen aufgrund des Ereignisses vom Oktober 2000

Aus den Geschiebekammern müssen 60 000 m³ Geschiebe bis Frühling 2001 geräumt werden. Der Aufwand wird auf 1.2 Mio. Fr. veranschlagt. Die Interventionsmassnahmen des Krisenstabs, der

Feuerwehr, des Zivilschutzes und weiterer Dienste werden für die Saltina auf rund eine halben Mio. Fr. geschätzt. Andere Schäden im Einzugsgebiet der Saltina werden auf mehrere Millionen geschätzt (Wasserfassungen, Brücken, Stege, Strassen, durch Rutsche zerstörte Häuser).

Die Sanierung des gesamten 1,8 km langen Saltinakanals (Kolkchutz und Sanierung, Unterfangung und Erweiterung der Ufermauern, Anreicherung der Sohle durch Blöcke) wird auf 8 Mio. Fr. veranschlagt.

4.11 Massnahmen zwischen Oktober 1993 und September 2000

Im Grindji

Durch die Entnahme von 100 000 m³ Geschiebe wurden 1994 zwei Geschiebekammern mit einer jeweiligen 1.5% geneigten Dosierstrecke geschaffen. Vor dem Ereignis vom Oktober 2000 enthielten die Geschiebekammern 3000–4000 m³ Geschiebe aus kleineren Ereignissen.

Im Saltinakanal

Die Ufermauern im untersten Abschnitt wurden unterfangen und auf einen 100- bis 300-jährlichen Abfluss mit einem Geschiebeaustrag von 33 000–37 000 m³ angepasst (Schneller Ritz und Partner AG, 1998). Bei den Schwellen wurden die Kolkstellen mit grossen Blöcken ergänzt und die Bachsohle wurde angereichert. Alle Brücken und Fussgängerstege über den Saltinakanal können seit 1993 angehoben, entfernt, oder demontiert werden. Die 1997 gebaute neue Saltinabrücke kann um 2,8 m in 2,5 Minuten angehoben werden, nachdem Wassertanks in 3,5 Minuten gefüllt worden sind (Meyer et al., 1997). Zwei Brücken sind verschalt worden (Überlandstrasse und Festungswacht). Einzig der Fussgängersteg auf der Höhe des Spitals muss abgebrochen werden (was während des Ereignisses 2000 denn auch geschah). Ein Hochwasserschutzkonzept wurde 1998 an die ARGE SBWZ (2000) in Auftrag gegeben.

Die Kosten der Massnahmen zwischen 1993 und 2000 betrugen rund 5 Mio. Fr.

4.12 Folgerungen und Ausblick

Beim Ereignis vom 14./15. Oktober 2000 haben sich die seit 1994 realisierten Massnahmen im Unterlauf des Grindji und am Saltinakanal weitgehend bewährt. Ohne diese Massnahmen wäre eine Überflutung von Brig und Glis vermutlich noch verheerender ausgefallen als damals, als die Saltinabrücke am 24. September

1993 vollständig eingeschottert wurde und der Abfluss sich während 16 Stunden in Brig und Glis ergoss. Diese Katastrophe kostete zwei Menschen das Leben. Der Schaden wird auf eine halben Milliarde Fr. beziffert. Der Vergleich beider Hochwasser zeigt nun, dass sowohl die Dauer als auch die Hochwasserspitze(n) des Ereignisses vom Oktober 2000 jenes vom September 1993 deutlich übertraf.

Der Hochwasserschutz beruht auf baulichen Massnahmen wie den Geschiebrückhalteräumen im Grindji, der Hubbrücke, den verschalteten Brücken (Überlandstrasse und Festungswacht) und erhöhten Ufermauern. Daneben sind zur Bewältigung eines solch extremen Hochwasserereignisses temporäre Massnahmen notwendig, wie das Entfernen verschiedener leichter Brücken und Stege. Das System wurde im Oktober 2000 bis an die Grenzen belastet, und es waren an den Ufermauern Schäden zu verzeichnen. Bei den verschalteten Brücken geriet der Abfluss, wie für extreme Ereignisse geplant, zeitweise unter Druck. Die Rückhaltekapazität im Grindji war gegen Ende des Ereignisses erschöpft. Insgesamt hat das System aber so wie geplant funktioniert.

Im Zuge einer weiteren Verbesserung werden die Schwellen und Ufermauern im Saltinakanal kolk sicher gemacht und Uferlücken (auf der Höhe des Spitals und der Rehabilitationsklinik) geschlossen. Für die künftige Hochwassersicherheit ist entscheidend, dass die Geschiebekammern im Unterlauf des Grindji immer geräumt sind, um einer Überlastung des Saltinakanals entgegen zu wirken. Ausserdem hängt die Hochwassersicherheit weiterhin von den Interventionsmassnahmen während des Hochwassers ab (rechtzeitiges Anheben und demontieren aller Brücken und Stege). Dieses «Dreierpaket» von Massnahmen zwingt die Verantwortlichen, sich mit der «springenden» Saltina auch zukünftig dauernd auseinanderzusetzen. Zur Diskussion stehen gemäss Hochwasserschutzkonzept (ARGE SBWZ, 2000) ausserdem eine dritte Geschiebekammer, ein Treibholzrechen im Grindji und ein verbessertes Warnsystem. Die Restgefahr einer Überflutung kann nach allen erwähnten temporären und baulichen Massnahmen als extrem klein eingestuft werden. Dies bedingt aber, dass das Bewusstsein der Gefahr erhalten bleibt, dass die Einsatzpläne ständig aktualisiert werden und auch die Notfallmassnahmen regelmässig eingeübt werden.

4.13 Literatur

- Anonymus, 1899: «Briger Anzeiger», Ausgabe am 27. September 1899.
- ARGE SBWZ (Büros O. Schmid, A. Burkard, Glenz & Walther, K. Zurbriggen, Brig-Glis), 2000: Hochwasserschutzkonzept Brig-Glis. Bericht vom April 2000 (unveröffentlicht).
- Bodenmann, M., 16. Okt. 2000: mündliche Mitteilung
- Burkard, A., 2000: Ereignisdokumentation Hochwasser vom 15. Okt. 2000, Gemeinden Brig-Glis, Ried-Brig, Termen. Schadenbeschrieb und Wiederherstellungskosten. Zusammengestellt durch das Ingenieurbüro A. Burkard (Brig) in Zusammenarbeit mit den Ingenieurbüros BSAP und O. Schmid, Brig-Glis, dem Kreisforstamt 2 und dem Büro für Nationalstrassen. Zusammenstellung vom 28. Oktober 2000.
- Grebner, D.; Aschwanden, H.; Steinegger, U.; Zimmermann, M., 2000: Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis. In: Wasser, Energie, Luft – 92. Jg., Heft 11/12, S. 369–377.
- Meyer, O.; Pfammatter, C.; Eyer, E.; Werlen, M., 1997: Projekt Saltina-Hubbrücke in Brig-Glis. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 50, S. 4–8.
- Schälchli & Abegg, 1998: Geschiebemanagement im Grindji. Bericht Zusammenstellung der Resultate aus verschiedenen Szenarien mit dem Simulationsmodell MORMO. Zürich.
- Schneller Ritz und Partner AG, 1998: Übersichtsplan ausgeführtes Projekt 1:1000, Abschnitt Napoleonsbrücke-Rhone, Plan 4220-100 und Längenprofile 4220–40a, 41a, 42a und 43a. Brig-Glis.
- VAW 1994¹: Die Grösse extremer Hochwasser der Saltina. Bericht Nr. 4080.
- VAW, 1994²: Saltina, Brig-Glis, Bericht über die Untersuchungen des Geschiebemanagementes der Saltina und Vorschläge für die definitiven Hochwasserschutzmassnahmen. Bericht Nr. 4079/2.

5 Gamsa

Beatrice Herzog, Martin Bodenmann

5.1 Einleitung

Am 15. Oktober 2000 fielen im Einzugsgebiet der Gamsa ergiebige Niederschläge, die zu einem Hochwasser mit bedeutendem Geschiebetrieb und hohen Sachschäden an den Infrastrukturanlagen im und am Unterlauf führten. Insbesondere wurden die Bahnlinien der BVZ und SBB zwischen Brig und Visp unterbrochen. Beschädigt wurden auch die drei Wasserfassungen und Leitwerke. Nur mit grossem Maschinen- und Materialeinsatz während des Ereignisses konnten der Fabrikationsbetrieb in der Schlucht und ein zugehöriges Chemielager vor Schaden bewahrt werden. Das Ereignis ist vergleichbar mit demjenigen von 1993. Auch damals führten mehrtägige ergiebige Niederschläge zu einem Hochwasser mit starkem Geschiebetrieb. Starke Auflandungen am Schluchtausgang und bei der Rottenmündung, aber auch lokale Erosionen in geschiebearmen Phasen des Abflussereignisses belasten die Schutzbauten im Unterlauf des Baches aussergewöhnlich stark. Wegen der Opposition der angrenzenden Industrie konnten nach 1993 die notwendigen Verbauungsmassnahmen nicht durchgeführt werden, so dass mit Ausnahme des Einlaufes in den Rotten, der diesmal verstopft wurde, auch das Schadenbild 2000 mit dem Ereignis 1993 vergleichbar ist.

5.2 Überblick über das Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Gamsa umfasst rund 38 km² und verläuft zwischen dem Vispertal und dem Simplon von Süd nach Nord. Im oberen Teil des Einzugsgebietes finden sich Gletscher und Geröllhalden im Gneis. Der mittlere, flache Teil (Nanztal) umfasst zahlreiche Alpen, die von Visperterminen her bestossen werden. Der unterste Abschnitt wird durch eine 30–40% steile, enge Schlucht gebildet, welche sich auf dem Kegel wieder öffnet. Beim Gefällsknick am Ende der Schluchtstrecke befinden sich Industrieanlagen, welche ein grosses Schadenpotential darstellen. Erst anschliessend an die Anlagen öffnet sich die Schlucht ganz und geht in den eigentlichen Kegel über. Auf dem aussergewöhnlich grossen Schuttkegel liegt das Dorf Gamsen, die Gamsa selbst verläuft seit Anbeginn der Siedlung am linken Kegelrand. Sie mündet auf einer Höhe von 660 m ü. M. in den Rotten. Das Einzugsgebiet, der Flusslauf und die nachfolgend behandelten Seitengraben finden sich auch auf den Landeskarten 1:25 000 Nr. 1309 (Simplon) und 1289 (Brig).

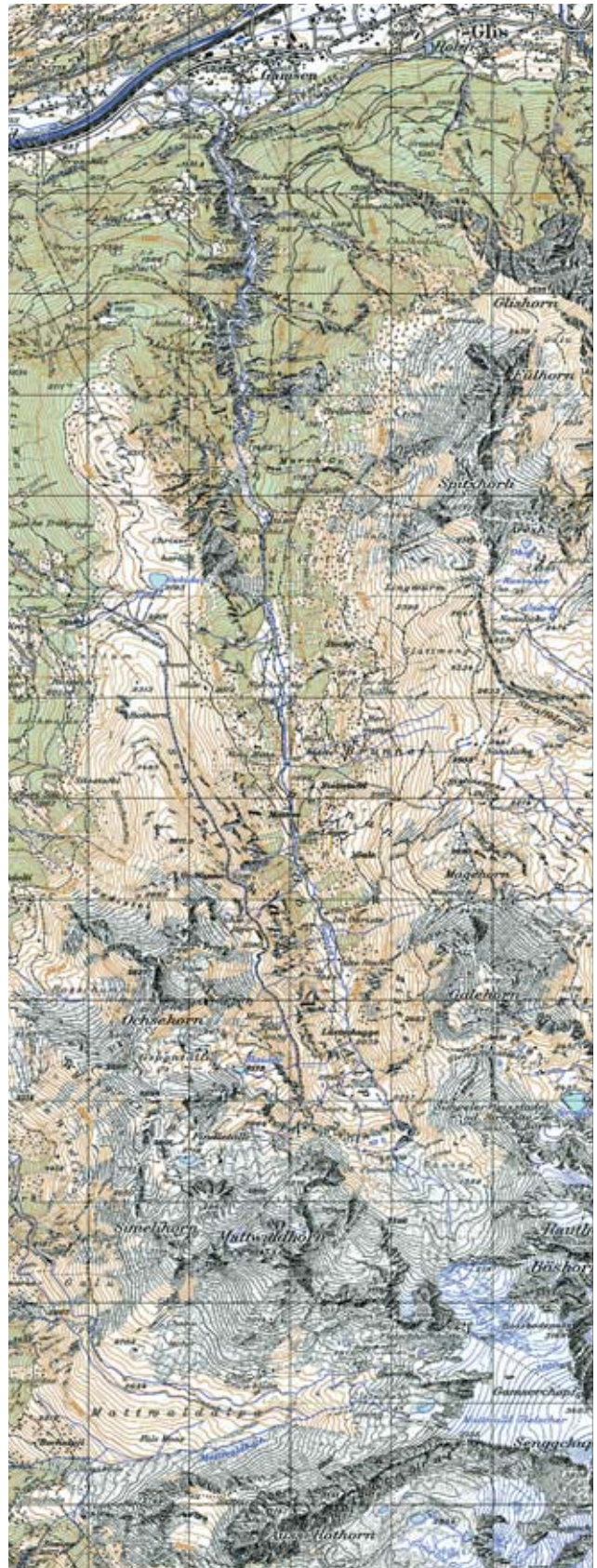


Fig. 1: Situation Einzugsgebiet der Gamsa

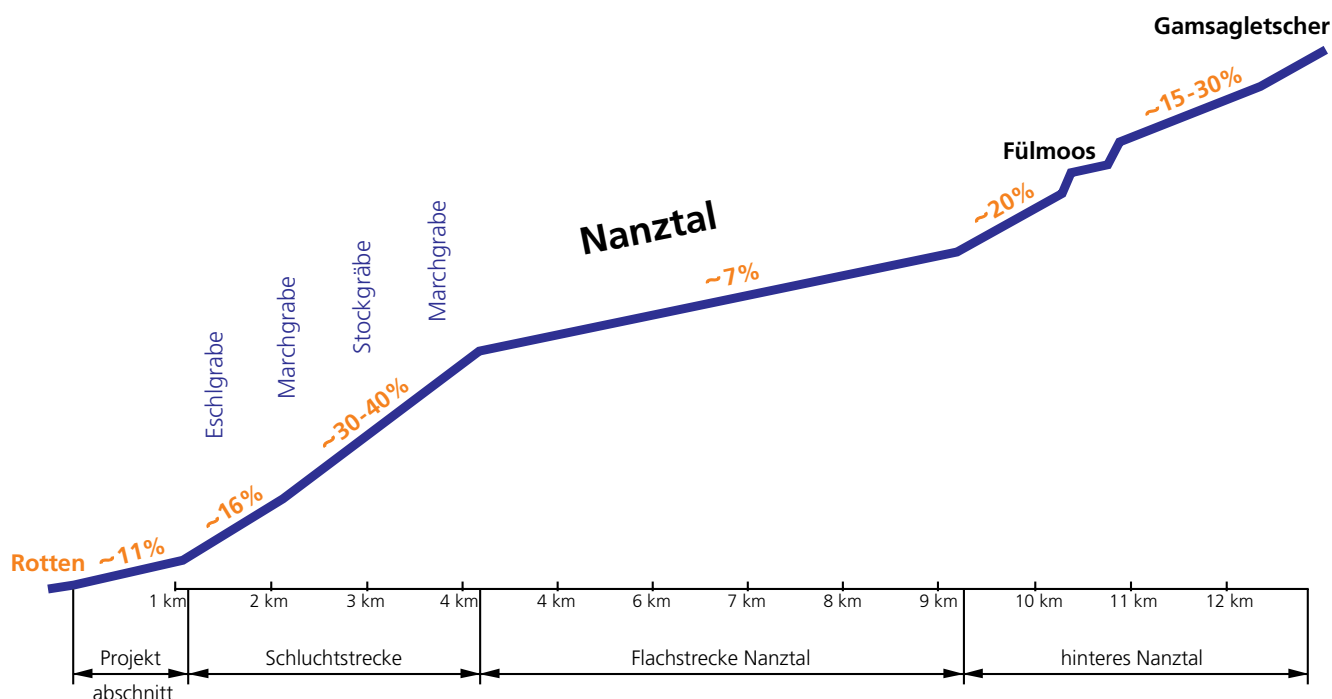


Fig. 2: Schematisches Längenprofil Gamsa (Aufnahme: 3. Januar 1994)

5.3 Frühere Ereignisse

Im 19. Jahrhundert wurden insgesamt sechs Ereignisse verzeichnet, im 20. Jahrhundert sieben Ereignisse. Beschädigungen von Strasse und Bahn werden mehrfach erwähnt und auch das hohe Geschiebepotential der Gamsa wurde schon früh erkannt und beschrieben. Der Bereich Gamsusand wurde wiederholt überschwemmt. Von der Dorfschaft Gamsen ist hingegen seit Bau der Wehrmauer 1737 keine Überschwemmung bekannt.

Die früheren Ereignisse sind bis auf das detailliert untersuchte Ereignis von 1993 nicht quantifiziert.

5.4 Ablauf des Ereignisses auf dem Kegel

Nach Mitternacht vom 14. zum 15. Oktober begann die Gamsa anzuschwellen. Etwas später begannen die Erosionen an den Wuhren im Bereich der Fabrik. Infolge der Ablenkung der Gamsa durch den obersten Damm nach links geriet die Gamsa in eine Pendelbewegung und hat im anschliessenden Abschnitt zwischen den beiden Dämmen das Bachbett nach rechts verlassen und ist direkt auf den unteren Damm zugeströmt. Dieser wurde unterspült und ist als Ganzes 1–2 m nachgesackt. Diese Erosionen

machten ein massives Eingreifen auf dem Damm notwendig.

Anschliessend füllte sich das natürliche Ablagerungsbecken am Schluchtausgang (Geländekammer) dann plötzlich sehr rasch von hinten nach vorne und die Sohle hob sich um mehrere Meter. Zu diesem Zeitpunkt dürften die grössten Einträge in die Schlucht erfolgt sein (seitliche Gräben). Diese konzentrierten Geschiebeabflüsse liessen die Gamsa am unteren Damm fast überlaufen.

Auch am Nachmittag wechselten Auflandungen und Erosionen im Bereich zwischen den beiden Dämmen ab. Die Verluste durch Unterhöhungen und Wegspülen konnten kompensiert werden. Über die ganze Interventionsphase wurde der Damm mit 480 m³ Steinen und Beton verstärkt.

Am späteren Nachmittag dann füllte sich sukzessive das Becken im Gamsusand (unterster Kegelbereich) und der Bahndurchlass verstopfte. Die Auflandungen wanderten vom Gamsusand her rückwärts herauf bis zur Rohrbergbrücke. Bei der Brücke hat sich die Sohle um 2 m gehoben, so dass das Wasser an der Brücke anschlug. Am späten Nachmittag war die Sohle im unteren Bereich dieser Verbauung höher als der Damm, so dass die Gamsa sich den direkten Weg zur alten Schutzmauer suchte und diese teilweise unterspülte.

5.5 Hydrologie

5.5.1 Ausgeführte Arbeiten

Um den Abfluss der Gamsa während dieses Ereignisses zu bestimmen und einordnen zu können, wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Aufarbeitung der Niederschlagsmessungen und der Radardaten der SMA (Schweizerische meteorologische Anstalt)
- Vergleich der Niederschläge mit 1993
- Berechnung des Abflusses mit einem Niederschlags-Abflussmodell
- Abschätzung der effektiven Abflüsse aufgrund der Kontrollquerschnitte
- Vergleich mit früheren Studien
- Bestimmung des mutmasslichen Abflusses und Einstufung

5.5.2 Charakteristik der Gamsa und des Ereignisses 2000

Das Einzugsgebiet der Gamsa reagiert als Ganzes nur bei langandauernden intensiven Niederschlägen wie dies 1993 oder 2000 eingetreten ist. Lokale Starkniederschläge in Form von Gewittern lassen höchstens einzelne Runsen anspringen. Eine Charakteristik des Gebietes ist es, dass es mehrere Tage dauert, bis die Böden gesättigt sind (viel grober Gehängeschutt, 40% Wald). Ist dieser Punkt jedoch einmal erreicht, springt der Abfluss, aber auch der Geschiebeeintrag durch Seitenzubringer, innert kurzer Zeit an. Am 15. Oktober 2000 genügte die Erhöhung der Niederschlagsintensität um wenige mm/h um das Hochwasser schliesslich auszulösen. 1993 wie auch 2000 berichteten Augenzeugen, die Hänge haben «geglänzt vom Wasser, das darüber lief». Auch dies ist ein Hinweis auf eine beinahe vollständige Sättigung der Böden.

5.5.3 Berechneter Abfluss

Für das gesamte Einzugsgebiet wurde das Niederschlagsabflussmodell nach Koella angewandt. Das gesamte Einzugsgebiet wurde in 8 Teileinzugsgebiete (Gerinneabschnitte) unterteilt. Damit konnten die Abflussspitzen und -volumen in 8 Querschnitten gewonnen werden. Die Abflusswerte am Kegelhals liegen mit 80–90 m³/s sehr hoch und können im Feld nur knapp nachgewiesen werden.

5.5.4 Gemessener Abfluss im Feld

Zur Bestimmung des effektiven Abflusses wurde an den aufgenommen Querprofilen der während des Er-

ignisses mutmasslich benetzte Querschnitt bestimmt. Bei mehreren Profilen konnte dieser aufgrund von Spuren festgestellt werden.

Die Abflüsse wurden mit Hilfe des logarithmischen Fliessgesetzes mit reduziertem Gefälle nach Smart/Jäggi berechnet. Die Fliessgeschwindigkeiten liegen mit den gewählten Rauigkeiten im Nanztal im Bereich von 3 m/s, in der Schlucht bei 4 m/s. Dies ist für den vorherrschenden Gerinnetyp und die Steilheit plausibel. Die effektiven Abflüsse wurden aus den verschiedenen Annäherungen wie folgt eingegrenzt:

Standort	Kote	Abflussspitze am 15.10.2000
Im Obriste Chäller (Nanztal)	1900 m ü.M.	25–35 m ³ /s
Nidrista Alp (Nanztal)	1680 m ü.M.	45–50 m ³ /s
Schluchtausgang	930 m ü.M.	65–70 m ³ /s

Tab. 1: Abflussspitzen Gamsa

5.6 Geschiebeverlagerung

5.6.1 Ausgeführte Arbeiten

Parallel zu den Aufräumarbeiten wurde sofort mit der Ereignisdokumentation begonnen. Diese umfassten die photographische Dokumentation, die photogrammetrische Auswertung der Ablagerungen im Gamsusand, die Befragung und Aufzeichnung über die Ablagerungen im oberen Depot und die Berichterstattung über die Schäden und die zu erwartenden Kosten an die Gemeinde.

Im November und Dezember 2000 wurde das Einzugsgebiet begangen. Dabei wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Kartierung der Erosionen und Ablagerungen
- Aufnahme von Prozessspuren und Schäden
- Entnahme von Linienproben
- Aufnahme von 18 Querprofilen
- Dokumentieren des Gerinneszustandes
- Aufnahme von Abflussquerschnitten für hydraulische Abschätzungen

Alle nachfolgend beschriebenen Phänomene sind auf einem Plan 1:5000 kartiert, quantifiziert und photographisch festgehalten.

5.6.2 Nanztal

Im Bereich des Fülmoos herrscht sehr grober Hangschutt vor. Die Runsen zeigen meist Murgangablagerungen neueren Datums, welche jedoch teilweise das Hauptgerinne nicht erreichen. Zwischen dem «Alts Stafolti» und dem «Obrostechäller» folgt ein gestreck-

ter Gerinneabschnitt mit durchschnittlich 10% Gefälle. Auf diesem Abschnitt hat sich der Bach gleichmässig eingetieft. Verschiedene Seitenzubringer auf diesem Abschnitt brachten erhebliche Mengen Material (Rundersenerosion bis 5 m³) bis in die Gamsa ein. Es folgt die «Nidrista Alp», welche ein Flachstrecke mit einem Gefälle von 2%–5% darstellt. Die Gamsa lief hier, wie schon 1993, auf weiten Strecken ausserhalb des Gerinnes und landete erheblich auf.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Erosionen im hinteren Nanztal eher geringer ausfielen als 1993. Hingegen sprachen die Seitengräben gegen die Nidrista Alp hin alle an. Hier wurden bedeutende Mengen Geschiebe ins Hauptgerinne verlagert.

5.6.3 Nidrista Alp bis Mittlu Hüs

Entlang des Schwarzwaldes bis zum Mittlu Hüs sind praktisch keine Gerinneveränderungen festzustellen. Das Bachbett besteht aus sehr grossen Blöcken (2 bis 4 m Durchmesser) und die Sohle verläuft abschnittsweise auf dem anstehenden Fels. Das Gefälle beträgt zwischen 10 und 15%. Aus diesem Abschnitt wurden maximal 1000 m³ verlagert. Der Abschnitt kann als Transitstrecke bezeichnet werden.

5.6.4 Schlucht

In der Schluchtstrecke sind neben den Böschungen aus Lockermaterial vorallem die rechtsufrigen Seitengräben von Bedeutung, ausserdem die grossen Geschiebeherde Drilärchurufi und Wyss Rischa. Diese werden unten separat behandelt. Der Eintrag aus der Sohle und aus Depots in der Schlucht ist nicht bekannt. Deutlich sind die Spuren von mehreren Murgängen in der Schlucht. Zahlreiche Blöcke von 4–8 Tonnen Gewicht und einzelne noch grössere Blöcke wurden bis auf die Koten von ca. 1000 m transportiert (und auf mehrere Meter hohe Seitenterrassen gehoben), Felsblöcke von mehr als 2 Tonnen Gewicht finden sich bis zum Schluchtausgang. Im Tunnel Gamsen der A9, der durch den Gamsakegel führt, wurden Blöcke bis zu 17 m³ gefunden.

5.6.5 Wyss Rischa

Entlang der Wyss Rischa können zwei Geschiebequellen unterschieden werden:

- Beidseitige Böschungserosion brachten ca. 20 000–25 000 m³, wovon der grösste Teil aus den Böschungen der Wyss Rischa bis zur Einmündung Marchgraben stammen. Die aufgerissenen Böschungen sind hier bis zu 10 m hoch und 2–3 m mächtig erodiert.
- Als zweiter namhafter Eintrag wirkten zwei Erosions-

rungen in der Wyss Rischa selbst. Diese brachten je ca. 3000–3500 m³ Geschiebe ins Hauptgerinne.

5.6.6 Drilärchurufi

Das bekannte und überwachte Rutschgebiet kann ebenfalls als bedeutender Geschiebeherd gelten. In Normaljahren läuft die Gamsa im künstlichen Felsbett entlang der linken Schluchtflanke. Die im Überwachungsprogramm gemessene Rutschgeschwindigkeit beträgt 0,5–1 m pro Jahr. Dies bedeutet, dass in Normaljahren rund 200 m³ Geschiebe pro Jahr am Hangfuss bereitgestellt werden.

Während dem Ereignis lief die Gamsa nur teilweise im Felsbett. Die Ablenkmauer aus Beton wurde zerstört. Die Murgänge suchten ihren Weg über den Hangfuss der Rufi. Dort wurden beträchtliche Mengen Material mobilisiert. Dies führte dazu, dass bei einer Kontrollmessung vier Wochen nach dem Ereignis einzelne Punkte im Hang sich um 12 m talwärts verschoben hatten. Der Eintrag wird auf 30 000–50 000 m³ geschätzt.

5.6.7 Seitengräben

Auf der rechtsufrigen Schluchtseite gingen Murgänge erheblichen Ausmasses nieder. Die rechte Talflanke besteht aus Gehänge- und Blockschutt, weiter nördlich beim Schluchtausgang aus dem anstehenden Kalk- und Tonschiefer.

Der südliche Marchgraben verläuft im Lockermaterial. Er ist murfähig. Im begangenen Abschnitt hat er sich beim Ereignis im Oktober 2000 um rund 4 m abgesenkt. Der gesamte erodierte Querschnitt beträgt im begangenen untersten Teil rund 15–20 m². Aufgrund der Jahreszeit war eine Begehung der oberen Abschnitte nicht mehr möglich. Die eingetragene Fracht wird auf 15 000 bis 20 000 m³ geschätzt. Um die Fracht genauer zu bestimmen sind Begehungen notwendig.

Die Stockgräben bilden sich aus insgesamt drei Gerinnen. Sie verlaufen allesamt im Jungschutt des anstehenden Schiefers, was die Erosionstiefe stark begrenzt. Der Eintrag von aktiven Rutschungen oberhalb der Gräben wird mit 10 000 bis 15 000 m³ angenommen. Diese Schätzung muss noch verifiziert werden.

Auch der nördliche Marchgraben verläuft, ähnlich wie die Stockgräben, im Felsbett und Jungschutt. Er ist murfähig. Der gesamte Eintrag dieses Grabens in die Gamsa während dem Ereignis wird mit 1000–2000 m³ angenommen.

Der nördlichste Eintrag von Bedeutung ist der Eschlgraben. Bei diesem Graben handelt es sich um eine murfähige Runse, welche auf dem untersten Abschnitt auf dem anstehenden Fels, resp. im Jungschutt verläuft. Die Gesamtfracht beim Ereignis 2000 wird auf

3000–6000 m³ geschätzt. Der Eschlgraben mündet direkt oberhalb der Fabrikanlagen in die Gamsa. Eine Murganggefährdung bleibt noch abzuklären. Sollte der Eschlgraben bei Gewittern (dies kann unabhängig von Ereignissen in der Gamsa sein) Murgänge grösseren Ausmasses bringen können, so ist diesem Umstand im Schutzkonzept und -verbau Rechnung zu tragen.

5.6.8 Gesamtfracht

Die gesamten transportierten Frachten können aufgrund zweier Beobachtungen eingegrenzt werden: die abgelagerten Kubaturen im Perimeter (Gamsakegel) und im Gamsusand die geschätzten Erosionen im Einzugsgebiet

5.6.9 Abgelagerte Kubaturen auf dem Kegel

Im Gamsusand wurden die Ablagerungen photogrammetrisch ausgewertet. Die Ablagerungen betragen 150 000 m³. Davon wurden während Phasen des Geschiebedefizits ca. 20 000 m³ nach dem Schluchtausgang erodiert, so dass 130 000 m³ aus dem Einzugsgebiet stammen. Im Ablagerungsgebiet nach dem Schluchtausgang werden die verbliebenen Ablagerungen auf 30 000 m³ geschätzt. Die gesamte Fracht des Ereignisses 2000 beträgt damit rund 160 000 m³.

5.6.10 Erosionen im Einzugsgebiet

Die Erosionen im Einzugsgebiet können aufgrund der Feldbegehung abgeschätzt werden. Die exakten Einträge der seitlichen Runsen bleiben noch abzuklären. Die Kartierungen führen auf folgende Kubaturen:

Geschiebequelle	abgeschätzter Eintrag
Nanztal, total	30 000–40 000 m ³
Nidrista bis Mittlu Hüs	1000 m ³
<i>Ablagerung Mittlu Hüs</i>	<i>abzüglich 10 000–15 000 m³</i>
Wyss Rischa, total	6500 m ³
Südl. Marchgraben	15 000–25 000 m ³
Verschiedene kleine Runsen rechtsseitig	1500–3000 m ³
Verschiedene kleine Runsen linksseitig	3000–6000 m ³
Böschungen Schlucht total	20 000–25 000 m ³
Sohle Schlucht	Unbekannt
Drilärchurufi	30 000–50 000 m ³
Stockgräben	11 000–16 000 m ³
Nördl. Marchgraben	2000 m ³
Eschlgraben	3000–6000 m ³
Total	ca. 113 000–165 000 m³

Tab. 2: Abgeschätzte Kubaturen

Die Grössenordnung der Erosionen und der gemessenen Ablagerung stimmt gut überein. Die fehlenden

Kubaturen sind einerseits auf zu tiefe Einschätzungen der nicht begehbaren Gräben, andererseits auf erodierte Geschiebedepots und Sohlerosionen in der Schlucht zurückzuführen. Die auf dem Kegel gemessene Fracht kann damit plausibel erklärt und den verschiedenen Geschiebeherden begründet zugeordnet werden.

5.7 Beurteilung

5.7.1 Einstufung des Ereignisses

Das Niederschlagsereignis von 2000 kann gegenüber 1993 als 1.5–3 mal grösser betrachtet werden (gestützt auf Zweitagesummen). Das Abflussereignis 2000 in der Gamsa kann gegenüber 1993 als ca. 20% grösser eingestuft werden. Es handelt sich um ein 50–100-jährliches Ereignis. Der Verlauf des Ereignisses 2000 unterschied sich von 1993 vor allem dadurch, dass es im nördlichen Teil des Einzugsgebietes wesentlich mehr Niederschlag fiel als 1993. Damit zeigte das Ereignis auch eine deutlich höhere Geschiebeaktivität und es ergaben sich leicht andere Schadensbilder als vor sieben Jahren. Das Ereignis 2000 hat gezeigt, dass die Schlucht bis weit hinunter murfähig ist.

5.7.2 Transportprozesse und Frachten

Die Geschiebeverlagerung ab «Mittlu Hüs» findet zeitweilig und lokal als Murgang, mehrheitlich als wechselnd konzentrierter Transport statt. Bei den beiden jüngsten Ereignissen wurden äusserst unstetige Geschiebekonzentrationen beobachtet. Die Gamsa selbst wie auch die seitlichen Runsen sind nachgewiesenermassen murfähig, wobei ausgeprägte Murgänge aus den Seiten stammen dürften, sich aber in der Schlucht bis weit hinunter fortsetzen. Diese Transportprozesse lassen eine Fracht über mehrere Stunden nicht aufgrund von Transportformeln bestimmen. Durch die unstetigen Prozesse sind der Bestimmung der Fracht weite Grenzen gesetzt. Die Fracht kann nur aufgrund der Quantifizierung des Feststoffpotentials im Feld bestimmt werden.

5.7.3 Gefährdende Prozesse

Im Rahmen der Massnahmenprojektierung müssen daher entlang der Fabrikanlagen sowohl die Gefahr der Auflandung als auch der Erosion und Unterkolkung betrachtet werden. Die maximal mögliche Fracht sollte noch bestimmt werden. Wesentlich für die Gefährdung des Projektperimeters ist auch die Quantifizierung von Feststoffpotential und Ereigniswahrscheinlichkeit in den nördlichsten Seitengräben, nahe der Fabrikanlagen.

6 Dorfbach Mörel

Marcel Hürlimann, Dieter Rickenmann, Christoph Graf, Christoph Hegg, Daniel Näf

6.1 Einleitung

Am Sonntag den 15. Oktober 2000 wurde das Dorf Mörel durch einen Murenschub aus dem Dorfbach stark beschädigt. Der Murgang ereignete sich nach intensiven Regenfällen und hatte ein totales Feststoffvolumen von mehreren Tausend Kubikmetern. Die Murenfront trat im Kegelbereich aus dem verbauten Gerinne des Dorfbaches und lagerte den Grossteil seines Materials innerhalb der besiedelten Gebiete von Mörel ab. Das Ereignis zerstörte mehrere Gebäude, beschädigte die Infrastruktur des Dorfes und forderte einen Verletzten. Über die historische Murgangaktivität im Dorfbach gibt es keine Daten und gemäss Zeugnisaussagen wurde der Dorfbach noch nie zur Gefahr (WB, 17.10.2000).

6.2 Überblick über das Einzugsgebiet

Das nach Südosten orientierte Einzugsgebiet des Dorfbaches drainiert bis zum Wasserfall oberhalb des Dorfes Mörel (Kote ~ 900 m) eine Fläche von ca. 3,6 km² (vgl. Fig. 1). Das Riederhorn mit 2230 m ü. M. und die Hoflüe mit 2227 m ü. M. bilden zur nördlichen Seite die hydrologische Grenze. Unterhalb der Hoflüe befindet sich auf einer Moränenterrasse der Ferienort Riederalp (~1925 m ü. M.). Mehrere Gerinne vereinigen sich im «Grosse Grabu» zum Dorfbach und fallen auf einer Kote von ca. 900 m über eine ca. 60 m hohe Felsstufe. Zwischen dieser Steilstufe und der Rhone – Mündung auf einer Höhe von ca. 750 m ü. M. hat der Dorfbach einen Kegel abgelagert. Heutzutage fliesst der Bach innerhalb von diesem Bereich in einem kleinen künstlichen Gerinne durch das Dorf Mörel.



Fig. 1: Einzugsgebiet des Dorfbaches von Mörel. Die rote Linie zeigt die Grenze des Einzugsgebietes und die roten Buchstaben bezeichnen die verschiedenen Gerinne. Verkleinerung aus der topographischen Karte 1: 25 000.



Foto 1: Foto des mittleren Teiles des Einzugsgebietes. Gerinne C, D und E sind bezeichnet.

Ungefähr 30 Prozent des Einzugsgebietes sind bewaldet, wobei sich der grösste Teil dieser Fläche im westlichen Bereich des Einzugsgebietes befindet. Weitere 40 Prozent sind mit Wiesland oder Weiden bedeckt, welche mehrheitlich extensiv genutzt werden. Die restlichen 30 Prozent bestehen aus Buschvegetation und Fels oder Lockergesteinen. Jedoch machen die Felsflächen und Lockergesteine nur eine sehr geringe Fläche aus.

Die Geologie im Einzugsgebiet besteht vorwiegend aus Paragesteinen (im besonderen Gneisse) des Aarmassives und Moränenablagerungen der Würmeiszeit. Zusätzlich befinden sich ausgedehnte Teile des Gebietes in

einer grösseren Sackungszone. Wie bereits oben erwähnt, gibt es nur sehr kleine Lockermaterialdepots im Einzugsgebiet und das offengelegte Schuttvolumen ist sehr gering (Geogr. Atlas, 1994). Die Bodenbedeckung beinhaltet flache bis sehr flachgründige Böden, wie sie normalerweise in alpinen kristallinen Berglandschaften vorkommen (Bodeneignungskarte, 1980).

Das Gewässernetz im Einzugsgebiet kann vereinfacht in 5 verschiedene Gerinne unterteilt werden, welche sich im «Grosse Grabu» vereinen und als Dorfbach durch Mörel fliessen. Die 5 Gerinne sind in Fig. 1 mit den Buchstaben A bis E definiert. Die westlich gelegenen Gerinne A und B führen nicht kontinuierlich Wasser und besitzen in den oberen Abschnitten keine markanten Gerinnemorphologien. Das Gerinne C besitzt das grösste Teileinzugsgebiet und ist gekennzeichnet durch ein stark eingeschnittenes Bachbett. Dieses Gerinne entwässert auch den Ferienort Riederalp. Die Gerinne D und E drainieren den nordöstlichen Teil des Einzugsgebietes, wobei besonders das Teileinzugsgebiet des Gerinne D wegen seiner Grösse und seiner maximalen Höhe von 2227 m ü. M. wichtig erscheint. Die Feldbegehung zeigte, dass vor allem die zwei östlichen Gerinne D und E grosse Abflüsse und starken Geschiebetrieb führten. In Fig. 2 ist das verlängerte Längenprofil von Gerinne D vereinfacht dargestellt. Das Profil startet auf einer Höhe von 2227 m ü. M. (Höflüe) und ist gekennzeichnet durch mehrere starke Neigungsänderungen. Das Gerinne D startet gemäss Landeskarte (ausgezogene blaue Linie auf der 1:25000 Karte) auf etwa 1900 m ü. M. knapp unterhalb der morphologischen Terrasse, auf welcher die Riederalp gelegen ist. Danach folgt bis zur Felsstufe auf Kote 900 m eine Gerinnestrecke mit ziemlich homogener Neigung. Das mittlere Gefälle sinkt in diesem Teil von ca. 50% im oberen Abschnitt auf ca. 25% im unteren Abschnitt. Zudem vergrössert sich die Gerinnequerschnitt durch die Zusammenflüsse der verschiedenen Teilgerinne innerhalb dieser Gerinnestrecke erheblich. Die vertikale Felsstufe am unteren Ende dieser Strecke bedeutet einen grossen Gefällsknick im Längsprofil und trennt den oberen Teil des Gerinnes vom Kegelbereich. Auf dem Kegel fliesst das Gerinne in einer künstlichen Schale mit einer Breite von ca. 2 m und einer Höhe von ca. 1,5 m. Diese Schale wurde innerhalb des natürlichen Gerinnes des Baches erstellt, welches einen viel grösseren Fliessquerschnitt besitzt als die Schale. Die mittlere Neigung des Gerinnes auf dem Kegel beträgt weniger als 20%.

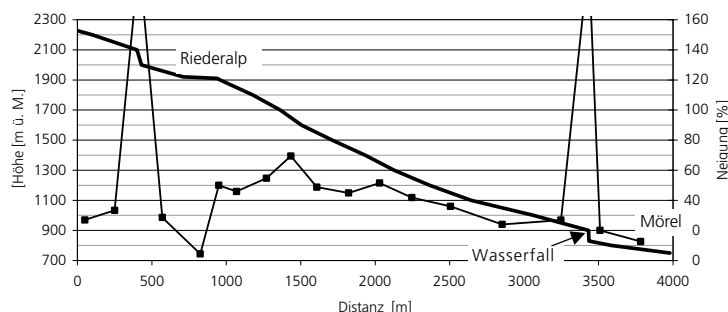


Fig. 2: Längenprofil des Dorfbaches von Mörel (östliches Teilgerinne D). Die dicke Linie zeigt das Längenprofil und die dünne Linie stellt die mittlere Neigung innerhalb verschiedener Gerinneabschnitte dar.

6.3 Ablauf des Ereignisses

Nach Zeugenaussagen (Imhof, 2000) traf die Murgangfront am Sonntag 15. Oktober um 6.15 Uhr im Dorfkern von Mörel ein. Der Bericht eines Dorfbewohners, welcher das Ereignis wie folgt beschrieb «zuerst gab es einen enormen Knall, dann folgte ein Getöse und Rauschen, und dann war alles vorbei» (WB, 17.10.2000), ist eine sehr treffende Darstellung eines Murgangereignisses (plötzliches Auftreten der Murenfront und das danach folgende schnelle Abnehmen des Abflusses). Angaben über die Dauer des Ereignisses schwanken zwischen 10 Sekunden (WB, 17.10.2000) und einigen Minuten (Imhof, 2000), wobei wohl beim Ersten auf die Murgangfront und beim Zweiten auf die ganze Murgangwelle hingewiesen wurde. Vor dem Ereignis führte der Dorfbach einen normalen Abfluss (WB, 17.10.2000).

Das Feststoffvolumen des Murgangereignisses wurde anhand von verschiedenen Methoden abgeschätzt. Dazu halfen besonders die Informationen der Abflussspurten bei diversen Querschnitten sowie die Erosions- und Ablagerungsmengen entlang des Gerinnes. Die Abschätzungen ergaben ein gesamtes, bis zum Kegel verfrachtetes Feststoffvolumen von 5000 bis 10 000 m³. Gemäss Zeitungsbericht wurden während den ersten zwei Tagen nach dem Ereignis ca. 6000 m³ Geschiebe abtransportiert (WB, 26.10.2000) was mit den abgeschätzten Volumina übereinstimmt.

Während den Begehungen wurden besonders die Prozesse im Gerinnebereich untersucht, um damit auf die Entstehungsmechanismen und das Fliessverhalten des Murganges zu schliessen. Die Felddaten zeigen, dass die westlichen Gerinne A, B und C während des Ereignisses nur mittlere Hochwasserabflüsse ohne Geschiebetrieb führten. In diesen Gerinnen konnte auch keine bedeutende Erosion festgestellt werden. Die Gerinne D und E hingegen wiesen deutliche Hochwasser- und Erosionsspuren auf, wobei besonders die Prozesse in

Gerinne D für die Murgangauslösung verantwortlich waren. Bereits knapp unterhalb der Moränenterrasse (Kote ~1900) wiesen Spuren im Gerinne D auf einen sehr grossen Abfluss hin. Dieser verursachte auf der bachabwärts folgenden Strecke zuerst geringe und dann mässige Erosion an der Sohle und den Böschungen. Beim Zusammenfluss der Gerinne D und E auf Kote 1500 führten diese bereits bedeutende Mengen an Feinmaterial (vor allem Humus), Steinen und Holz. Zwischen Kote 1500 und der Felsstufe auf Kote ~900 vergrösserte sich die Abflussmenge durch die verschiedenen Zuflüsse und erhöhte sich der Feststoffanteil wegen der fortlaufenden Tiefen- und Seitenerosion (Fig. 2). Unterhalb der Felsstufe wurde der Murgang wahrscheinlich gebremst, bevor sich erneut eine Murenfront bildete, welche danach durch das Dorf Mörel floss. Es scheint, dass die Felsstufe und der darauf folgende «Kolk» einen wesentlichen Einfluss auf die Fließdynamik des Murgangs hatte und besonders die maximale Abflussmenge an der Murenfront wesentlich vergrösserte (vgl. nachfolgendes Kapitel). Die kleine künstliche Schale im Dorfbereich konnte die Abflussspitze nicht mehr fassen, und der Murgang floss bis zum Brückendurchlass der Hauptstrasse mehr oder weniger in seinem ehemaligen, natürlichen Gerinnequerschnitt. Beim Brückendurchlass wurde der Murgang aufgestaut und floss deshalb auf die Hauptstrasse und ins Dorfgebiet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Auslösung des Murganges als progressive Erosion im Gerinnebett bezeichnet werden kann, wobei vermutlich kleinere kurzzeitige Verkläuerungen oder Abflussbehinderungen zu einem pulsierenden Abfluss und der Ausbildung einer markanten Murenfront beitrugen.



Foto 2: Erosionsspuren und seitliche Ablagerungen zwischen Kote 1350 und 1340.

6.4 Analyse der erhobenen Daten

In Tab. 1 sind die erhobenen Felddaten und berechneten Fließparameter des Murgangereignisses für verschiedenen Koten entlang des Gerinnes aufgelistet. Die Fließgeschwindigkeit und der Abfluss sind Mittelwerte aus Berechnungen, welche mit Hilfe von empirischen Formeln nach Rickenmann und Weber (2000) und dem Strickler-Ansatz durchgeführt wurden. Die Resultate zeigen die progressive Zunahme des Fließquerschnittes und des Abflusses bachabwärts, wobei besonders die grosse Zunahme des maximalen Abflusses im untersten Gerinneabschnitt auffällt. Zwischen Kote 910 (oberhalb der Felsstufe) und Kote 780 (Dorfbereich) verdoppelt sich der maximale Abfluss von ca. 140 m³/s auf fast 300 m³/s. Dies kann man hydraulisch gesehen nur mit der im vorigen Kapitel erwähnten Stauwirkung durch temporäre Abflussbehinderung im Kolkbereich unterhalb der Felsstufe erklären. Da der Murgang in einem einzigen Murenschub durch das Dorf floss, kann man annehmen, dass der ganzen Fließquerschnitt auf Kote 780 durch den Murgang beansprucht wurde, und nicht von Ablagerungen aus früheren Schüben verkleinert wurde. Somit kann die gemessene Querschnittsfläche und der abgeschätzte maximale Abfluss von fast 300 m³/s als korrekt angesehen werden.

In einem nächsten Schritt wurden spezifische Abflüsse von einigen Teileinzugsgebieten berechnet, um auf das Niederschlags- und Abflussverhalten zu schliessen. Im speziellen wurde das Gerinne D untersucht, da es für die Murgangauslösung wichtig war. Das Teileinzugsgebiet bis Abflussquerschnitt auf Kote 1870 misst ca. 0.43 km², hat jedoch eine Abflussspitze von rund 5 m³/s (Tab. 1).

Kote (m. ü. M)	max. Fliessquerschnitt (m²)	Fließgeschwindigkeit (m/s)	max. Abfluss (m³/s)	Bemerkungen
1870	2	2.9	5	sehr geringe Erosion
1645	6	4.1	25	maximale Tiefen- und Seitenerosion ~ 2 m²/m
1550	12	5.0	60	maximale Tiefen- und Seitenerosion ~ 2 m²/m
1340	18	6.2	110	Tiefen- und Seitenerosion ca. 3–5 m²/m kleinere Böschungsrisse (je 10 m³)
1040	28	5.7	160	Tiefen- und Seitenerosion ca. 2–4 m²/m
910	30	4.7	140	geringe Erosion (bis auf Fels)
780	43	6.7	290	Gerinnebereich im Dorf

Tab. 1: Felddaten und Fließparameter des Murgangs auf verschiedenen Koten.

Ein solch hoher Reinwasserabfluss ist jedoch nur schwer zu erklären, da der spezifische Abfluss etwa $11,6 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ für das Gebiet betragen würde. Besonders bei einer Wetterlage wie sie am 14./15. Oktober vorlag, scheint ein derartiger spezifischer Abfluss eher unwahrscheinlich, da solch hohe Werte normalerweise nur in Verbindung mit schauerartigen Niederschlagszellen auftreten. Eine andere mögliche Erklärung wäre, dass der Abfluss des Gerinnes durch eine spontane Wassermenge zusätzlich erhöht wurde. Ein grosser temporärer Wasserzufluss durch einen Ausbruch von einem natürlichen oder künstlichen Wasserspeicher (kleiner See auf der Moräneneterrasse oder künstliche Wasserdepots für Schneekanonen) wäre eine Möglichkeit, den hohen Abfluss in Gerinne D zu erklären. Unterirdisches Entwässern von zusätzlicher Teileinzugsgebietsfläche könnte ebenfalls erwogen werden, würde den Abfluss jedoch nur geringfügig erhöhen. Zu diesen Hypothesen wurden aber keine weiteren Untersuchungen vorgenommen.

Abschliessend wurden noch Aufpralldrücke der Murgangfront im Dorfbereich berechnet, um diese Daten mit den Schadensinformationen an Gebäuden zu vergleichen. Diese Vergleiche liefern wichtige Erkenntnisse über die Zerstörungskraft von Murgängen und helfen bei der Planung von zukünftigen Schutzmassnahmen. Die Aufprallkräfte und Aufpralldrücke der Murgangfront können mit physikalischen Formeln geschätzt werden (Hungri et al., 1994; Gebäudeversicherungsanstalt, 1999), wobei die erhaltenen Aufpralldrücke im Gebiet des Dorfkernes zwischen 80 und 100 kN/m^2 liegen. Diese Werte decken sich ziemlich gut mit den Aufpralldrücken, welche beim Murgangereignis im Beierbach (Neubrück) auf dem Kegel geschätzt wurden. Um die Grössenordnung solcher Aufpralldrücke zu veranschaulichen, kann die Lawinengefahrenkartierung betrachtet werden, welche die Ausscheidung einer roten Zone bei Aufpralldrücken von mehr 30 kN/m^2 vorschreibt. Erfahrungen von Lawinenschäden zeigen ausserdem, dass Mauerbauten Aufpralldrücke von maximal 30 kN/m^2 widerstehen und nur verstärkte

und mit armiertem Beton gebaute Gebäude Drücke bis zu 100 kN/m^2 aushalten (BUWAL, 1999; Magreth, 2000). Daraus kann gefolgert werden, dass die für den Dorfkern von Mörel geschätzten Aufpralldrücke alle im Fließbereich liegenden, unverstärkten Gebäude zerstören würden. Diese Tatsache stimmt mit den im Feld beobachteten Schäden überein (vgl. nächstes Kapitel).

6.5 Verursachte Schäden

Während dem Murgangereignis wurde eine 14-jährige Knabe verletzt, als er bei der Evakuierung ins Wasser rutschte und von den Wassermassen mitgerissen wurde. Insgesamt mussten wegen der Unwetterkatastrophe 105 Bewohner von Mörel evakuiert werden. Alles in allem sind durch den Murgang 22 Gebäude beschädigt und 6 Gebäude zerstört worden (Imhof, 2000). Von den sechs zerstörten Gebäuden war eines ein Wohnhaus, vier waren Landwirtschaftsgebäude und eines war ein öffentliches Gebäude. In Fig. 3 sind die zerstörten Gebäude in der 1:25 000-Landeskarte eingezeichnet. Von den 22 beschädigten Gebäuden waren insgesamt sechs als Wohnhäuser deklariert, welche z.T. stark beschädigt wurden. Die totalen Kosten an öffentlichen und privaten Gebäuden betrugen nach ersten Berechnungen der Schadenkataster über 6 Mio. CHF.

Mehrere Strassenverbindungen sowie die Bahnlinie waren nach dem Ereignis zeitweise unterbrochen. Die Hauptstrasse konnte nach kurzer Zeit wieder geöffnet werden und erlitt keine gravierenden Schäden (Imhof, 2000). Die FO-Bahnlinie war hingegen während ca. 20 Tagen unterbrochen, da das Ereignis das Trasse erodiert und unterspült hatte. Ausserdem wurden diverse Forst- und Landwirtschaftsstrassen beschädigt und mussten deshalb zeitweise gesperrt werden. Insgesamt wurden durch das Unwetter sechs Bücken weggerissen (WB, 26.10.2000).

Durch das Murgangereignis wurde die Bachverbauung im Dorf stark beschädigt und zum Teil zerstört (Foto 3).

Ebenfalls wurden die verschiedenen Leitungsnetze der Trinkwasserversorgung, der Kanalisation, der Berieselungsanlagen für die Landwirtschaft, der Stromversorgung und der SWISSCOM beschädigt (Imhof, 2000). Die Gesamtkosten der Unwetterkatastrophe in Mörel (Wasserbau, Strassen, Bahnen, Landwirtschaft, öffentliche und private Bauten) belaufen sich auf über 10 Mio. CHF.

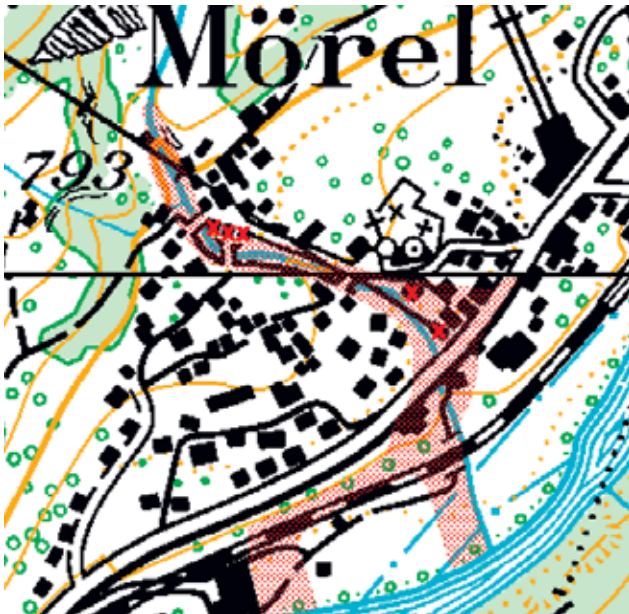


Fig. 3: Murgangablagerungen (rote Fläche) und zerstörte Gebäude (rotes Kreuz) im Kegelbereich des Dorfbachs.

6.6 Verwendete Unterlagen

- Bodeneignungskarte der Schweiz, 1980: 1:200 000
 BUWAL, 1999: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Bd. 2: Fallbeispiele und Daten.
 Gebäudeversicherungsanstalt des Kt. St. Gallen, 1999: Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren.
 Geologischer Atlas der Schweiz, 1994: Blatt Brig
 Hungr, O., Morgan, G. C., Kellerhals, R., 1994: Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. In: Canadian Geotechn. Journal, 21, p. 663–677.
 Imhof, A., 2000: Ereignisdokumentation der Unwetter 14./15. Oktober 2000. Ingenieurbüro HLK für Energie- und Haustechnik, Brig-Glis.
 Magreth, S., 2000: Objektschutz bei Lawinengefahr. FAN – Herbstkurs 2000.
 Rickenmann, D., Weber, D., 2000: Flow resistance of natural and experimental debris-flows in torrent channels. Proc. of 2nd conference on debris flow hazards mitigation, Taiwan, p. 245–254.
 Walliser Bote (WB) vom 16.10.2000, 17.10.2000, 26.10.2000



Foto 3: Das Foto zeigt den Gerinneabschnitt im Dorfkern nach dem Murgangereignis. Der Dorfbach fliesst neben der zerstörten Schale. Auf der rechten Seite des Fotos standen kleinere Landwirtschaftsgebäude, welche durch den Murgang zerstört wurden.

7 Mattmark

Daniela Lorenzi, Christian Noetzli, Mario B. Rohrer, Urs Steinegger

7.1 Temperatur, Schneefallgrenze und Schneeschmelze im Raum Mattmark

Im Vergleich zum Ereignis vom 22. bis 23. September 1993 fiel im Raum Mattmark während dem Zeitraum vom 13. bis 15. Oktober 2000 deutlich mehr Niederschlag. Dieser fiel bis am Nachmittag des 14. Oktobers vorwiegend als Regen, im Zeitraum danach jedoch zu einem grossen Teil als Schnee. Diese Tatsache lässt sich aus der Grafik der Nullgradgrenzen ableiten, wo die Linie der 2000er Werte (Zermatt/Gornergrat) am frühen Morgen des 15. Oktobers markant abfällt. Die unterschiedlichen Schneeanteile der Niederschlagsmengen von 2000 und 1993 sind in der Fig. 1 ersichtlich.

Die auch nach Abzug des Schneeanteils noch hohen Niederschlagswerte des 13. Oktobers 2000 bedeuten jedoch nicht automatisch höhere Zuflussraten zu den Stauseen, da die Fassungskapazitäten der gefassten Einzugsgebiete beschränkt sind. Dazu kommen weitere einschränkende Effekte wie Verstopfung (Geröll, Sand, etc.) oder Überschiessen der Fassungen bei hohen Zuflüssen. Ein grosser Teil des gefallen Niederschlages aus den Zuleitungsgebieten floss demnach ungefasst ab.

Zur Datengrundlage der Fig. 1 gilt es zu sagen, dass bei der Station Zermatt die Online – Verfügbarkeit der Temperaturdaten am 15. Oktober um 06h30 MEWZ (05h30UTC) mit 0.3 Grad Celsius endete, was einem sehr tiefen Wert entspricht. Am 19. Oktober um 8.50 Uhr MEWZ setzte die Übermittlung mit 6.0 Grad Celsius wieder ein. Die dazwischenliegenden Messwerte konnten später von der MeteoSchweiz nachgeliefert werden.

Der markante Temperaturrückgang vom 15. Oktober hatte zur Folge, dass die Nullgradgrenze im Raum Zermatt (dunkelrote Linie) zu diesem Zeitpunkt stark absank. Was auf den ersten Blick wie ein Messfehler aussieht, ist keiner, denn auch in Evölène und an Meteo – Stationen der Grande Dixence SA im Mattertal wurde ein starker Temperaturrückgang registriert. Die tiefe Lage der Nullgradgrenze von ca. 2000 m ü. M. kann durch den sogenannten Taleffekt begründet werden: Bei sehr intensiven Niederschlägen, wie sie am frühen Morgen des 15. Oktobers in Zermatt fielen, und gleichzeitig schlechten Ventilationsverhältnissen sinkt die Nullgradgrenze kontinuierlich und rasch ab. Dieses Phänomen wird in verschiedenen Tälern der Schweiz relativ häufig beobachtet (z. B. Rheintal, Prättigau). Wird die Talluft nicht ersetzt, sinkt während intensiven

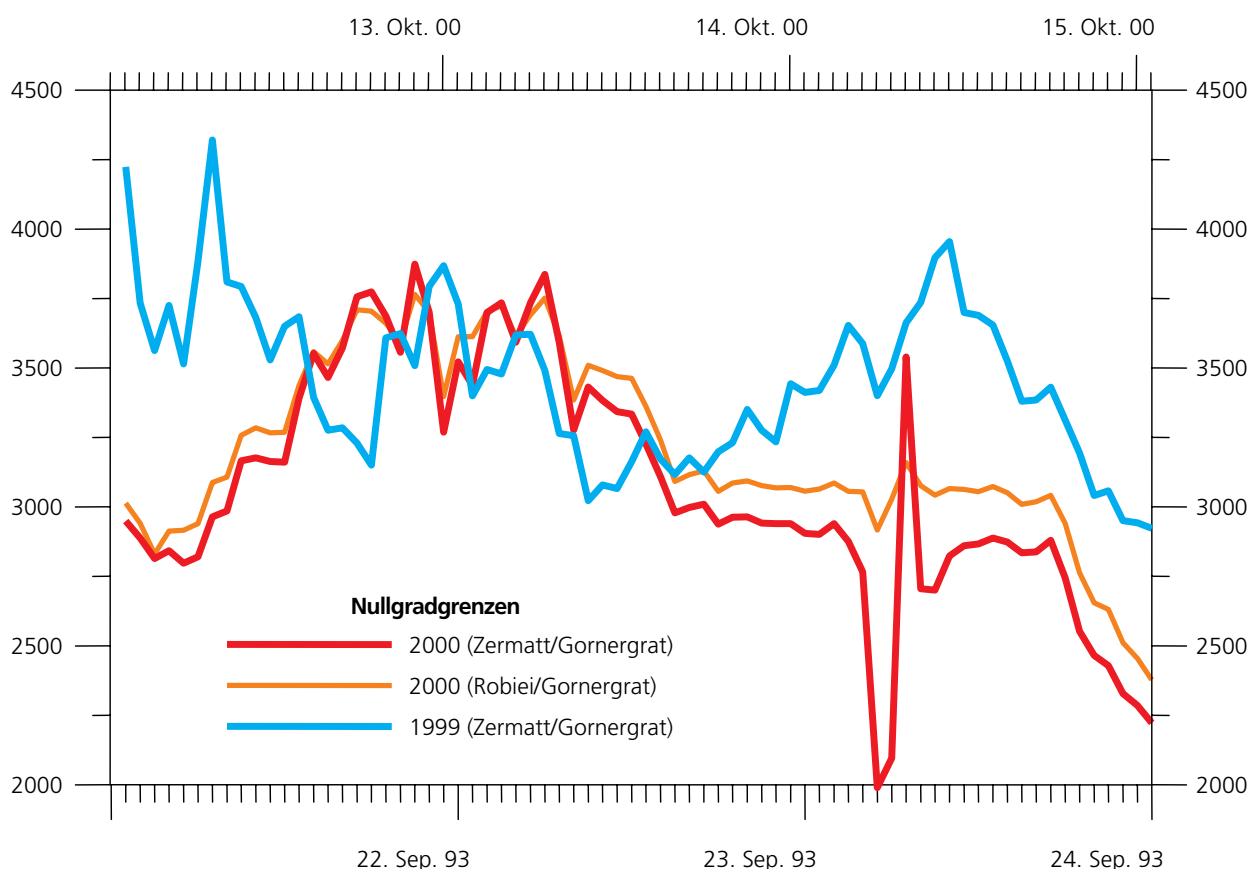


Fig. 1: Aus den Stationen Zermatt/Gornergrat sowie Robiei/Gornergrat berechnete Schneefallgrenzen in der Region Zermatt für die Niederschlagsereignisse vom 13. bis 15. Oktober 2000 und vom 22. bis 24. September 1993.

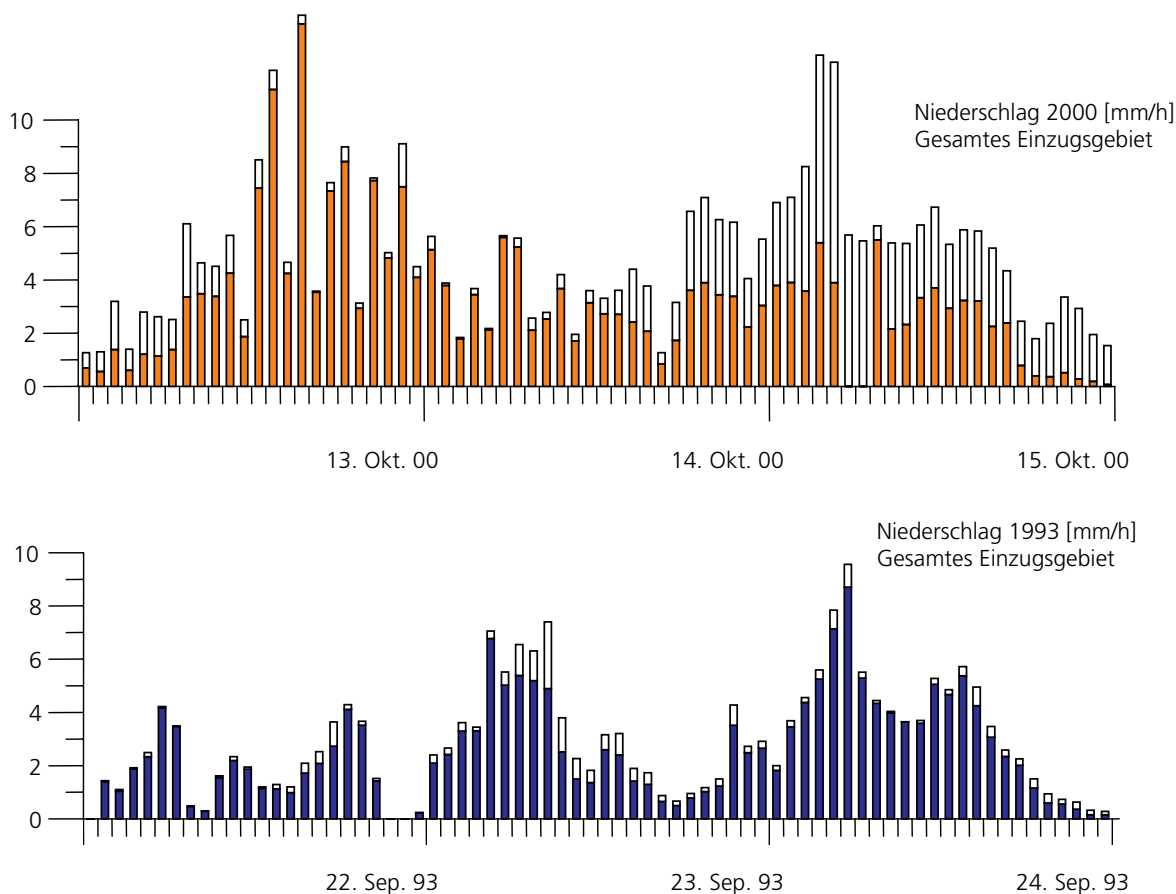


Fig. 2: Schnee- und Regenanteile (fester Anteil weiss) der Ereignisse vom 13.–15.10.2000 und 22.–24.9.1993 im Einzugsgebiet der südlichen Vispertäler.

Niederschlägen die Schneefallgrenze immer tiefer. Dies hängt damit zusammen, dass der Talluft kontinuierlich Schmelzenergie entzogen wird. Ist das Tal hingegen gut durchlüftet, kann immer neue warme Luft zugeführt werden (sog. Warmluftadvektion). Infolge dieses Luftnachschiebs wird der Taleffekt während eines solchen Szenarios nicht auftreten.

Die Schneefallgrenze ist zudem keine einheitliche Linie sondern eine Schmelzzone, die ein Ausmass von mehreren 100 Metern in vertikaler Ausrichtung annehmen kann (Grebner, 1978). Sie weist in der Regel Temperaturwerte auf, die oft etwas über 0°C liegt. Für intensive Niederschläge ist ein Wert von 0.5 bis 1.2 (ventilierte Lufttemperatur) eine gute Näherung (Rohrer, 1989). Schneefall heisst jedoch noch nicht, dass sich eine Schneedecke bildet. Bei intensiven Niederschlägen, wie sie in der Region Zermatt auftraten, kann aber davon ausgegangen werden, dass dies weitgehend der Fall war. Dies zeigt sich auch in der Grafik am frühen Morgen des 15. Oktobers.

7.2 Vergleich der berechneten und gemessenen Zuflüsse 2000 und 1993 zum Mattmark Stausee

Bei diesem Vergleich wurde versucht, für die jeweiligen 3-Tagesperioden mit den maximalen Zuflüssen von den selben Datengrundlagen auszugehen. Deshalb wurden die drei Niederschlagsstationen Saas, Zermatt und Pizanco sowie die Temperaturmessungen von Zermatt und Gornergrat für die Regionalisierung der Episoden 2000 und 1993 verwendet. Der Vergleich dieser Abschätzung mit den gemessenen Zuflusswerten ergab für die entsprechenden 3-Tagessummen 2000 und 1993 des Mattmarkgebiets folgende Resultate (Tab. 1 und 2):

	berechnet	gemessen
3-Tagesniederschlagssumme (Mio. m ³)	34.6	
Flüssiger Anteil am Niederschlag (Mio. m ³)	18.1	
Grundsätzlich fassbarer flüssiger Niederschlagsanteil (Mio. m ³)	11.0	
Definitive Speicherung von Flüssigwasser durch die Schneedecke im natürlichen Einzugsgebiet (Mio. m ³)	0.5	
Zufluss Mattmarkstausee (Mio. m³)	10.5	8.4

Tab. 1: Abschätzung des Zuflusses zum Mattmarkstausee und Vergleich mit dem gemessenen Wert. Periode: 13.–15. Oktober 2000.

	berechnet	gemessen
3-Tagesniederschlagssumme (Mio. m ³)	20.8	
Flüssiger Anteil am Niederschlag (Mio. m ³)	18.1	
Grundsätzlich fassbarer flüssiger Niederschlagsanteil (Mio. m ³)	12.3	
Definitive Speicherung von Flüssigwasser durch die Schneedecke im natürlichen Einzugsgebiet (Mio. m ³)	0.0	
Zufluss Mattmarkstausee (Mio. m³)	12.3	11.8

Tab. 2: Abschätzung des Zuflusses zum Mattmarkstausee und Vergleich mit dem gemessenen Wert. Periode: 22.–24. September 1993.

Für das Jahr 1993 stimmen die Schätzung und die Messung gut überein. Im Jahr 2000 wird der Zufluss um 2.1 Mio. m³ überschätzt. Dies kann neben Unsicherheiten bei der Bestimmung des Gebietsniederschlags an der konservativen Schätzung der Speicherung von Flüssigwasser in der Schneedecke und an grossen Fassungsverlusten durch Überschiessen und Versanden liegen.

Vergleicht man Speicherseezuflüsse mit dem Niederschlag, müssen zwei wichtige Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

- Die Schneefallgrenze: Die Schneefallgrenze lag im Jahre 2000 viel tiefer als 1993: Dies hat neben der Reduktion des Flüssiganteils noch eine Nebenwirkung: Die sich bildende Schneedecke kann etwa 10% ihres Wasseräquivalentes als Flüssigwasser speichern. Die oben angegeben Zahl von 0.5 Mio. m³ im Jahr 2000 ist dabei sehr vorsichtig geschätzt, indem angenommen wird, dass diese Speicherung nur im natürlichen Gebiet eine Rolle gespielt hat.

- Das Fassungsvermögen der gefassten Gebiete: Bei Mattmark ist nur ein gutes Drittel natürliches Einzugsgebiet, der Rest ist gefasst. Die Fassungskapazitäten beim Stauwerk Mattmark bewegen sich zwischen etwa 1 mm/h und 1,5 mm/h. Was darüber hinaus geht, kann nicht gefasst werden. Die Zuflüsse lagen in beiden Fällen in den meisten Stunden (je nach Schneefallgrenze etc.!) erheblich darüber. Es darf auch nicht vergessen werden, dass gewisse Fassungen unter Umständen ganz ausfallen können!

7.3 Literatur

- Grebner, D., 1978: Zur Berechnung der Höhenlage des Übergangs vom festen in den flüssigen Zustand. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Heft 31, Nr. 22, S. 1–6.
- Rohrer, M.B., 1989: Determination of the transition air temperature from snow to rain and intensity of precipitation. WMO instruments and observing methods, Rep. no. 48, WMO/TD no. 328, S. 475–482.

8 Beiterbach (Neubrück)

Marcel Hürlimann, Dieter Rickenmann, Christoph Graf, Christoph Hegg, Daniel Näf

8.1 Einleitung

Am Sonntagmorgen dem 15. Oktober 2000 ereignete sich im Beiterbach ein Murgang und verursachte grosse Schäden beim Dorf Neubrück sowie durch einen Aufstau der Vispa. Das Ereignis mit drei grösseren Murenschüben und fluvialen Geschiebetransport wurde durch die hohen Niederschläge verursacht und hatte ein Gesamtvolumen von mehreren Zehntausend

Kubikmetern. Im Kegelbereich wurden mehrere Gebäude zerstört, der Bach und das Geschiebe traten aus dem verbauten Gerinne und unterbrachen die Hauptstrasse und die Bahnlinie. Das Ereignis forderte zwei Todesopfer. Über die historische Murgang-/Hochwasseraktivität im Beiterbach sind sehr wenig Angaben vorhanden. Ein kleineres Hochwasserereignis soll anfangs der 1940er Jahre stattgefunden haben.



Fig. 1: Einzugsgebiet des Beiterbachs. Die rote Linie zeigt die Grenze des Einzugsgebietes. Der Kartenausschnitt ist eine Verkleinerung der topographischen Karte 1:25 000.

8.2 Überblick über das Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet ist nach Westen orientiert und entwässert bis zum Kegelhal eine Fläche von 12,3 km² (Fig. 1). Das Ochsehorn ist mit 2912 m ü. M. der höchste Punkt des Einzugsgebietes und bildet zusammen mit dem Wyssgrat zur Südseite hin die hydrologische Grenze. Zwei grössere Gerinne entspringen innerhalb der südöstlichen Zone des Einzugsgebietes im Steigrabe und im Sitgrabe und fliessen ab Kote ~1500 zusammen als Beiterbach. Auf Kote ~1270 vereint sich der Beiterbach mit dem Sitbächli, welcher die nordöstliche Zone des Einzugsgebietes drainiert. Im untersten Bereich erodierte der Beiterbach eine tiefe Schlucht, welche eine Länge von ca. 1,5 Kilometern besitzt. Diese Schluchtstrecke endet am Kegelhal auf Kote ~720, ab welcher das Gerinne die letzten ca. 150 m in einem künstlichen Gerinne durch das Dorf Neubrück fliesst. Im Kegelbereich unterquert der Beiterbach die Strasse Visp – St. Niklaus und die BVZ-Bahn, bis er auf Kote ~680 in die Vispa mündet.

Das Einzugsgebietes des Beiterbachs ist mit etwa 43 Prozent ziemlich stark bewaldet. Offene Vegetation mit Wies- oder Weideland bedeckt zusätzlich ca. 35 Prozent des Einzugsgebietes, welche vor allem extensiv genutzt werden. Im höchsten Bereich des Einzugsgebietes befinden sich grosse Flächen von anstehendem Fels und Schutthalden, welche etwa 22 Prozent der Gesamtfläche ausmachen.

Die Geologie im Einzugsgebiet besteht aus metamorphem Permo-Karbon der Bernhard-Decke (Gneise, etc.) und Bündnerschiefer (Geolog. Atlas, 1994). Die Bodenbedeckung beinhaltet flachgründige Böden, wie sie oft in alpinen Berglandschaften vorkommen (Bodeneignungskarte, 1980). Entlang des Beiterbachs finden sich Moränenablagerungen, welche wie ein Grossteil der oberflächennahen schiefrigen Gesteinsschichten relativ leicht erodierbar sind (Marclay und Joris, 2001).

In Fig. 2 ist das Längsprofil des Beiterbachs entlang des Sitgrabe bis hinauf zum Ochsetälli (2827 m ü. M.) dargestellt. Der oberste Bereich ist gekennzeichnet durch steile Felspartien, welche weiter unten in eine flachere Zone übergeht. Nach dieser Zone mit mittleren Neigungen von ca. 40–50% kommt zwischen 2200 und 1900 m ü. M. ein steiler Bereich, in welchem das Gefälle höher als 50% ist. Bis zum Anfang der Schluchtstrecke, die auf einer Kote von ca. 1050 m ü. M. beginnt, sinkt die Neigung der Gerinnesohle kontinuierlich bis auf ca. 15%. Innerhalb der Schluchtstrecke steigt dann das mittlere Gefälle wieder bis auf maximal ~30%, bevor es auf dem Kegel erneut auf ca. 20% sinkt.

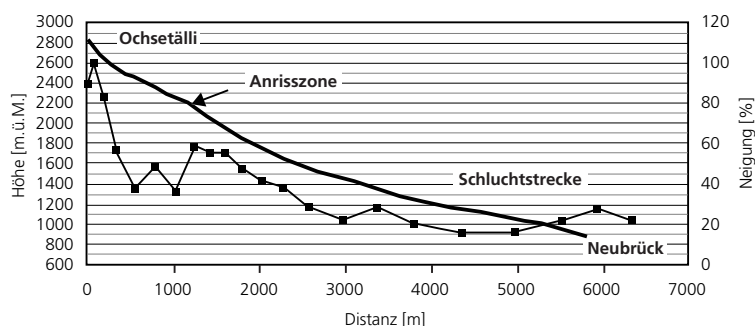


Fig. 2: Längsprofil des Beiterbachs entlang des Sitgrabe. Die dünne Linie stellt die mittlere Neigung innerhalb verschiedener Gerinneabschnitte dar.

8.3 Ablauf des Ereignisses

Während dem 14. Oktober wurden beim Kraftwerk Ackersand der Lonza Energie AG, welches etwa 1,5 km südlich von Neubrück gelegen ist, insgesamt 126 mm Niederschlag gemessen (Lonza Energie AG, 2000). Zusätzlich fielen am 15. Oktober nochmals 49 mm.

Am Sonntagmorgen des 15. Oktobers trat das Murgangereignis auf, welches mehrere Stunden dauerte und nach Zeugenaussagen mindestens drei Murenschübe beinhaltete. Die erste Murgangfront traf um ca. 7.10 Uhr im Dorf Neubrück ein. Ein Augenzeuge berichtet von einem «Knall» (Stoffel, 2001), und nach diesem Schub waren das Restaurant und ein weiteres Haus bereits zerstört (Clemenz, 2000). Ein anderer Zeuge beschreibt diesen Schub als langsam fließende Walze mit viel Geschiebe und Holz (WSL, 2000). Durch diesen Schub wurde der Brückendurchlass bei der Hauptstrasse verstopft, was zur Folge hatte, dass sich die darauf folgenden kleineren Schübe mehr und mehr ausserhalb des Gerinnes auf dem Kegel ablagerten. Am Morgen des 15. Oktobers ereigneten sich insgesamt drei grössere Murenschübe. Durch die Ablagerungen im Mündungsbereich des Beiterbachs wurde der Abfluss der Vispa wesentlich behindert. Das Bachbett der Vispa wurde um mehrere Meter angehoben, und der Rückstau flussaufwärts der Beiterbach – Mündung erreichte schliesslich eine Länge von ca. 1 km. Die Analyse der Pegelaufzeichnungen der Vispa in Visp (Note, 2001) bestätigt, dass drei grössere Murenschübe aus dem Beiterbach grössere Feststoffmengen in die Vispa transportiert haben. Dadurch ging der Abfluss der Vispa markant zurück, und jedes Mal wurde während einer Zeit von knapp einer Stunde eine Wassermenge von etwa 90 000 m³ bis 130 000 m³ gestaut. Unter Berücksichtigung einer mittleren Fließgeschwindigkeit der Vispa von ca. 2,5 m/s lassen sich die Zeitpunkte der drei Murenschübe in Neubrück auf

ca. 7.10 Uhr, 10.40 Uhr und 12.25 Uhr festlegen. Vom letzten Schub gibt es eine kurze Aufnahme des Fernsehsenders RTL. Darauf erscheint der Schub als eher wässerig (etwa vergleichbar mit dem Foto der Murgangfront in der Val Zavràgia 1987) und von dunkler, beinahe schwarzer Farbe.

Die Feldbegehungen und zusätzlichen Informationen (Lonza Energie AG, 2000; Marclay und Joris, 2001; Ereigniskataster) ergaben folgende Rückschlüsse über das Prozessverständnis und den Ablauf des Murgangereignisses. Am meisten Feststoffe wurden aus dem Sitgrabe mobilisiert, mit Gerinne- und Seitenerosion ab einer Höhe von ca. 2200 m ü.M. bachabwärts. Auch aus dem Sädolti und dem Sitbächji wurde Geschiebe in Form von Murgängen mobilisiert (Marclay und Joris, 2001). Vor allem im Sitgrabe sind deutliche Spuren von Tiefen- sowie Seitenerosion sichtbar. Die Wasserleitung der Lonza Energie AG wurde z. B. auf Kote ~1670 m ü. M weggerissen, und an dieser Stelle trat eine Tiefenerosion von ca. 5 m auf (Lonza Energie AG, 2000). Durch die Zuflüsse aus den Seitengerinnen erhöhte sich der Abfluss kontinuierlich bis zum Beginn der Schluchtstrecke und beträchtliche Erosionsraten konnten auch noch im eher flacheren Abschnitt zwischen Kote 1260 und 1050 m ü. M. beobachtet werden (Foto 1).



Foto 1: Gerinnequerschnitt auf Kote ~1160. Beträchtliche Seiten- und Tiefenerosion ist sichtbar. Die Gerinnebreite beträgt in diesem Abschnitt etwa 10 m.

Innerhalb der Schluchtstrecke wurde das Fliessverhalten des Murganges stark verändert. Der heterogene Gerinneverlauf mit seinen markanten Änderungen in der Gerinnebreite und im Gefälle sowie die rechtsseitig gelegenen Rutschhänge (Foto 2) verursachten sehr wahrscheinlich temporäre Verkläuerungen und verstärkten den instationären Abfluss. An mehreren Stellen innerhalb der Schluchtstrecke konnten Ablagerungsspuren dieser Verkläuerungen beobachtet werden, welche besonders bei Verengungen des Gerinnequerschnittes und im Bereich von seitlichen Rutschungen

auftraten. Dieser Mechanismus erhöhte die maximale Abflussmenge an der Murenfront und bedingte das periodische Auftreten von mehreren grossen Murenschüben.

Am Kegelhals geht das Gerinne von der Schlucht in eine künstliche Schale über. Diese Schale konnte jedoch die Abflussmenge des Murganges nicht fassen, was zur Übersarung im Kegelbereich führte. Jedoch wurde der grösste Teil des Murgangmaterials im Mündungsbereich Beiterbach – Vispa abgelagert, unter anderem weil der Kegel ein ziemlich hohes Gefälle von über 20% aufweist.

Das Volumen des Murgangereignisses wurde mit verschiedenen Methoden geschätzt. Das gesamte Feststoffvolumen des Ereignisses konnte mit Hilfe der Erosionsspuren entlang des Gerinnes abgeschätzt werden. Jedoch ergibt die Volumenberechnung der zahlreichen Rutschungen innerhalb der Schluchtstrecke einige Unsicherheiten. In diesem Gerinneabschnitt haben grössere Rutschungen an mehreren Stellen dem Beiterbach Material zugeführt. Je nach Berücksichtigung dieser Rutschungen schwankt das Gesamtfeststoffvolumen des Murgangereignisses zwischen 25 000 und 45 000 m³. Eine unabhängige Schätzung auf einer geomorphologischen Kartierung basierend, beziffert die Erosion im unmittelbaren Gerinnebereich auf ca. 60 000 m³ und die Hangrutschungen auf ca. 135 000 m³ (Marclay und Joris, 2001). Es ist anzunehmen, dass davon nur ein beschränkter Anteil bis nach Neubrücke verfrachtet wurde und die rund 50 000 m³ eine realistische Grössenordnung darstellen. Aufgrund von Analysen der Ablagerungen in der Vispa (vgl. Fallbeispiel Vispa im Bereich Sefinot und Kap. 5.3 im Hauptteil) kann der Eintrag aus dem Beiterbach auf etwa 60 000 m³ geschätzt werden. Zusammen mit den Ablagerungen auf dem Kegel kann die Gesamtfeststofffracht des Murgangereignisses auf etwa 70 000 m³ geschätzt werden.



Foto 2: Gerinnequerschnitt in der Schluchtstrecke auf Kote ~930 ü. M. (bachabwärts). Rechtsseitig ist die Böschung stark erodiert und instabil, was oberflächennahe Rutschungen zur Folge hatte. Linksseitig ist der anstehende Fels sichtbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mehrere Faktoren den Murgangprozess beeinflussten: Einerseits wurde der Murgang durch die starken Regenfälle verursacht, welche im oberen Teil des Einzugsgebietes zu mehreren Anrissen in den Gerinnen führten. Andererseits erhöhte die kontinuierliche Erosion entlang des Gerinnes und die Zuflüsse der anderen Bäche den Spitzenabfluss an der Murenfront. Dieser Effekt wurde durch die temporären Verklausungen oder kurzzeitige Abflussbehinderungen innerhalb der Schluchtstrecke nochmals verstärkt. Zudem beeinflussten diese Verklausungen das Fliessverhalten des Murganges, welches unterhalb der Schluchtstrecke durch einen pulsierenden und mit mehreren Murenfronten charakterisierten Abfluss gekennzeichnet war.

Inwieweit die temporären Verklausungen für die Tragweite des Murgangereignisses verantwortlich sind, kann mit den vorhandenen Daten nicht exakt gesagt werden. Jedoch steht fest, dass die seitlichen Rutschungen, welche mit den Verklausungen in Verbindung stehen, die Feststofffracht des Murgangereignisses signifikant erhöhten.

8.4 Analyse der erhobenen Daten

In Tab. 1 sind die erhobenen Felddaten und berechneten Fliessparameter des Murgangereignisses für verschiedene Koten entlang des Gerinnes aufgelistet. Die Fliessgeschwindigkeit und der Abfluss sind Mittelwerte aus Berechnungen, welche mit Hilfe von empirischen Formeln nach Rickenmann und Weber (2000) und dem Strickler – Ansatz durchgeführt wurden. In der Schluchtstrecke konnten nur vereinzelte Abflussspitzen berechnet werden, da durch die Verklausungen und den daraus folgenden Aufstauungen keine einfachen Abschätzungen der Fliessgeschwindigkeiten möglich waren. Jedoch ergeben auch die gemessenen Fliessquerschnitte, welche innerhalb der Schluchtstrecke zwischen 80 und 220 m² schwanken, ein gutes Bild über das Fliessverhalten des Murganges in diesem Gerinneabschnitt. Eine Verdoppelung oder fast eine

Verdreifachung des Fliessquerschnittes kann nur durch eine temporäre Verklausung und/oder den Aufstau der Wassermassen erklärt werden. Zusammenfassend zeigen die Resultate in Tab. 1, dass der Murgang eine Abflussspitze von 200–400 m³/s gehabt haben muss. Dieser maximale Abfluss stellte sich schon oberhalb der Schluchtstrecke ein und wurde wahrscheinlich durch die Verklausungen noch erhöht.

Auf Kote 900 wurde zusätzlich die Geschwindigkeit mit der Kurvenüberhöhungsmethode (Johnson und Rodine, 1984) geschätzt. Die erhaltene Fliessgeschwindigkeit liegt zwischen 11 und 15 m/s. Diese hohe Geschwindigkeit ist ein weiteres Indiz, dass es in der Schluchtstrecke ein instationäres Fliessverhalten – verursacht z. B. durch die Verklausungen – gegeben haben muss.

Es wurden auch Aufpralldrücke der Murgangfront im Dorfbereich berechnet, um diese Daten mit den Schadensinformationen an Gebäuden zu vergleichen. Solche Vergleiche liefern wichtige Erkenntnis über die Zerstörungskraft von Murgängen und helfen bei der Planung von zukünftigen Schutzmassnahmen. Die Aufprallkräfte und Aufpralldrücke der Murgangfront können mit physikalischen Formeln geschätzt werden (Hungr et al., 1994; Gebäudeversicherungsanstalt, 1999), wobei die erhaltenen Aufpralldrücke im Kegelgebiet zwischen 75 und 110 kN/m² liegen. Diese Werte decken sich ziemlich gut mit den Aufpralldrücken, welche beim Murgangereignis im Dorfbach (Mörel) auf dem Kegel geschätzt wurden. Zum Vergleich kann erwähnt werden, dass bei der Lawinengefahrenkartierung die Ausscheidung einer roten Zone bei Aufpralldrücken von mehr 30 kN/m² vorgeschrieben ist. Erfahrungen von Lawinenschäden zeigen ausserdem, dass Mauerbauten Aufpralldrücke von maximal 30 kN/m² widerstehen und nur verstärkte und mit armiertem Beton gebaute Gebäude Drücke bis zu 100 kN/m² aushalten (BUWAL, 1999; Magreth, 2000). Daraus kann gefolgert werden, dass die für den Dorfkern geschätzten Aufpralldrücke alle im Fliessbereich liegenden, unverstärkten Gebäude zerstören würden. Diese Tatsache stimmt mit den im Feld beobachteten Schäden überein.

Kote (m ü. M)	max. Fliessquerschnitt (m ²)	Fliessgeschwindigkeit (m/s)	max. Abfluss (m ³ /s)	Bemerkungen
1440	42	5.6	~ 250	beträchtliche Tiefenerosion (5 – 10 m ³ /m)
1160	80	5.5	~ 400	beträchtliche Tiefenerosion (5 – 10 m ³ /m)
940	80	5.0	~ 400	Felsquerschnitt in Schluchtstrecke
900	88	–	–	Schluchtstrecke
855	220	–	–	mit mehreren
826	220	–	–	Verklausungsstellen
725	40	7.1	~ 300	Kegelhals (Ende Schluchtstrecke), enge Schlucht zwischen Felswänden

Tab. 1: Felddaten und Fliessparameter des Murganges auf verschiedenen Koten.

8.5 Verursachte Schäden

Das Murgangereignis forderte zwei Todesopfer und sechs Verletzte. Die zwei Todesopfer befanden sich im dritten Stock des Restaurants «Neubrück», welches linksseitig des Gerinnes an der Hauptstrasse lag. Augenzeugen (Clemenz, 2000; WSL, 2000) berichten, dass bereits während dem ersten Murenschub der 3. Stock (Holzstruktur) weggestossen wurde und in einem späteren Zeitpunkt die unteren Etagen (Betonstruktur) zerstört wurden. Ausserdem sind während dieses Ereignisses insgesamt 373 Personen evakuiert worden (Ereigniskataster).

Zusätzlich zum Restaurant wurde im Kegelbereich ein weiteres Wohnhaus und drei Landwirtschaftsgebäude zerstört. Durch den Rückstau der Vispa wurden ausserdem die ARA und diverse weitere Gebäude zerstört. Dazu kommen noch insgesamt 26 beschädigte Gebäude auf dem Kegel und im Bereich des Visparückstaus. Die zerstörten Gebäude von Neubrück sind zusammen mit den Murgangablagerungen in Fig. 3 eingezeichnet.

Durch das Murgangereignis wurde auch die Kantonsstrasse und die BVZ-Bahnlinie unterbrochen. Während die Strassenverbindung nach 5 Tagen wieder geöffnet werden konnte, blieb die Bahnlinie ca. 3 Wochen gesperrt. Zusätzlich wurden diverse Forst- und Erschliessungsstrassen sowie Wanderwege beschädigt oder zerstört.

Der Murgang verursachte sowohl im Beiterbach als auch in der Vispa grosse Schäden. Die Verbauungen müssen in beiden Gerinnen repariert oder neu erstellt

werden. Zudem sind durch die Unwetterkatastrophe verschiedene Leitungsnetze und andere Infrastruktureinrichtungen zerstört worden.

Die Gesamtschadensumme der Unwetterkatastrophe von Neubrück (Wasserbau, Strassen, Bahnen, Landwirtschaft, öffentliche und private Bauten) belaufen sich auf über 20 Mio. CHF.



Fig. 3: Murgangablagerungen (rote Fläche) und zerstörte Gebäude (rotes Kreuz) im Kegelbereich des Beiterbachs.

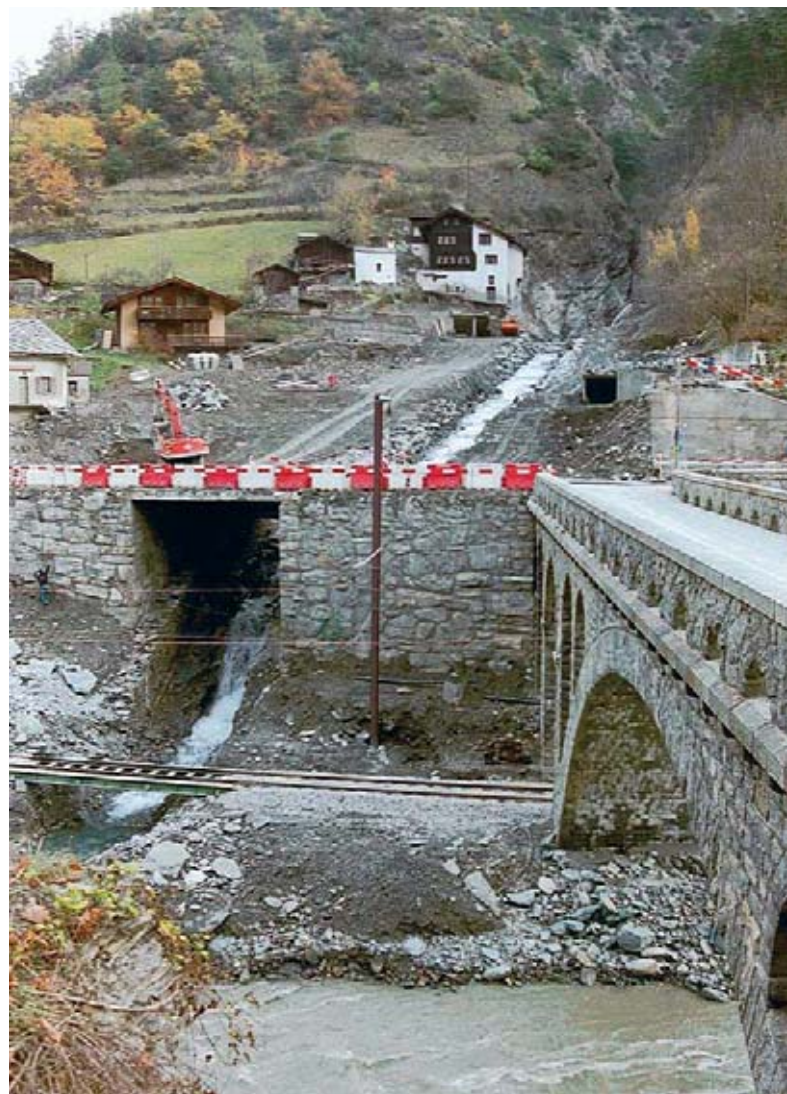


Foto 3: Das Foto zeigt den Kegelbereich von Neubrück nach dem Murgangereignis. Das betonierte Untergeschoss des zerstörten Restaurants ist am rechten Bildrand sichtbar.

8.6 Literatur

- Bodeneignungskarte der Schweiz, 1980: 1:200 000
- BUWAL, 1999: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Bd. 2: Fallbeispiele und Daten.
- Clemenz, B., 2000: Neubrücke – Der schreckliche Sonntagmorgen (15. Oktober 2000). Schriftlicher Bericht, Stalden, 19. Oktober 2000. Vgl. Stoffel, 2001.
- Ereigniskataster der Gemeinden Stalden und Visperten
- Gebäudeversicherungsanstalt des Kt. St. Gallen, 1999: Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren.
- Geologischer Atlas der Schweiz, 1994: Blatt Brig
- Hungr, O., Morgan, G. C., Kellerhals, R., 1994: Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. Canadian Geotechn. Journal, 21, p. 663–677.
- Johnson, A.M., Rodine, J.R., 1984: Debris flow. In: Brunsden, D. and Prior, D.B., (eds.), 1984: Slope Stability, p. 257–361. New York.
- Lonza Energie AG, 2000: Bericht zu den Unwetter Schäden vom 14.–16. Oktober 2000, KW Ackersand I und KW Riedji.
- Magreth, S., 2000: Objektschutz bei Lawinengefahr. FAN – Herbstkurs, 2000.
- Marclay, E., Joris, C.-L., 2001: Lave torrentielle de Neubrücke (Commune de Stalden). Contexte géologique et hydrogéologique de l'événement. Bericht CREALP Nr. 01.04, 2001, avec Annexe: carte des phénomènes 1:10 000, bassin versant du Beiterbach, Visperten – Stalden.
- Note pour le dossier de P-B Raboud, Service des Forces Hydrauliques (Canton du Valais), à J-D Rouiller, Géologue Cantonal, 23.2.2001 (avec fichier concernant les débits à Viège).
- Rickenmann, D., Weber, D., 2000: Flow resistance of natural and experimental debris-flows in torrent channels. Proc. of 2nd conference on debris flow hazards mitigation, Taiwan, p. 245–254.
- Stoffel, M., 2001: Zeugenbefragungen Neubrücke/ Stalden. Geographisches Institut der Universität Freiburg.
- WSL, 2000: Interview mit Herr T. Abgottspon vom 9.11.2000.

9 Vispa im Bereich Sefinot-Ackersand

Philipp Teyssiere, Urs Nigg

9.1 Einleitung

Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung der Erkenntnisse zum Abflussverhalten der Vispa während dem Unwetter 2000 im Bereich Ackersand-Sefinot. Trotz den vorallem im Oberwallis und der Simplonsüd-Rampe besonders konzentrierten Dauerregen führte die Vispa kein ausgeprägtes Hochwasser: Die sich am 15. Oktober auf der untersuchten Strecke ereigneten Überflutungen sind vielmehr die Folge eines Murgangs des Beiterbachs, eines kleineren rechtsseitigen Zubringers der Vispa rund 5,8 km vor deren Mündung in den Rotten.

Dieser auslösende Faktor ist im Fallbeispiel «Beiterbach (Neubrücke)» beschrieben. Hier werden nur seine Konsequenzen auf das Vispertal aufgezeigt.

9.2 Hydrologisches Verhalten der Vispa

9.2.1 Datenvergleich

In einem ersten Schritt werden die Murgänge ausgeklammert und unabhängig davon das Verhalten im untersuchten Bereich analysiert. Das folgende Diagramm zeigt die Ganglinie der Vispa bei Visp und bei Saas Balen vom 14. bis 16. Oktober 2000.

Etwa die Hälfte der Abflussmenge des gesamten Einzugsgebiets der Vispa stammt aus dem oberen Saaser Tal, welches rund einen Viertel der Gesamtfläche aus-

macht. Sehr deutlich ist auch der enge Zusammenhang der kurzzeitigen Schwankungen der beiden Abflussganglinien. Dies lässt sich teilweise mit der direkten Beeinflussung durch die Regulierorgane der Maschineneinheiten der Kraftwerke Mattmark erklären.

Die Abflussspitze bei Saas Balen von rund 100 m³/s entspricht dem zweitgrössten je beobachteten Wert (grösster Wert im September 1993 mit rund 190 m³/s).

Der Abfluss bei Visp liegt jedoch in der Rangliste bedeutend zurück, nämlich nur an 17. Stelle.

Die folgende Grafik Fig. 2 zeigt den Vergleich zwischen den Abflussganglinien vom September 1993 und Oktober 2000.

Gemäss den Informationen, die uns von den Sachbearbeitern der Landeshydrologie und -geologie Herrn Koch und Herrn Lehmann mitgeteilt wurden, lässt sich Folgendes feststellen:

Die Sohle der Vispa im Bereich der Messstelle bei Visp wurde im Jahr 1996 abgesenkt. Die Schwelle befindet sich in einwandfreiem Zustand. Somit waren die Verhältnisse im Jahr 2000 eindeutig stabiler als 1993.

Der gemessene Abflussspitze vom Oktober 2000 von 200 m³/s dürfte im unteren Rand der möglichen Bandbreite von rund 10% oder 20 m³/s liegen und es ist wahrscheinlich, dass die tatsächlichen Spitzenwerte höher waren.

Im Gegensatz dazu dürfte der maximale Abfluss vom September 1993 eher überbewertet sein.

Es ist somit anzunehmen, dass die wirkliche Differenz der Abflussmenge der beiden Ereignisse nicht in dem in der Fig. 2 dargestellten Ausmass von rund 120 m³/s

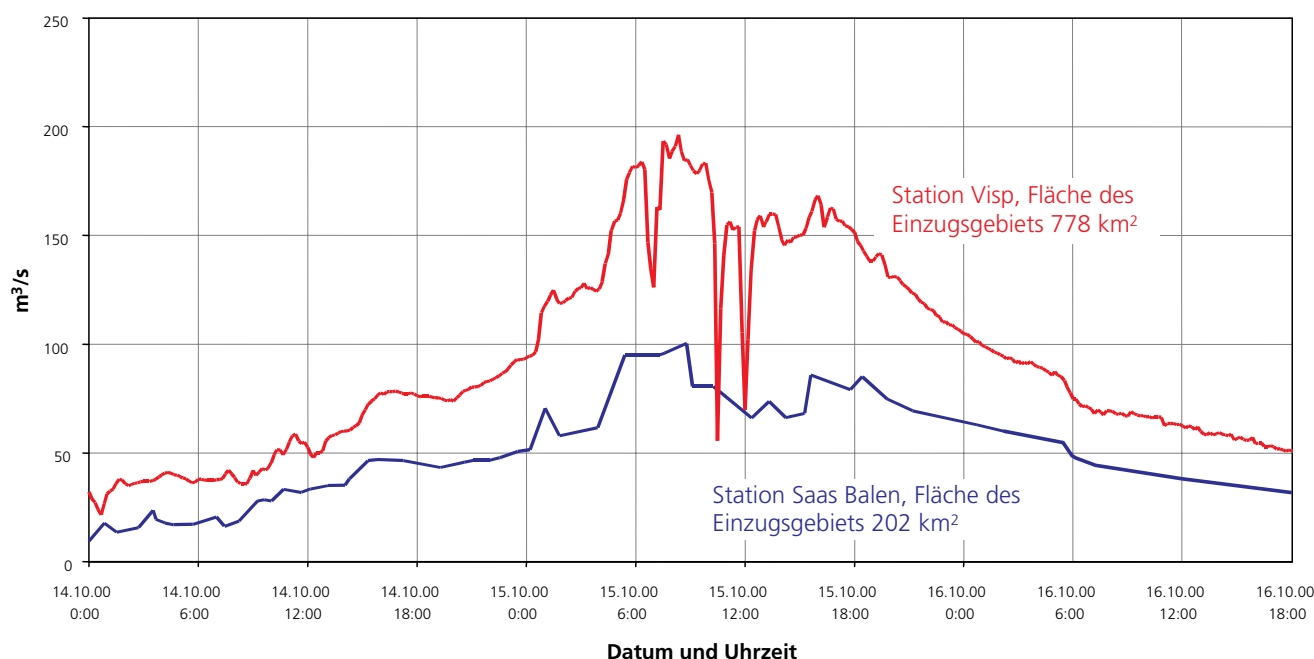


Fig. 1: Hochwasserganglinie der Vispa

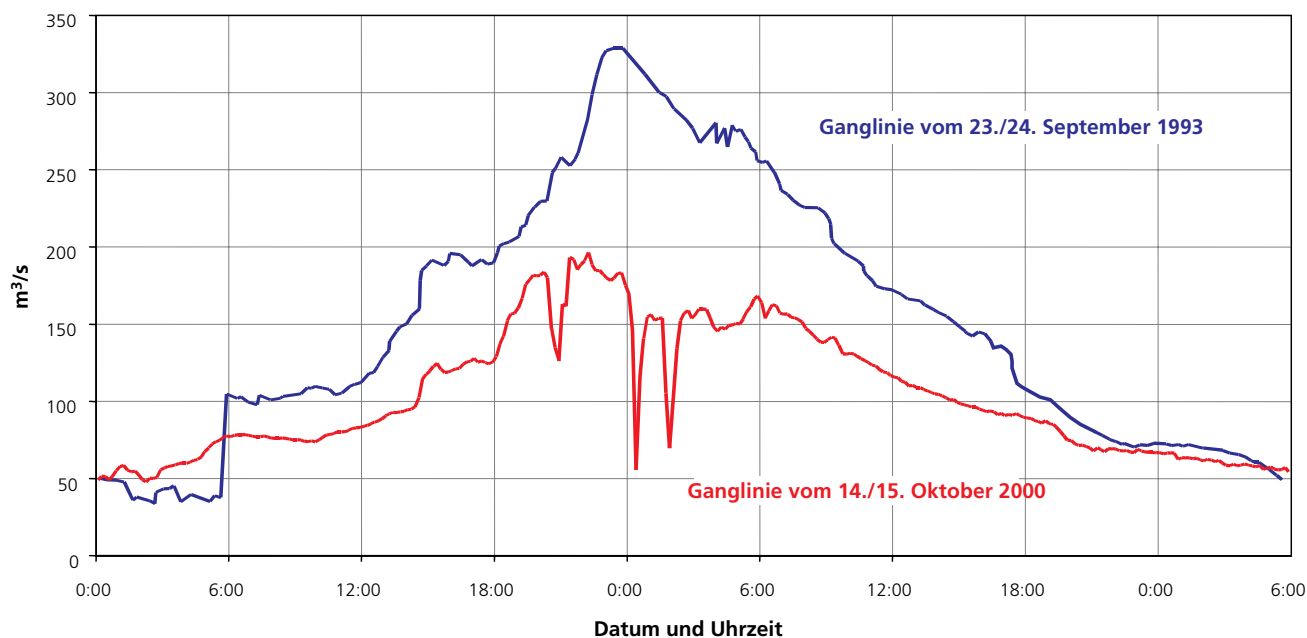


Fig. 2: Hochwasserganglinie der Vispa bei Visp im September 1993 und Oktober 2000.

entsprechen. Sie erreichte wohl eher den Bereich von rund 20% oder 60 m³/s. In Fig. 3 werden die spezifischen Abflüsse des Rotten, der Saltina und der Vispa während dem Unwetter 2000 verglichen.

Als interessant erweist sich vorallem der Vergleich der Vispa bei Visp mit dem Rotten bei Brig ohne den Beitrag der Saltina, da sich die Fläche der betreffenden Einzugsgebiete in der gleichen Grössenordnung befinden.

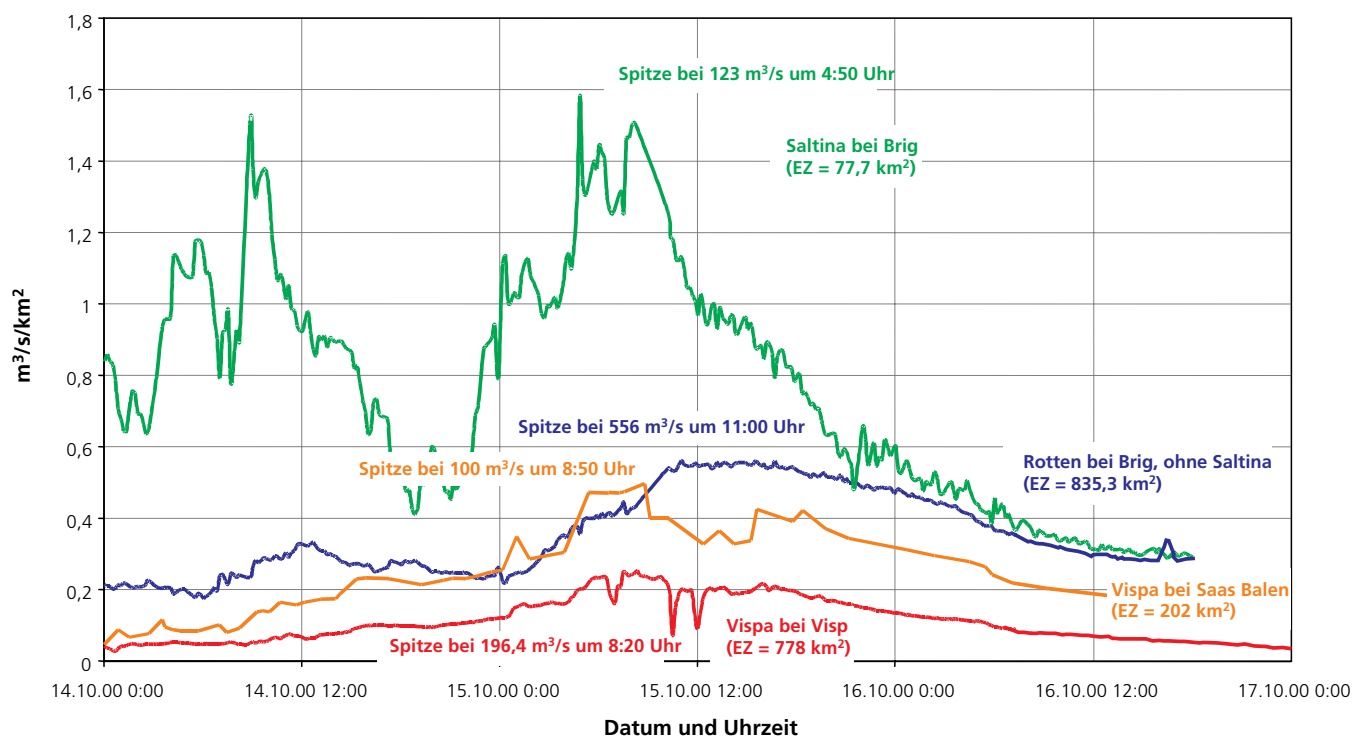


Fig. 3: Vergleich des spezifischen Abflusses an verschiedenen Messstationen.

Auch unter der Berücksichtigung der oben erwähnten Einschätzung der Daten bei Visp als untere Grenzwerte zeigt sich, dass die Vispa somit weniger als die Hälfte des spezifischen Abflusses führte als der Rotten. Die Überflutungsgefahr im unteren Teilabschnitts der Vispa war entsprechend gering. Visp war in der kritischen Zeitspanne des Unwetters deutlich mehr bedroht durch eine Ausuferung des Rottens.

9.2.2 Einfluss des Murgangs bei Neubrück auf das Abflussverhalten der Vispa bei Visp

Das Abflussverhalten der Vispa bei der Messstation Visp ist geprägt durch den temporären Rückstau durch die Murgänge des Beiterbachs.

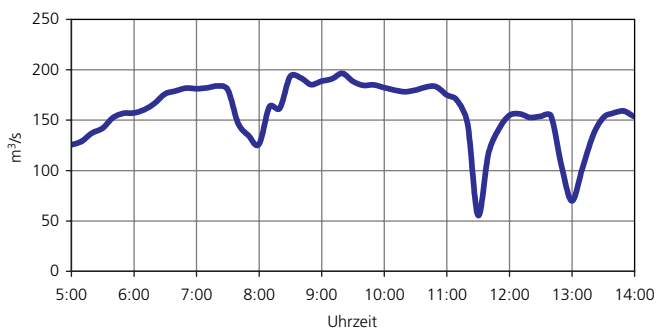


Fig. 4: Einfluss der Murgänge des Beiterbachs (Sommerzeit, in allen anderen Figuren wird Winterzeit verwendet).

Man kann somit drei Phasen feststellen mit etwa derselben zeitlichen Dauer, jedoch unterschiedlicher Absenkung des Abflusses. Die mögliche Interpretation der Einwirkungen auf das Transportverhalten der Vispa wird im folgenden Kapitel diskutiert.

9.3 Analyse des Feststofftransports

9.3.1 Allgemeines

Die Vispa zeigte auf ihrer gesamten Länge eine sehr intensive Geschiebeführung, insbesondere in ihrem östlichen Teileinzugsgebiet, als Saaser Vispa. Die vorliegende Fallstudie befasst sich nur mit den Ereignissen im Abschnitt Ackersand-Sefinot, dem untersten Teil nach dem Zusammenfluss von Matter Vispa und Saaser Vispa. Wie es aus der folgenden Situation und dem Längenprofil ersichtlich ist, findet hier der Übergang statt aus den steileren Schluchtstrecken in die flache Talzone. Somit handelt es sich um eine tendenzielle Auflan-

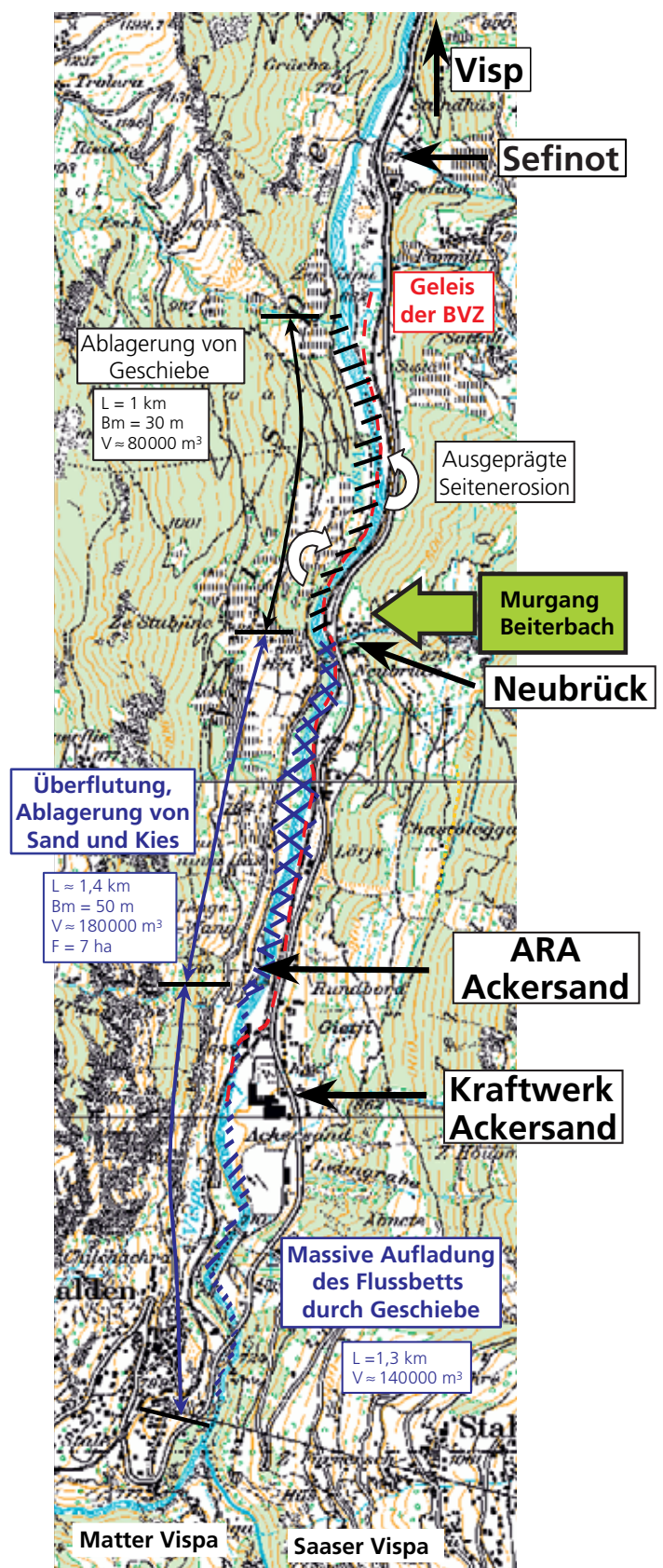


Fig. 5: Situationsplan des Abschnitts Ackersand-Sefinot

dungsstrecke. Bei Sefinot wird ein intensiver Kiesabbau betrieben mit dem Ziel, das bis dorthin transportierte Geschiebe zurückzuhalten. Dadurch kann im Normalfall die Sohle im untersten Abschnitt bis zur Mündung in den Rotten bei Visp in einem labilen Gleichgewicht gehalten werden.

93.2 Einfluss des Murgangs auf den Geschiebetransport

Die oben beschriebene Reaktion der Abflussganglinie der Vispa auf den dreimaligen konzentrierten Geschiebeeintrag des Beiterbachs bei Neubrück lässt die folgende Interpretation zu:

Der erste Schub erscheint weniger massiv als die folgenden. Er bewirkte eine Absenkung des Abflusses der Vispa um rund $50 \text{ m}^3/\text{s}$, während diese bei den beiden späteren zwischen 80 und $100 \text{ m}^3/\text{s}$ betrug. Man kann annehmen, dass der Eintrag des ersten Murgangs von der Vispa relativ schnell flussabwärts verteilt wurde.

Dadurch konnte die Transportkapazität der Vispa allmählich wieder ansteigen und in den fast drei Stunden bis zum zweiten Schub wieder eine Geschiebeverlagerung aus dem Oberlauf der Vispa ermöglichen. Der zweite und der dritte Eintrag dürfte dann den Rückstau und die Ablagerung des gesamten Feststoffmaterials bewirkt haben.

9.3.3 Situation

Der folgende Situationsplan sowie der Ausschnitt aus den Luftbildern zeigt die von den Überflutungen und Feststoffablagerungen betroffenen Zonen.



Fig. 6: Fotografische Aufnahme des Rückstaus (Landestopographie, Aufnahme vom 18.10.2000)

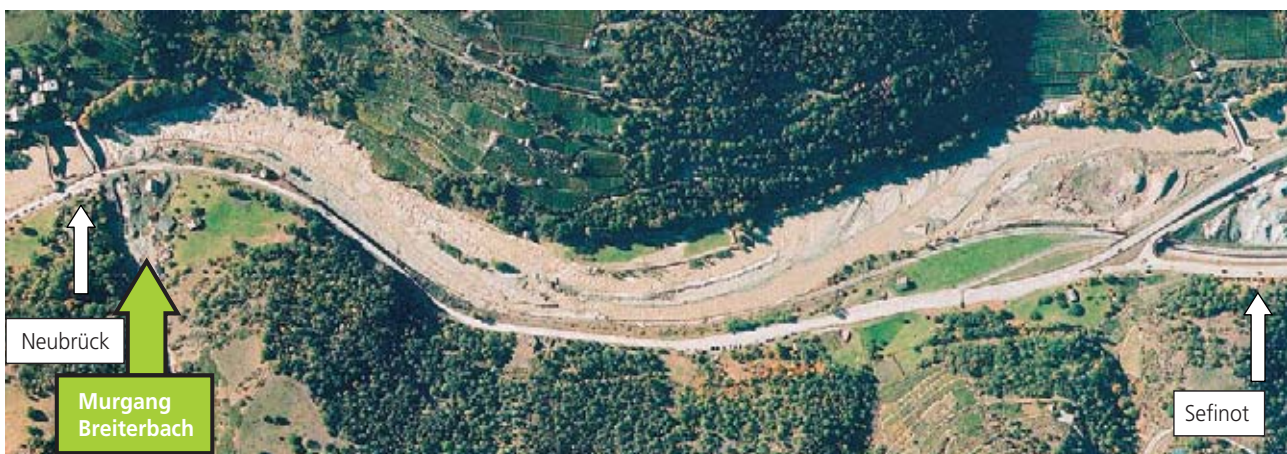


Fig. 7: Fotografische Aufnahme der Überflutungen (Landestopographie, Aufnahme vom 18.10.2000)

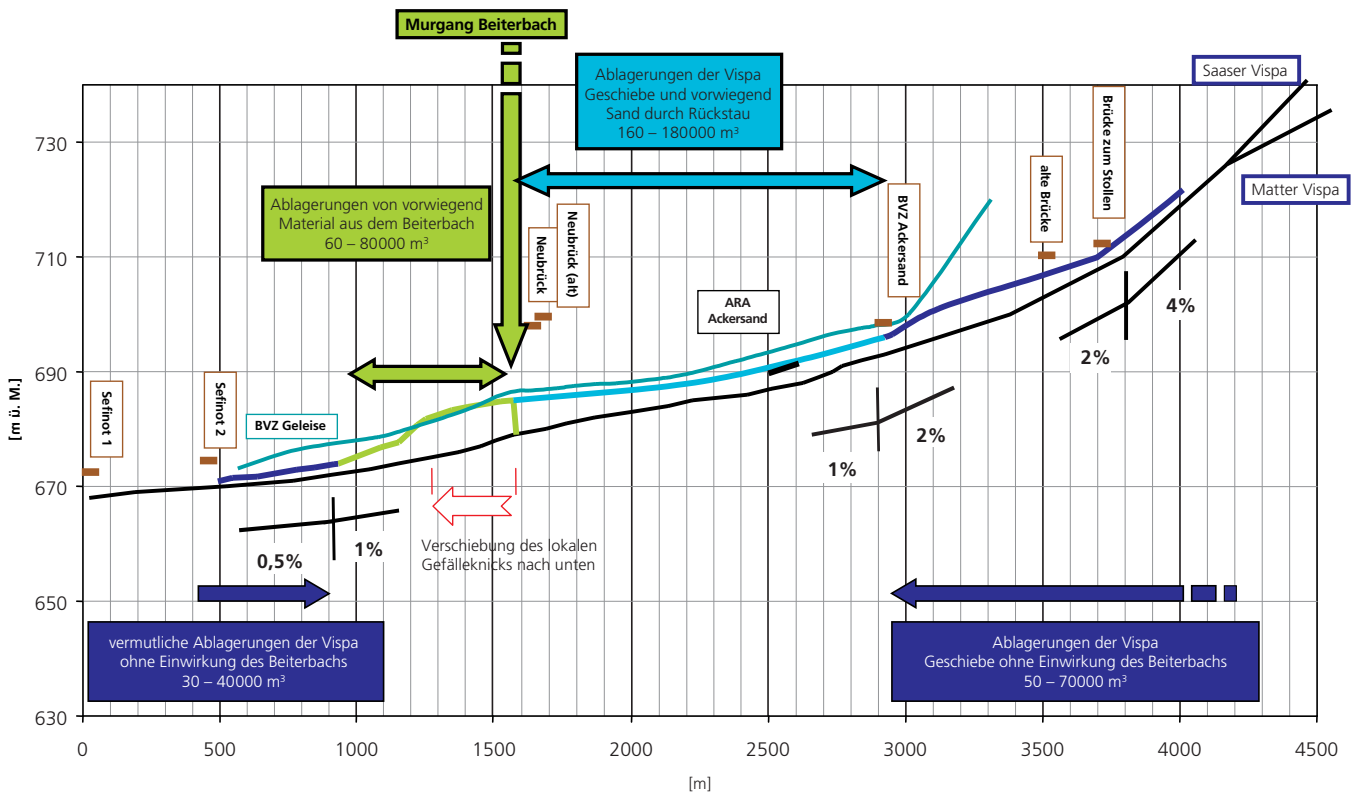


Fig. 8: Längsprofil der Ablagerungen in der Vispa im Bereich Ackersand-Sefinot.

9.3.4 Auswertung der Untersuchungen

9.3.4.1 Ablagerungsvorgänge

Die bei der vorliegenden Studie untersuchte Strecke kann in 4 Abschnitte aufgeteilt werden:

- Der oberste Abschnitt vom Zusammenfluss der beiden Vispa bis zur BVZ-Brücke im Ackersand. Hier findet der Übergang von 4% auf 1% Gefälle statt. Dadurch erfolgte eine massive Auflandung mit teilweise mehr als 3 m Sohlenhebung. Das abgelagerte Geschiebevolumen beträgt zwischen 50 und 70 000 m³.
- Der mittlere Abschnitt von Ackersand bis Neubrück zeigt die Resultate von verschiedenen Ablagerungsvorgängen: im oberen Teil und im gesamten Bett der Vispa fand eine Geschiebeablagerung statt. An verschiedenen Stellen ausserhalb des Flussprofils sind Kiesablagerungen vorhanden. Der grösste Teil der rund 7 ha grossen Ablagerungen besteht aus Sand. Die räumlich und zeitlich verschiedenen Fließgeschwindigkeiten bewirkten somit die für Alluvionen typische ungleichmassige Verteilung.
- An den tiefsten Stellen wurde das Flussbett bis zu 8 m angehoben. Die in diesem Bereich abgelagerten Feststofffrachten betragen rund 180 000 m³.

- Bei der Mündung des Beiterbachs bestand schon vor dem Ereignis ein geringer, jedoch im Längsprofil klar ersichtlicher Gefälleknick. Dieser wurde durch den Geschiebeeintrag der Murgänge und deren meterhohen Ablagerungen nach unten verlagert. Der grösste Teil des Materials aus dem Einzugsgebiet des Beiterbachs wurde nicht weiter als 400 m von der Vispa abtransportiert. Direkt nach dem Unwetter konnte dies mit der Erhebung des Längsprofils aufgezeigt werden. Die dabei ermittelte Geschiebemenge des Beiterbachs beträgt zwischen 60 000 und 80 000 m³.
- Die Ablagerungen in diesem Abschnitt geschahen nicht auf die gleiche Weise wie in der Rückstauzone. Der Fluss pendelte hin und her und bewirkte eine ausgeprägte Seitenerosion auf der Aussenseite der Kurven sowie die völlige Umgestaltung des Talbodens.
- In diesem Bereich kam es zu den grössten finanziellen Schäden durch die rund 400 m lange vollständige Zerstörung des Geleises der BVZ.
- Bei den untersten Ablagerungen vor der oberen Sefinot-Brücke dürfte der Beitrag der Vispa dominieren und jener des Beiterbachs deutlich zurückgegangen sein. Das entsprechende Volumen wird auf rund 30 000–40 000 m³ geschätzt.

9.3.4.2 Kenngrößen für das abgelagerte Geschiebe

Die folgende Fig. 9 zeigt die Resultate der Linienproben.

Diese Resultate widerspiegeln die Ablagerungsvorgänge:

- Das durch den Murgang mobilisierte und in die Vispa gelangte Geschiebe ist deutlich gröber als das von der Vispa selbst transportierte.
- Durch den Rückstau gelangten oberhalb von Neubrück feinere Anteile zur Ablagerung, welche unter normalen Umständen als Schwemmstoffe oder zumindest in diesem Bereich durchtransportierbares Material auftreten würden.

Nebst den Unglücksfällen von Neubrück ereigneten sich die bedeutendsten Schäden durch:

- die Übermuerung des Dorfteils Neubrück durch den Beiterbach
- die Zerstörung eines Teils der Bahnlinie unterhalb von Neubrück durch Ufererosion
- die Überflutung der ARA Ackersand und eines kürzlich erstellten landwirtschaftlichen Gebäudes.
- die Ablagerung von Sand und Feinkies auf einer weiten Strecke der Bahnlinie sowohl oberhalb wie unterhalb von Neubrück.
- die völlige Umgestaltung des Bachbetts der Vispa, die meterhohen Ablagerungen und die Übersauerung einer grossen landwirtschaftlich genutzten Gebietes unterhalb von Neubrück.
- die enormen Volumen des mehrheitlich im Bachbett abgelagerten Geschiebes auf der ganzen Länge oberhalb von Neubrück und speziell oberhalb von Ackersand.

9.4 Überblick über die verursachten Schäden

Die Ereignisse, welche sich während dem Unwetter 2000 auf dem Abschnitt Ackersand-Sefinot abspielten, verursachten das gesamte Spektrum der im Bereich der Fliessgewässer relevanten Prozesse von Überschwemmungen, Übermuerung und Ufererosion.

Die Gesamtsumme der durch die Vispa bewirkten Schäden liegt in der Grössenordnung von 15 bis 20 Millionen Franken.

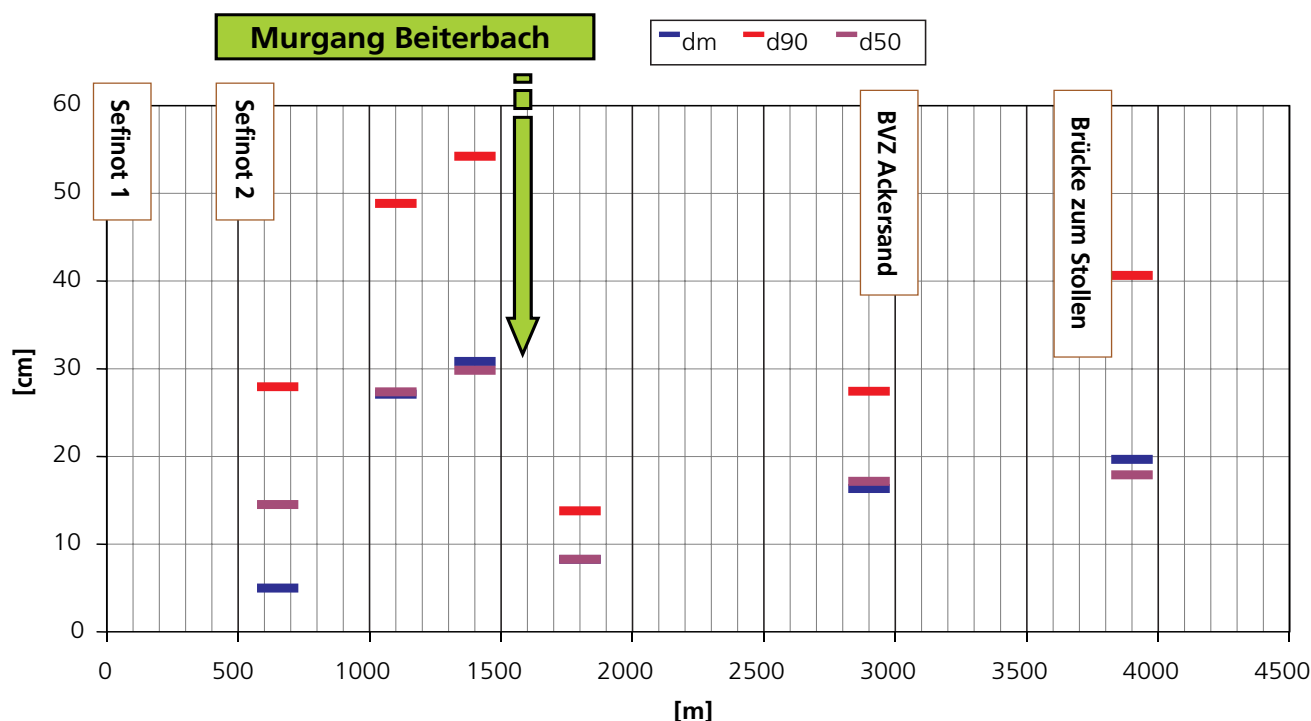


Fig. 9: Resultate der Linienproben: Massgebende Durchmesser des transportierten und abgelagerten Geschiebes.

9.5 Schlussfolgerungen

Die beim Unwetter 2000 ausgelösten Prozesse zeigen zwei zentrale Komponenten:

- Den Ablagerungsvorgang des von der Vispa aus seinem Einzugsgebiet transportierten Geschiebes.
- Den Beitrag des massiven seitlichen Eintrags des Beiterbachs und seine Auswirkung auf das Abflussverhalten der Vispa.

Die erste Komponente, bewirkt durch den Gefällsknick von rund 4% auf weniger als 1%, zeigt die jedem Gebirgsfluss eigene Problematik auf. Um das dadurch präsente Gefahrenpotential für die Talebene und Vispa besser zu beherrschen, wird seit langer Zeit und an verschiedenen Stellen Kies aus dem Bett der Vispa entnommen. Die zur Zeit einzige Anlage befindet sich im unteren Bereich des untersuchten Abschnitts, bei Sefinot. Der Standort ist insbesondere prädestiniert durch die dort bestehende lokale Aufweitung des Gerinnes. Die Anlage spielt eine entscheidende Rolle im Geschieberegime der Vispa und ermöglicht es, für den unterhalb liegenden Abschnitt bis zur Einmündung in den Rotten ein labiles Gleichgewicht der Sohle beizubehalten. Beim Ereignis 2000 und dem Regime der Vispa, welche zu den Ablagerungen bei Ackersand führten, hat dieser Faktor jedoch keine Rolle gespielt.

Für die weitergehenden Untersuchungen ist es entscheidend, abzuklären, in welchem Masse die Prozesse des Unwetters 2000 relevant sind und welche Möglichkeiten bestehen, den Anteil des Grobgeschiebes beim Schluchtausgang besser zu beherrschen. Die zweite Komponente, der seitliche Eintrag des Beiterbachs und der dadurch bewirkte Rückstau einerseits und die Aktivierung der Flusssdynamik der Vispa im Unterlauf andererseits, hat bereits zur Realisierung von Sofortmassnahmen geführt. In einer nächsten Phase wird ein Konzept zum Schutz gegen ein vergleichbares Ereignis ausgearbeitet.

Es ist anzustreben, dass ein entsprechendes Gesamtkonzept auch die anderen wichtigen Seitenbäche im Vispertal miteinbezieht.

10 Baltschieder

Urs Nigg, Philipp Teyssere, Martin Jäggi, Christoph Hegg

10.1 Einleitung

Die Gemeinde Baltschieder gehört zu den am stärksten betroffenen Gebieten der Unwetterereignisse 2000. Das Dorf befindet sich auf der rechten Talseite des Roten bei Visp. Die am dichtesten besiedelte Zone liegt auf dem relativ flachen Kegel des Baltschiederbachs. Dieser erreicht am frühen Sonntagmorgen dem 15. Oktober 2000 eine ausserordentlich hohe Abflussmenge mit entsprechender Geschiebe-, Sand- und Schlammfracht. Die Kapazität des bestehenden Geschieberückhaltebeckens war völlig ungenügend und auch die Abflussschale verlor ihre Funktion. Die Strömung pendelte im oberen Bereich des Kegels auf der gesamten Breite und führte somit zu relativ gleichmässigen meterhohen Ablagerung von Gestein und Grobkies. Etwa 300 m unterhalb des Damms dirigierte sich der Hauptstrom auf die rechte Seite und die am weitesten vorgeschobenen Geschiebeablagerungen reichten bis zum Dorfplatz. Die entsprechende Fläche beträgt rund 3 ha. Die gesamte von Sand- und Schlammablagerung betroffene Zone erreichte ein Ausmass von rund 70 ha.

Man kann es als Glück und richtige Reaktion im richtigen Moment von allen Betroffenen bezeichnen, dass es bei diesem Ereignis nur Sachschäden gab und keine Verletzten oder gar Todesopfer zu beklagen sind. Die Schadenssumme beläuft sich auf ca. 50 Mio. Fr. (Stand Dezember 2000). Eine Arbeitsgruppe wurde anfangs November 2000 von der Gemeinde Baltschieder beauftragt, die massgebenden Prozesse zu analysieren und ein Konzept zum Schutz ihres Dorfes zu erarbeiten.

10.2 Einzugsgebiet

Der Baltschiederbach entspringt dem Üssre und Innre Baltschiedergletscher in der nordseitigen Hochgebirgszone des Rhonetals (s. Fig. 1). Seine Fläche beträgt 42,7 km² wovon rund drei Viertel oberhalb von 1800 m ü. M. liegen. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes entspricht etwa 2280 m ü. M.

Die generelle Fliessrichtung des Bachs verläuft nach Süden und die Form des Einzugsgebiet entspricht einem etwa 12 km langem Rechteck mit einer mittleren Breite von 3,5 km.

Während die orographisch rechte Talseite meist aus Schutthalden, Felspartien und Runsen mit einer Neigung von über 80% besteht, ist die linke Talseite weniger steil. Sie weist dadurch ein prägnanteres Gerinnenetz auf, welches im unteren Teil aus drei markanten Seitenbächen und einigen kleineren Rinnen besteht. Nur ein geringer Anteil von etwa 8% im untersten Drittel des Einzugsgebietes kann als bewaldet bezeich-

net werden. Das Weideland befindet sich fast ausschliesslich entlang den Seitenbächen und im mittleren Drittel des Haupttals. Es bedeckt grösstenteils steile Hänge und entspricht rund 40% der Gesamtfläche. Die Schutt-, Fels- und Gletscherzonen entsprechen somit den restlichen 52%.

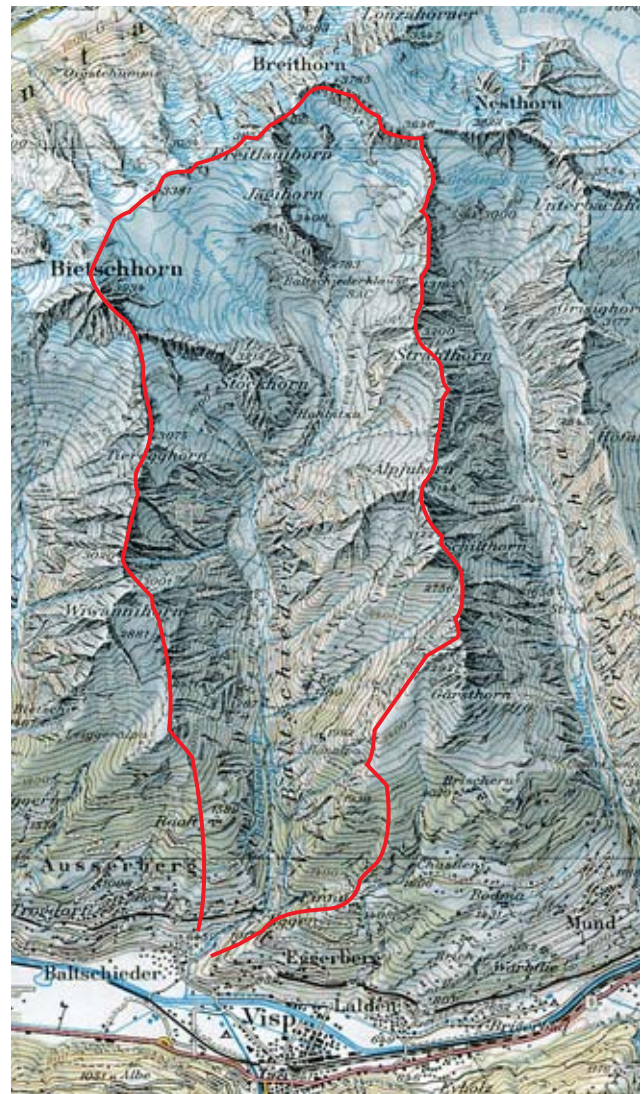


Fig. 1: Einzugsgebiet des Baltschiederbachs (ursprünglich 1:100 000, verkleinert)

Die Gesamtlänge des Baltschiederbachs beträgt rund 11 km. Davon liegen 8,2 km unter 1800 m ü. M. Seine Mündung in den Rotten erfolgt auf 647 m ü. M. Wie aus dem folgenden Längenprofil (Fig. 2) ersichtlich ist, ist die für Gebirgsbäche oft typische Aufteilung in die drei Abschnitte Akkumulationsstrecke – Umlagerungsstrecke – Transportstrecke beim Baltschiederbach nicht sehr deutlich differenziert.

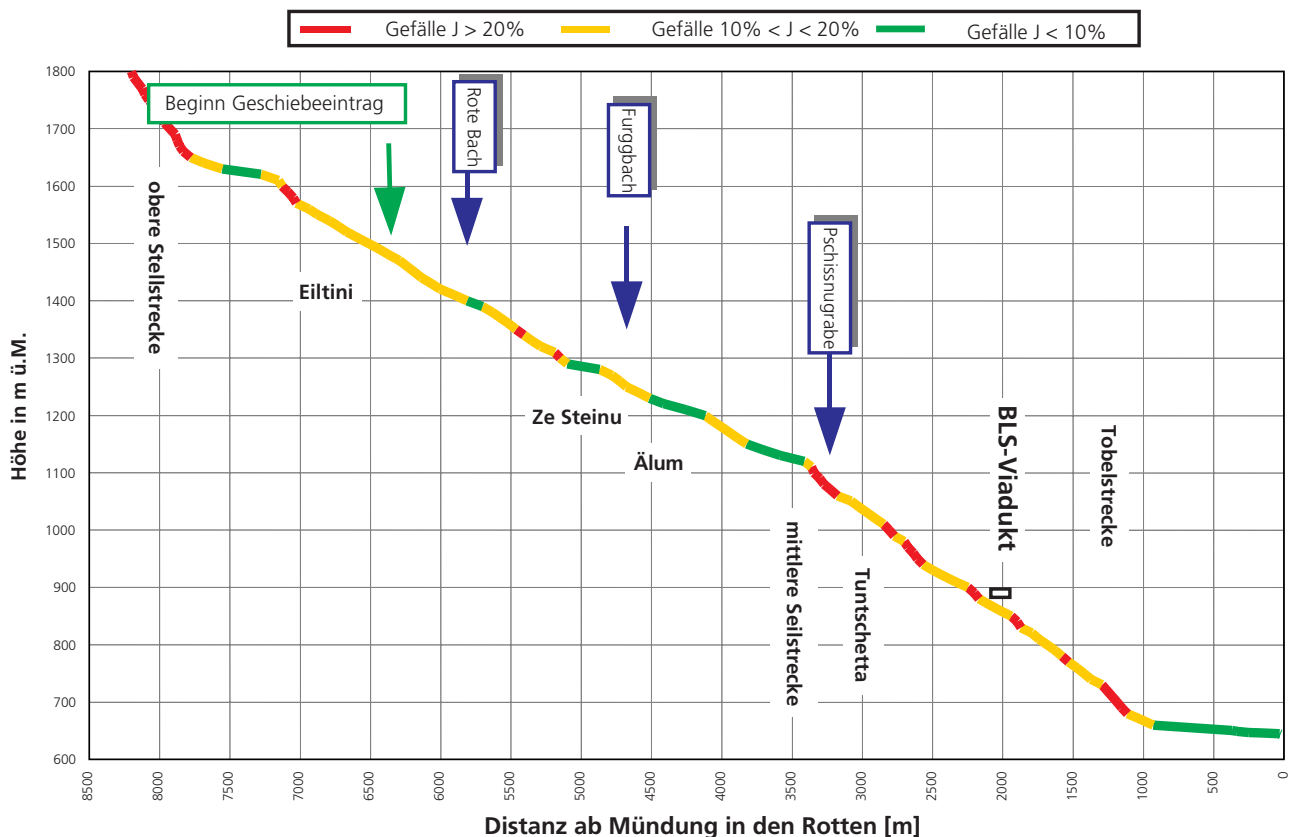


Fig. 2: Längenprofil des Baltschiederbachs

Für den Geschiebehaushalt des Bachs ist die etwa 500 m lange Flachstufe auf rund 1600 m ü. M. von grösserer Bedeutung. Wahrscheinlich bedingt durch die ausgeprägt aktive Erosionstätigkeit und einen post-glazialen Felssturz im Bereich Eiltini fällt das Bachgefälle hier deutlich unter 10%. Somit besteht hier eine ausgeprägte Ablagerungszone. Es kann davon ausgegangen werden, dass der relevante Geschiebetransport des Baltschiederbachs in der nächstunteren Steilstrecke bei Eiltini beginnt.

10.3 Ablagerungen

Eine grobe Abschätzung des abgelagerten Materials erfolgte kurz nach dem Ereignis. Eine Verfeinerung der Abmessung des Geschiebeanteils wurde nach der vorgeschrittenen Wiederherstellung der Anfangstopographie durchgeführt. Die folgende Grafik zeigt die Schätzwerte für das abgelagerte Geschiebevolumen und deren Verteilung auf einem überhöhten Längenprofil.

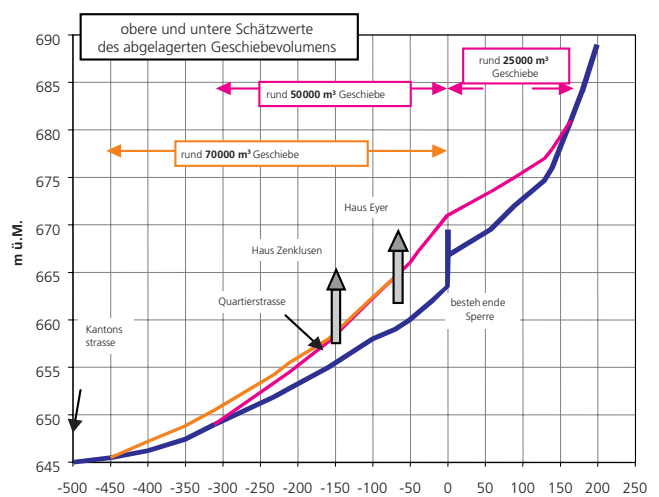


Fig. 3: Geschiebeablagerungen im Kegelbereich

10.4 Zustandsaufnahmen im Einzugsgebiet

Die Aufnahme der während des Ereignisses aufgetretenen geomorphologischen Phänomene geschah detailliert durch die Abmessung der direkt ins Gerinne erfolgten Rutschungen sowie die abschnittsmässige Einschätzung der Böschungs-, Seiten- und Sohlenerosion des Bachs.



Foto 1: Ausgeprägte Verbreiterung der Sohle und Böschungserosion bei Tutschetta.



Foto 2: Untere Tobelstrecke mit Blick auf Baltschieder



Foto 3: Anbruch des Schuttkegels der Runse bei Tutschetta, punktueller Beitrag von rund 8000 m³ Feststoffen.

Die ausserhalb des Hauptgerinnes erfolgten Erosionen in den Seitenbächen, Runsen und Schutthalen wurden bei den Begehungen und den Flügen optisch abgeschätzt.

Die folgende Figur zeigt wie die verschiedenen Beiträge im schematischen Gelände verteilt sind.

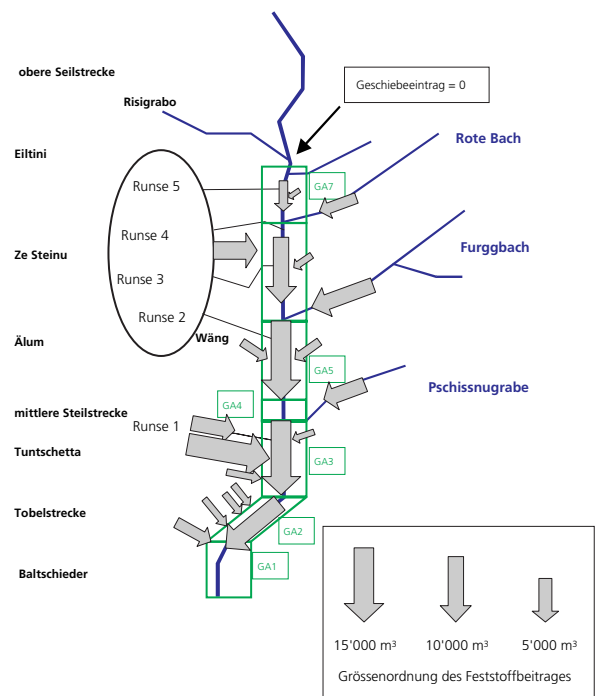


Fig. 4: Örtliche Herkunft der Feststofffracht

Der folgende Kuchen präsentiert die Verteilung der Herkunft der im gesamten auf rund 120 000 m³ abgeschätzten Feststofffracht.

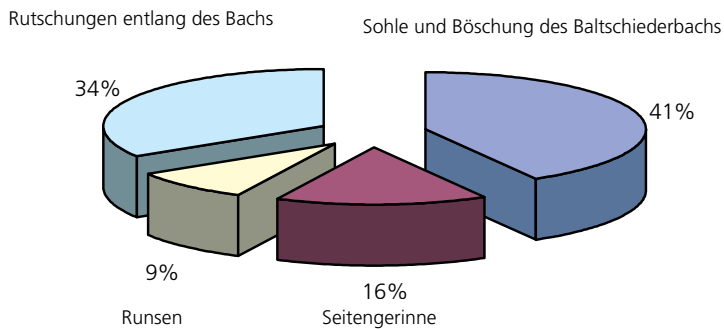


Fig. 5: Verteilung der Feststofffracht

10.5 Hydrologische Untersuchungen

Die Abschätzung der Ganglinie des Baltschiederbachs für das Ereignis, zusammen mit dem Niederschlag von Visp ist in Fig. 6 dargestellt.

Der mit Hilfe des modifizierten Clark Modells rekonstruierte Spitzenabfluss im Baltschiederbach liegt

zwischen etwa 85 m³/s und 105 m³/s. Anhand des während dem Rückgang des Hochwassers aufgenommenen Bildmaterials konnte ein Abfluss von etwa 80 m³/s abgeschätzt werden.

Die aus den im unteren und mittleren Abschnitt des Baltschiederbachs gemessenen Querprofilen berechneten Abflüsse schliessen oben an die anhand der Niederschläge berechneten Abflüsse an. Unter Berücksichtigung aller Faktoren kann davon ausgegangen werden, dass der Spitzenabfluss im Baltschiederbach beim Ereignis vom 15. Oktober 2000 im Bereich von 100 m³/s gelegen hat.

Betreffend des Dimensionierungshochwassers wird vorgeschlagen, eine Bandbreite mit 80 m³/s als unteren, 135 m³/s als oberen Grenzwert zu verwenden.

Als mittlerer Wert wird 100 m³/s empfohlen.

Neben dem Spitzenabfluss bildet in geschiebeführenden Gerinnen auch die Wasserfracht eine wichtige Dimensionierungsgrösse, da letztlich die über einen zu bestimmenden Grenzbereich hinaus gehende Wasserfracht darüber entscheidet, wie viel Geschiebe in einem Wildbach bei einem Ereignis transportiert wird. Die entsprechenden Wasserfrachten wurden im Baltschiederbach einerseits für das Ereignis vom 14./15. Oktober 2000 und andererseits für den oberen Grenzwert der Bemessungsgabel sowie für ein Extrem-

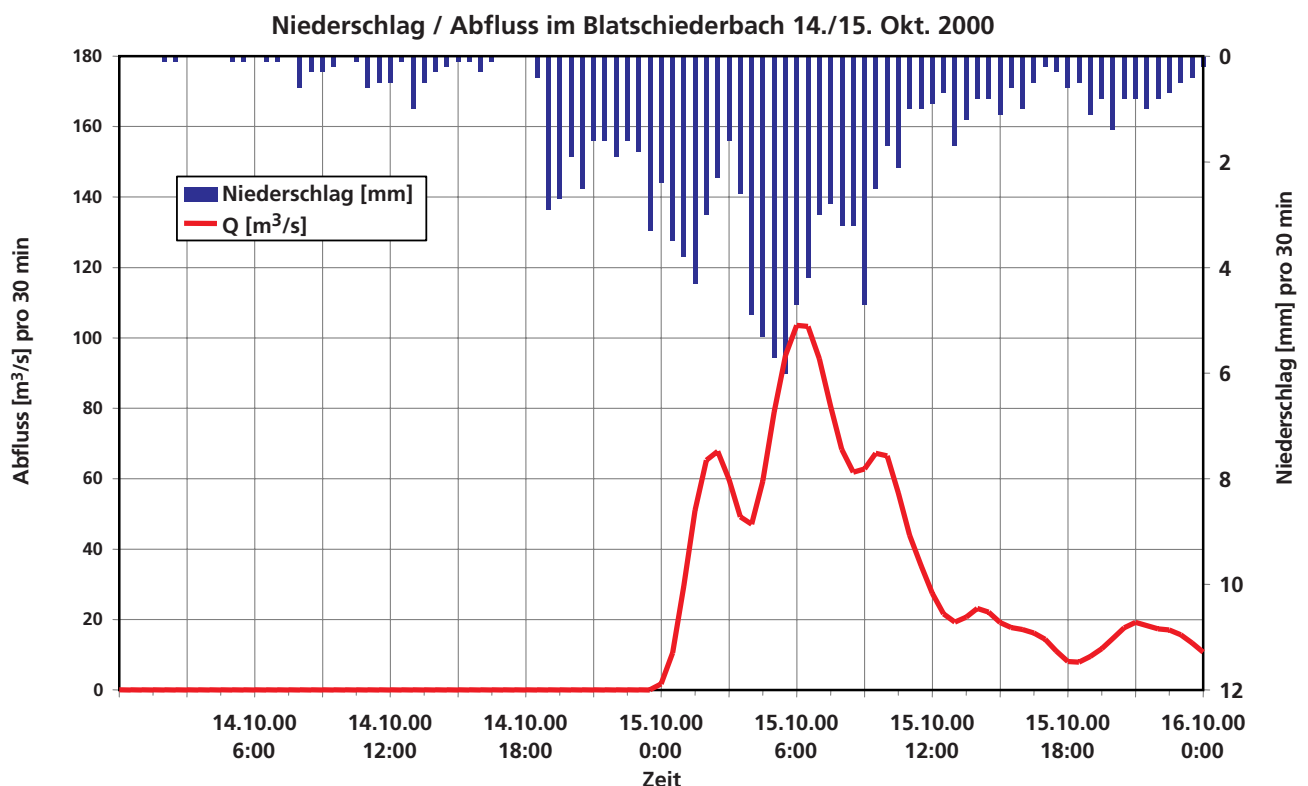


Fig. 6: Niederschlag bei Visp und rekonstruierter Abfluss des Baltschiederbachs.

hochwasser mit einer Abflussspitze von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet. Dabei zeigte sich, dass die Wasserfracht, welche beim Ereignis 2000 aufgetreten ist, auch jene eines Extremhochwassers deutlich übertrifft. Das Ereignis vom Oktober 2000 bildet deshalb bezüglich der zu berücksichtigenden Wasserfracht eine vernünftige Bemessungsgrundlage.

10.6 Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse

Die bedeutendsten Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchungen sind die folgenden:

- Ein entsprechendes Unwetterereignis hat sich in Baltschieder seit Menschengedenken nicht ereignet. Dies wird auch bestätigt durch die Unterschätzung der Dimensionierungsgrößen der Schale auf dem Kegel, welche ein letztes Mal vor rund fünf Jahren ausgebaut wurde.
- Die im obersten Teil des Baltschiederbachs stattfindenden Prozesse sind für die Abflussbildung von Bedeutung, jedoch nicht für die Geschiebebilanz.
- Allgemein erfolgte der Feststoffeintrag am stärksten in der unteren Hälfte des aktiven Gerinnes und somit im unteren Drittel des gesamten Einzugsgebietes.
- Entlang des Baltschiederbachs sind überall Erosionserscheinungen feststellbar, hingegen nur wenige – lokal begrenzte – Ablagerungen.
- Das Transportvermögen in der Tobelstrecke reicht längstens aus, das den oberhalb liegenden Erosionsherden entsprechende Volumen durch die Schlucht zu transportieren.
- Man kann somit davon ausgehen, dass praktisch die gesamte Feststofffracht, welche aus dem Gerinne mobilisiert oder von der Seite her eingetragen wurde, bis zum Kegelhals transportiert wurde.
- Die gesamten Ablagerungen im Tal liegen in einer Größenordnung von $140\,000$ bis $180\,000 \text{ m}^3$ Feststoffen. Der Anteil des Geschiebes dürfte rund $80\,000 \text{ m}^3$ betragen.
- Ein gleiches Ereignis wie im Oktober 2000 würde aus der Sohle und den Uferböschungen ähnlich viel Geschiebe mobilisieren. Für Ereignisse, bei welchen der Spitzenabfluss unter 50 bis $70 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt, wird aus der Schlucht kaum Geschiebe mobilisiert. In einem solchen Fall richtet sich das Geschiebeaufkommen nach der Situation in den einzelnen Geschiebeherden.
- Auch die seitlichen Einträge durch Rutschungen und Runsen dürften bei einem vergleichbares Ereignis nicht relevant vermindert sein.

10.7 Massnahmen

Ende Februar 2001 sind Sofortmassnahmen zur Ausführung gelangt, um bei den im nächsten Sommer zu erwartenden Hochwassern einen effiziente Geschieberückhalt zu erreichen. Sie beinhalten die bestmögliche Ausräumung des bestehenden Rückhaltebeckens, die Abänderung der Sperre und die Anhebung des Damms um 5 m . Dadurch wird das verfügbare Volumen auf rund $40\,000 \text{ m}^3$ erweitert. Die zur Zeit in die zweite Phase getretenen Studien der Arbeitsgruppe zielen darauf, bis Ende 2001 ein Gesamtkonzept zum Schutz der Gemeinde Baltschieder zu erarbeiten.

11 Temporäre Schutzmassnahmen während des Hochwassers vom 14. bis 16.10.2000 in der Lonza

Ernst Abgottsporn, Jules Seiler, Benno Zarn, Markus Zimmermann

Zusammenfassung

Die Dörfer von Steg und Gampel mit ihren rund 2500 Einwohnern sind durch Hochwasser der Lonza, des Galdi und des Rottens gefährdet. Insbesondere die Lonza stellt eine erhebliche Gefahr für das Siedlungsgebiet dar. Wie häufig auf Schwemmkegeln zu beobachten, wird auch in Steg-Gampel die Gefahrensituation durch Brücken im Bereich der Gefällsabnahme verschärft. Basierend auf umfangreichen Prozessanalysen im Einzugs- und Gefahrengbiet wurde 1999 ein Hochwasserschutzkonzept für die Gemeinden Steg und Gampel ausgearbeitet. Bestandteil dieses Konzeptes waren verschiedene Sofortmassnahmen, welche im Winter 1999–2000 realisiert wurden. Lokal wurden die Ufermauern erhöht und die Dorfbrücke kann mit einem mobilen System von Stahlträgern und Damm-balken aus Holz überflutbar gemacht werden. Bereits im Oktober 2000 mussten sich die Sofortmassnahmen bewähren. Mit diesen kostengünstigen Massnahmen, welche sich ins definitive Schutzkonzept integrieren lassen, konnte im vergangenen Oktober ein erheblicher Schaden verhindert werden.

11.1 Einleitung

Die Gemeinden Steg und Gampel liegen auf dem Wildbachkegel der Lonza im Rhonetal (Fig. 1). Historische Dokumente zeigen, dass die beiden Dörfer vom Rotten, der Lonza und dem Galdi verschiedentlich überschwemmt respektive übersart wurden. Am häufigsten trat der Rotten über die Ufer. Bei grossen Hochwassern im Rotten besteht die Gefahr von Überschwappungen und Dammbrüchen. Überdies verursachen solche Hochwasser regelmässig einen Rückstau in den Abfluss- und Drainagekanälen Galdi (Steg) und Grosse Grabe (Gampel). Der Rückstau führt zu Ausuferungen und statischen Überschwemmungen in Siedlungs-, Industrie-, Gewerbe- und Landwirtschaftsgebiet mit grossem materiellem Schadenpotential. Die unmittelbarste Gefahr geht aber von Hochwassern der Lonza aus. Hier handelt es sich im Fall von Ausbrüchen um dynamische Überschwemmungen mit lebensbedrohendem und gebäudezerstörerischem Charakter. Das dichtbesiedelte Gebiet mit entsprechender Infrastruktur ist unmittelbar betroffen. Aus diesem Grund wurden Hochwasserschutzmassnahmen an der Lonza, im Gegensatz zu Galdi und Grosse Grabe, als prioritär eingestuft. Im Folgenden wird die Situation an der Lonza beschrieben, während auf eine ausführlichere Behandlung von Galdi und Grosse Grabe verzichtet wird. Für alle drei Gewässer werden zur Zeit Hochwasserschutzprojekte ausgearbeitet.

Von der Lonza sind verschiedene Ausuferungen be-

kannt, welche schon sehr weit zurückliegen. Selbst die Grossereignisse im Wallis von 1987 und 1993 führten in der Lonza zu keinen kritischen Verhältnissen. Der verheerende Ausbruch der Saltina 1993 in Brig löste aber eine Diskussion über die Hochwassersicherheit in den Dörfern Steg und Gampel aus, da die Verhältnisse auf dem Wildbachkegel mit Brig vergleichbar sind. Schliesslich beauftragte 1995 die Lonza Energie AG, welche das Kraftwerk Löttschen betreibt, zusammen mit den Gemeinden Gampel und Steg die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) die Hochwassergefährdung von Gampel und Steg durch die Lonza abzuklären (VAW, 1995). Basierend auf dieser Studie entschlossen sich die Gemeinden Steg und Gampel, ein Hochwasserschutzkonzept für die Lonza erarbeiten zu lassen. Dabei zeigte sich, dass verschiedene Sofortmassnahmen notwendig waren.

11.2 Einzugsgebiet und Kraftwerk Löttschen

Die Lonza entwässert das Löttschental und einen Teil der Löttschberg – Südrampe. Vom 170 km² grossen Einzugsgebiet sind 35 km² vergletschert. Bei Ferden wird die Lonza mit einer Bogenmauer gestaut. Der Nutzinhalt des Stausees beträgt 1.7 Mio. m³. Das Wasser kann mit einer maximalen Leistung von 22 m³/s in Steg turbinieren und anschliessend in die Lonza zurückgeleitet werden. Die Alusuisse – Lonza Energie AG betreibt das Becken als Tages- und Wochenspeicher und führt alle zwei Jahre Spülungen durch.

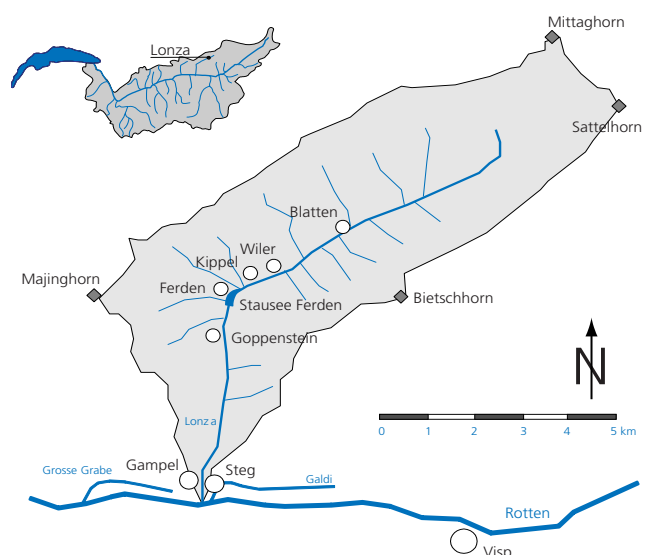


Fig. 1: Einzugsgebiet der Lonza (nach: VAW, 1995)

11.3 Gefahrenanalyse

11.3.1 Schadenereignisse und Verbauungen der Lonza im Kegelbereich

Es liegen nur wenige historische Angaben zu Hochwasserereignissen in der Lonza vor (Geoplan et al., 2000). Die Gemeinden Steg und Gampel waren durch Überschwemmungen des Rottens vor dessen Korrektur in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts viel häufiger betroffen als durch Ausbrüche der Lonza. Von dieser sind lediglich vier Schadenereignisse bekannt: 1616, 1830, 1848 und 1860.

Im 19. Jahrhundert wurde jährlich in Fronarbeit während drei Tagen das grösste Geröll aus dem Bachbett entfernt. Nach der Erhöhung der Ufermauern in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde auf diese Massnahme verzichtet. Es war zwar im Lauf der Jahre einige Male erforderlich, bei Hochwasser einzelne Schwachstellen mit Sandsäcken zu sichern, die Lonza ist aber nie ausgeufert. Es ist allerdings anzunehmen, dass immer wieder Geschiebeentnahmen und Unterhaltsmassnahmen notwendig waren.

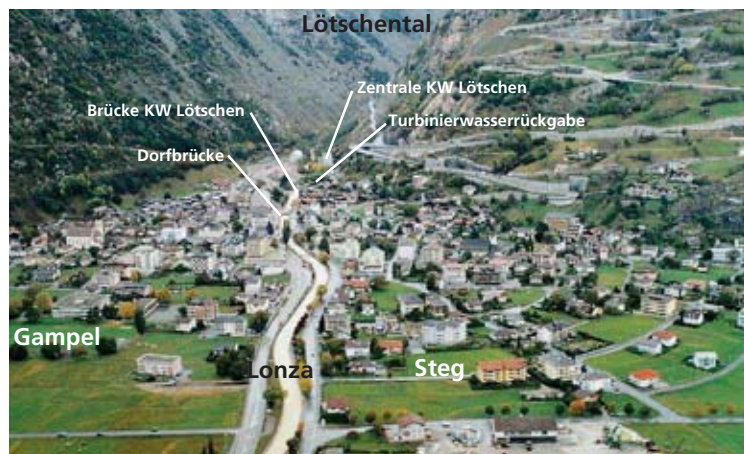


Foto 1: Wildbachkegel der Lonza mit den Dörfern Gampel (links) und Steg (rechts).

11.3.2 Bemessungsereignis – Wasser und Geschiebe

Das Abfluss- und Geschieberegime in der Lonza wird durch das Staubecken Ferden beeinflusst. In der Regel wird versucht, bei Hochwasser zu turbinieren und durch ein frühzeitiges Absenken auch die Hochwasserspitzen im Staubecken zurückzuhalten. Mit dieser Betriebsweise konnte im August 1987 die Abflussspitze unterhalb der Staumauer von 45 auf 21 m³/s reduziert und im September 1993 ein Überlaufen bei einem Zu-

fluss von 59 m³/s vermieden werden. Vorabsenkungen und Turbinieren während Hochwasserereignissen können jedoch nicht garantiert werden, z.B. wenn die Prognosen ungenau sind, der Strom nicht ans Netz abgegeben werden kann oder der Zufluss die Turbinierleistung übersteigt.

Ohne den Speicher Ferden beträgt das HQ₁₀₀ der Lonza im Kegelbereich 130 m³/s. Die Dämpfung bei vollem See reduziert die Abflussspitze um etwa 10 m³/s. Durch das Turbinieren nimmt der Abfluss zwischen der Staumauer und dem Kegelhals um weitere 22 m³/s ab. Im Siedlungsbereich kann dadurch zwar die Abflussspitze nicht beeinflusst werden, weil die Wasserrückgabe unmittelbar beim Kegelhals erfolgt, für die Geschiebemobilisierung im Einzugsgebiet ist dieser Umstand jedoch von Bedeutung.

Durch die Spülungen alle zwei Jahre werden die Sedimente aus dem oberen Einzugsgebiet der Lonza zeitverzögert in den Unterlauf abgegeben und bei Hochwasser über mehrere Steilstufen und Flachstrecken Richtung Rotten verfrachtet (Fig. 2). Für den Geschiebeeintrag in den Kegelbereich ist das Transportvermögen in der Flachstrecke Klösterli und die Stabilität der folgenden Steilstrecken ausschlaggebend. Das HQ₁₀₀ ohne Beeinflussung des Stausees Ferden vermag im Klösterli maximal 30 000 m³ Geschiebe zu transportieren (VAW, 1995). Werden 22 m³/s durch das Triebwassersystem umgeleitet, so wird das Transportvermögen auf 16 000 m³ reduziert. In der folgenden Steilstrecke können weitere 3000 m³ mobilisiert werden (Geoplan et al., 2000).

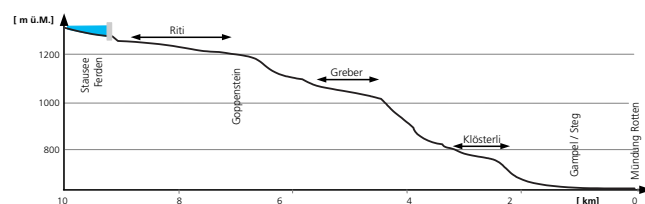


Fig. 2: Längenprofil der Lonza zwischen Ferden und dem Rotten (nach: VAW, 1995).

11.3.3 Schwachstellen

Wie häufig bei besiedelten Wildbachkegeln hat es auch bei der Lonza verschiedene Brücken im Bereich des Kegelhalses. Die Dorfbrücke und vor allem die Brücke zur Zentrale des Kraftwerks Lötschen liegen im Bereich der Gefällsabnahme von 8,5% auf 1,0%. Wie die Spülungen des Stausees Ferden regelmässig zeigen (Fig. 3), muss in diesem Gefällsknick mit Geschiebeablagerungen während Hochwasserereignissen gerech-

net werden. In der Regel werden bei den Spülungen rund 2500 m³ Geschiebe im Gefällsknick abgelagert. Die Ablagerungsprozesse wurden mit Hilfe eines numerischen Modells analysiert. Die Modelleichung basierte auf den Beobachtungen der jährlichen Spülungen des Speichers Ferden. Simulationen* mit verschiedenen Szenarien zeigten, dass bei den beiden kritischen Übergängen mit Auflandungen bis zum Brückenträger zu rechnen ist und die Querschnitte vollständig verklauen respektive auflanden. Allerdings werden die höchsten Sohlenlagen erst nach dem Durchgang der Abflussspitze erreicht. Die eigentliche Schwachstelle der Lonza ist also der Bereich mit dem Gefällsknick und den beiden Brücken, denn sogar ohne Geschiebeablagerungen ist die Abflusskapazität im Bereich der Dorfbrücke ungenügend. Ohne Freibord liegt sie bei 85 m³/s und sinkt mit einem Freibord von 1 m auf nur 35 m³/s. Mit Ausnahme der Brückenbereiche liegt die bordvolle Abflusskapazität im Kegelbereich ohne Geschiebeablagerungen zwischen 100 und 130 m³/s.

Rotten ein HQ₁₀₀ abfließt. Im Galdi und im Grosse Grabe findet dabei ein Rückstau aus dem Rotten statt. In der Gefahrenkarte (Fig. 4) sind die Lonza, das Galdi und der Grosse Graben berücksichtigt, nicht aber ein Ausufern des Rotten.

Für die Erarbeitung der Gefahrenkarte wurde ein numerisches, 2dimensionales Modell erstellt, welches auf dem Programm TriPad basiert. Die Qualität des Modells und insbesondere der Geländedaten konnte anhand der bekannten Überflutungsflächen vom September 1993, als das Galdi wegen einem hohen Rottenstand über die Ufer trat, überprüft werden. Auf Anhieb konnte eine gute Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung erzielt werden.

Basierend auf der Gefahrenkarte und den Erfahrungswerten des Ereignisses vom September 1993 in Brig wurde das Schadenpotential der Gemeinden Gampel und Steg ermittelt. Die Schätzung des Schadens im Landwirtschaftsland erfolgte mittels eines Mischwerts der Angaben für Ertragsausfälle (Bauernverband, 1999). Objekte mit grossem Schadenpotential sind die

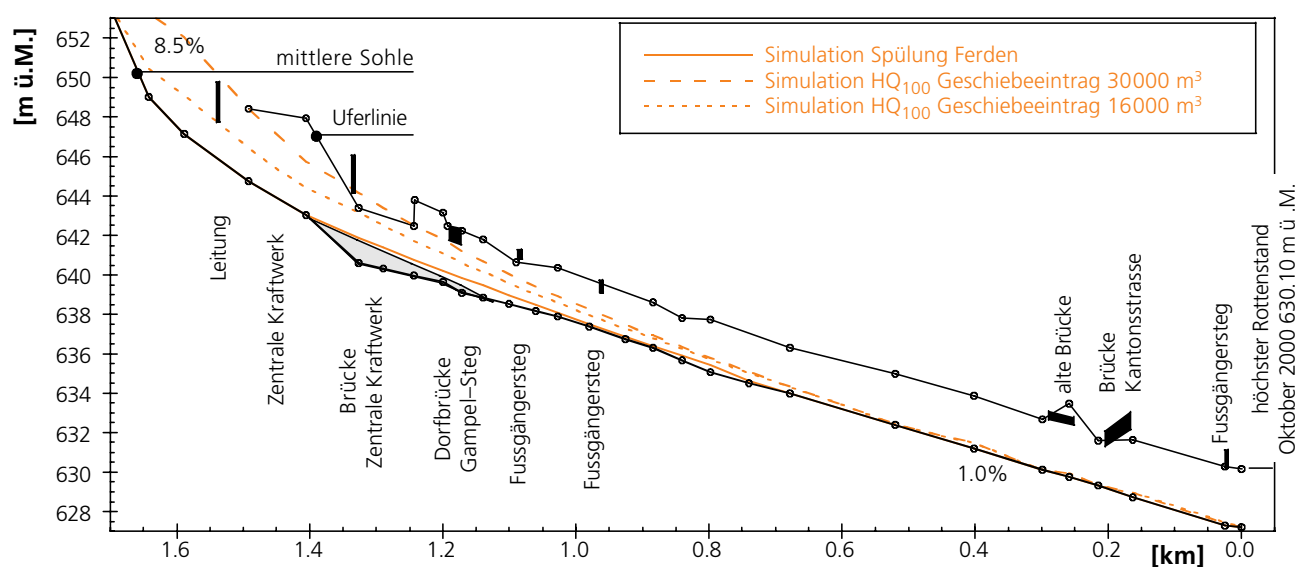


Fig. 3: Längenprofil der Lonza im Bereich der Dörfer Gampel und Steg (aus: VAW, 1995).

11.3.4 Gefahrenkarte und Schadenpotential

Die Gefahr von Wasser- und Geschiebeausbrüchen der Lonza wird vor allem durch grosse Geschiebeablagerungen im Bachbett innerhalb des Dorfbereiches verursacht. Die Gefahrenkarte basiert deshalb im Wesentlichen auf dem Szenario einer totalen Verklauung des Gerinneabschnittes zwischen den beiden kritischen Brücken. Eine solche Gefahrensituation kann bereits bei einem 100-jährlichen Ereignis eintreten. Im Weiteren wurde davon ausgegangen, dass gleichzeitig im

Zentrale des KW Lötschen, die Alusuisse in Steg sowie Gewerbe- und Dienstleistungsbetriebe. Der Schaden an Gebäude und Infrastruktur inklusive Aufräumkosten wird für ein 100-jährliches Ereignis auf 120 Mio. Fr. geschätzt. In diesen Zahlen sind die indirekten Schäden wie z. B. Produktionsausfall in der Alusuisse nicht enthalten.

* Die Simulationen wurden an der VAW mit dem Programm MORMO durchgeführt. Im numerischen Modell wurde das seitliche Ausfließen, was die Sedimentation zusätzlich begünstigen würde, und Sortierprozesse bedingt durch die Ablagerungen nicht berücksichtigt.

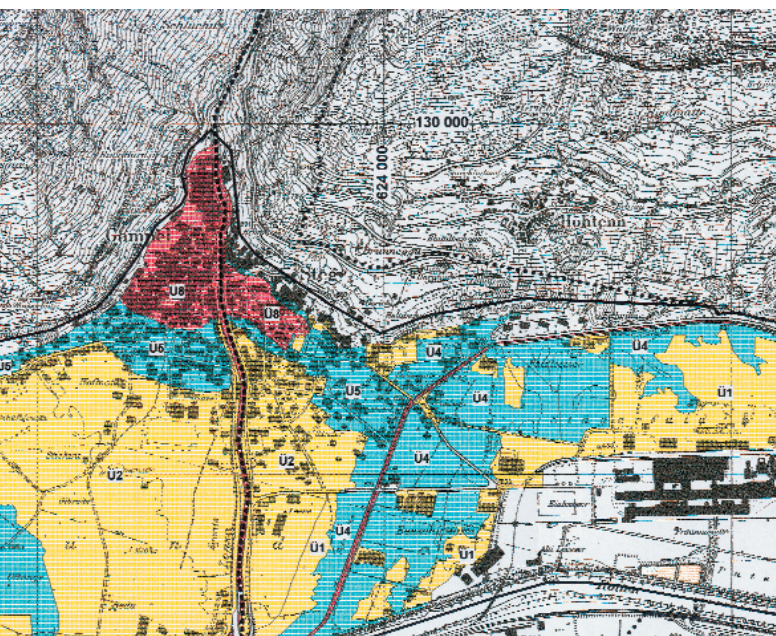


Fig. 4: Gefahrenkarte der Dörfer Gampel-Steg ohne Ausuferungen des Rotten.

11.3.5 Massnahmenplanung

Bei der Erarbeitung des Hochwasserschutzkonzeptes wurden die verschiedensten Varianten untersucht. Zur vertieften Weiterbearbeitung wurde ein Geschieberückhaltebecken in Kombination mit Massnahmen zur Erhöhung der Abflusskapazität im Siedlungsgebiet vorgeschlagen. Als Massnahme wird eine parallele Absenkung des Bachbettes zwischen dem Gefällsknick und dem Rotten favorisiert. Dazu muss der Absturz an der Mündung in den Rotten reduziert oder aufgehoben werden.

11.4 Sofortmassnahmen

Weil die Gefährdung des Siedlungsgebietes als gross beurteilt wurde und der Zeitpunkt für die Realisierung der vorgeschlagenen Massnahmen ungewiss war, wurden 1999 die im Rahmen des Hochwasserschutzkonzeptes vorgeschlagenen baulichen und planerischen Sofortmassnahmen im Winter 1999–2000 realisiert respektive umgesetzt (Geoplan und PRONAT, 1998).

Um ein Ausbrechen der Lonza bei der Dorfbrücke zu verhindern, wurde diese Brücke überflutbar gemacht. Dazu mussten die Brückengeländer umgebaut werden, so dass sie mit geringen Aufwendungen demontiert werden können. In vorbereitete Halterungen in der Strasse kann ein System von Stahlträgern und Damm-

balken aus Holz eingesetzt werden, was ein seitliches Ausfliessen der Lonza verhindert (Foto 2). Zwischen den beiden kritischen Brücken wurden Lücken in den Ufermauern geschlossen. Sie können bei Bedarf mit Stahlträgern und Dammbalken erhöht werden. Die beiden Fussgängerstege unterhalb der Dorfbrücke (Foto 1) wurden so umgebaut, dass sie mit einem Bagger angehoben respektive entfernt werden können. Die Kosten der Massnahmen betrugen Fr. 0.5 Mio. Damit bei Hochwasser die Brücke rechtzeitig überflutbar gemacht und die Ufermauern erhöht werden können, musste ein Alarmdispositiv erarbeitet werden. In das Alarmdispositiv sind die Führungsstäbe der beiden Gemeinden, ein gemeindeübergreifender Krisenstab und die Lonza Energie AG eingebunden. Bei einer Überlaufmenge von 20 m³/s und gleichzeitiger Turbinierung von 22 m³/s wird Hochwasseralarm ausgelöst.



Fotos 2: Mobile Elemente aus Stahlträgern und Dammbalken.

11.5 Ereignis Oktober 2000

11.5.1 Wetterlage und Niederschlag

Das Hochwasser vom 15./16. Oktober 2000 wurde durch eine Wetterlage verursacht, welche mit jener vom September 1993 vergleichbar ist. Die vom 9. bis zum 17. Oktober andauernde Südostlage führte zu langanhaltenden und ergiebigen Niederschlägen auf der Alpensüdseite und im Simplongebiet, welche im Laufe der Zeit auch auf die Gebiete nördlich des Rottens übergriffen (Grebner et al., 2000). Die Nullgrad-Grenze lag bis zum 16. Oktober oberhalb von 2500 m ü. M.

Im Einzugsgebiet der Lonza wurden an der Messstation Ried bei Blatten in der Nacht vom 14. auf den 15. Oktober 105 mm Niederschlag gemessen, was deutlich über dem bisherigen Höchstwert von 70 mm liegt.

11.5.2 Ereignisablauf

Der Niederschlag in der Nacht vom 14. auf den 15. Oktober verursachte das Hochwasser in der Lonza. Mitentscheidend waren vermutlich auch die Niederschläge der vorausgegangenen Tage. Die Aufzeichnungen beim Stausee Ferden dokumentieren den Ablauf des Ereignisses (Fig. 5). Der Hochwasseralarm an der Lonza wurde am 15. Oktober um 05.10 Uhr ausgelöst. Um 05.30 Uhr wurde begonnen, die Brücke überflutbar zu machen und die Ufermauern mit den mobilen Elementen zu erhöhen. Nach 50 Minuten waren die Arbeiten abgeschlossen.

Der maximale Zufluss von 90,5 m³/s ins Staubecken Ferden wurde um 8.00 Uhr beobachtet. Zu diesem Zeitpunkt flossen 62,5 m³/s über die Hochwasserentlastung und 21,3 m³/s durch die Turbinen. Der Stausee dämpfte das Hochwasser also um 7 m³/s. Die Abflusszunahme zwischen der Staumauer und Gampel-Steg wird auf 8 m³/s geschätzt. Der maximale Abfluss von 92 m³/s dürfte das Siedlungsgebiet zwischen 8.30 Uhr und 9.00 Uhr erreicht haben. Die Dorfbrücke wurde erst ab etwa 11.30 Uhr überströmt (Foto 3). Zu diesem Zeitpunkt lag der Abfluss immer noch über 80 m³/s. Aufgrund der Abflusskapazität für Reinwasser dürften substantielle Ablagerungen erst kurz vor dem Überströmen der Brücke eingesetzt haben. Wegen den Geschiebeablagerungen wurde das Wasser im Unterwasserkanal der Zentrale zurückgestaut und die Turbinen mussten um 13.00 Uhr abgestellt werden. Bei der Brücke zur Zentrale wurden zusätzlich Bagger eingesetzt, um einer Verklauung entgegenzuwirken. Ab diesem Zeitpunkt fehlte der zusätzliche, geschiebefreie Abfluss von 22 m³/s, was die Ablagerung entscheidend

begünstigte. Die Dorfbrücke wurde bis um Mitternacht überströmt. Die Abflusstiefe auf der Brücke betrug im Maximum 1 m. Unterhalb der Dorfbrücke wurde ein bordvolles Gerinne beobachtet.

Nach dem Ereignis wurden zwischen dem Gefällsknick und dem Rotten 24 000 m³ Geschiebe ausgebaggert. Die durchschnittliche Ablagerungsmächtigkeit betrug mehr als 1,5 m. Erstaunlicherweise landete das Flussbett parallel auf und nicht wie in den Simulationen, als die Ablagerungen in der Lonza oberhalb der Mündung in Rotten vernachlässigbar waren. Diese Unterschiede zwischen Simulation und Beobachtung hängen vermutlich in der Wechselwirkung zwischen Rottenstand (Maximum 630,10 m ü. M. beim Ereignis) und Lonzaabfluss zusammen.

Während des Hochwassers standen die Gemeindeführungsstäbe von Steg und Gampel, der Krisenstab, die Feuerwehren Steg und Gampel, die Stützpunktfeuerwehr Gampel, der Zivilschutz, der Samariterverein sowie örtliche Bauunternehmungen und die Armee mit diversen Baumaschinen während insgesamt 248 Stunden im Einsatz.

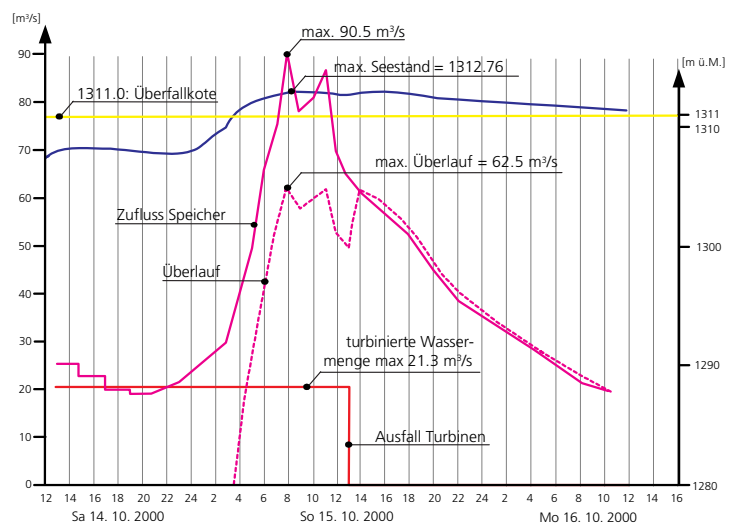
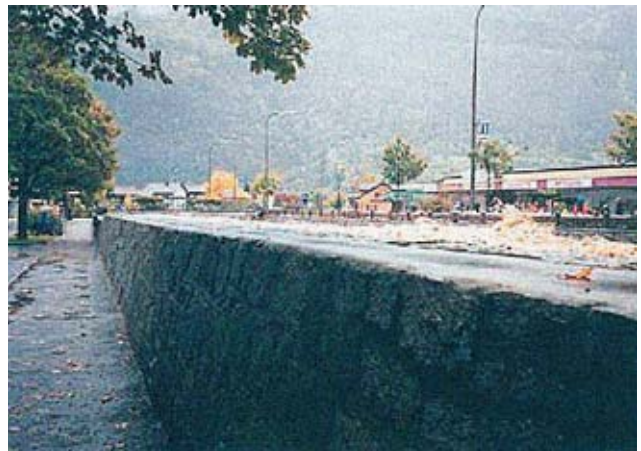
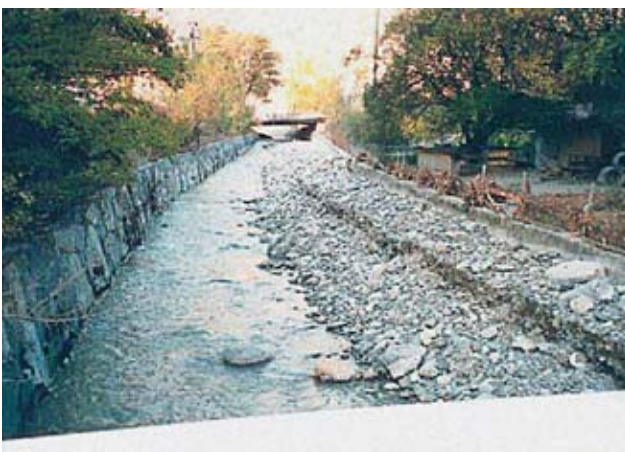


Fig. 5: Zu- und Abflussverhältnisse im Staubecken Ferden während dem Hochwasser vom 14.–16. Oktober 2000.



Fotos 3: Lonza im Bereich des Gefällsknickes mit der Dorfbrücke (oben links). Hochwasser vom 15. Oktober 2000: Brücke Kraftwerk Löttschen flussabwärts bis Dorfbrücke mit erhöhten Ufermauern und den Sofortmassnahmen (oben rechts), überflutete Dorfbrücke mit Dammbalken (unten links), und bordvoller Abfluss unterhalb der Dorfbrücke (unten rechts).



Fotos 4: Spuren von Geschiebeablagerungen in der Lonza kurz vor der Mündung in den Rotten (links) und im Gefällsknick (rechts).

11.5.3 Einordnung des Ereignisses

Die Sofortmassnahmen wurden auf eine Abflussspitze von $120 \text{ m}^3/\text{s}$ und auf einen Geschiebeeintrag von $16\,000 \text{ m}^3$ ausgelegt, was dem HQ₁₀₀ mit durchgehender Turbinierung entspricht. Bei der Festlegung der Konstruktionshöhe der Dammbalken bei der Dorfbrücke wurde angenommen, dass zum Zeitpunkt der Abflussspitze das Flussbett um 1 m aufgelandet ist und die maximale Durchflusshöhe im Brückenbereich noch 1.25 m beträgt. Die Abflussspitze des Ereignisses vom 15. Oktober lag mit $92 \text{ m}^3/\text{s}$ deutlich unter dem Dimensionierungsabfluss. Bezüglich Abflussspitze dürfte es sich am 15. Oktober um ein 70–80-jährliches Ereignis gehandelt haben. Der Geschiebeeintrag war aber deutlich über der Bemessungsgrösse. Allein die Geschiebeablagerungen in der Lonza betrugen $24\,000 \text{ m}^3$. Zusätzlich dürften gemäss einer groben Abschätzung $6\,000$ bis maximal $10\,000 \text{ m}^3$ in den Rotten eingetragen worden sein.

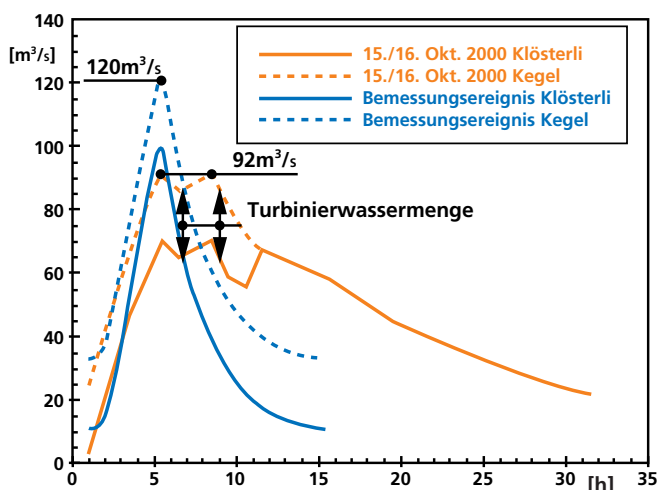


Fig. 6: Vergleich der Abflussmenge und Dauer Bemessungsereignis und Ereignis 15./16. Oktober 2000.

11.6 Folgerungen aus dem Hochwasser und Ausblick

Am 15. Oktober 2000 hatten die Dörfer Gampel und Steg zweimal Glück. Einmal weil die Sofortmassnahmen bereits im Winter 1999–2000 realisiert wurden respektive das Hochwasser nicht ein Jahr früher auftrat, und einmal, weil das Ereignis bezüglich Abflussspitze und Geschiebemobilisierung nicht noch grössere Ausmasse annahm. Ohne Sofortmassnahmen hätte sich in den Dörfern Gampel und Steg das Ereignis Brig 1993 wiederholt. Die Sofortmassnahmen haben ihren Zweck erfüllt. Allerdings brauchte es zusätzlich die

Unterstützung von Baumaschinen im Bereich der Brücken zum Baggern von Geschiebe.

Beim Einsatz von mobilen Schutzmassnahmen ist ein gut organisiertes Alarmdispositiv zwingend. Das Dispositiv und die Schutzmassnahmen müssen laufend überprüft und der Einsatz muss unter erschwerten Bedingungen (z. B. Nacht, Stromausfall) regelmässig geübt werden. Das Eingreifen von Einsatzkräften kann die Bevölkerung für Naturgefahren sensibilisieren, die Eigeninitiative und die -verantwortung fördern und die Akzeptanz für Investitionen in Projekte zur Gefahrenabwehr erhöhen. Das Beispiel Lonza zeigt, dass Hochwasserschutzmassnahmen nicht zwingend teuer sein müssen. Der Aufwand für die baulichen Massnahmen lagen im Prozentbereich des verhinderten Schadens. Damit Hochwasserschutzmassnahmen ihren Zweck erfüllen können, müssen aber zwingend die Prozesse im Einzugs- und Gefahrengbiet analysiert werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei das Erfassen respektive Beurteilen des Abfluss- und Geschieberegimes bei seltenen Ereignissen. Dazu sind detaillierte Untersuchungen erforderlich, welche mit einem entsprechenden Aufwand verbunden sind. Die Prüfung der Schutzmassnahmen unter Last zeigte einige Schwachstellen, welche verbessert werden können. So sind für die Drainageöffnungen in den Ufermauern und dem Dammbalkenabschluss auf der Brücke Abdichtungen zu prüfen. Der Einsatz des gemeindeübergreifenden Krisenstabes und der Gemeindefeuerwehren von Steg und Gampel kann noch weiter optimiert werden.

11.7 Literatur

- Geoplan, PRONAT, 1998: Hochwasserschutzkonzept Lonza – Sofortmassnahmen. Bericht, Juni 1998; (unveröffentlicht).
- Geoplan, PRONAT, Hunziker & Zarn, Geo7, 2000: Hochwasserschutzkonzept Lonza. Bericht Nr. VS 1527, Dezember 2000 (unveröffentlicht).
- Grebner, D. Aschwanden, H.; Steinegger, U. Zimmermann, M., 2000: Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis. In: Wasser, Energie, Luft, 92. Jg., Heft 11/12, 369–377.
- Schweizerischer Bauernverband, 1999: Wegleitung für die Schätzung von Kulturschäden 1999.
- VAW, 1995: Lonza Gampel-Steg, Studie über die Hochwassergefährdung durch die Lonza in Gampel und Steg. Bericht Nr. 4094, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

12 Rhône à Chippis

Xavier Mittaz

12.1 Introduction

Le vendredi 13 octobre 2000, les eaux du Rhône ont débuté leur montée qui s’est poursuivi de manière quasi continue jusqu’au dimanche 15 octobre en milieu de journée. Les débits mesurés à Sion sont passés ainsi en l’espace de 54 heures de 60 à 910 m³/s (Fig. 1). Ce débit de pointe correspond au 95% du débit de la crue centennale $Q_{100,min} = 955 \text{ m}^3/\text{s}$ admis comme la valeur maximale observée sans tenir compte de l’effet des aménagements hydroélectriques et définie comme valeur minimale de dimensionnement dans le cadre du projet général de la 3^{ème} correction du Rhône (Canton du Valais, 1999)

A titre comparatif, l’approche statistique qui considère la valeur supérieure de l’intervalle de confiance à 80% de la loi de Gumbel (toujours sans l’influence des aménagements hydroélectriques) (Bérod, Consuegra, 1995) ou l’approche déterministe qui tient compte des incertitudes liées à la définition des scénarios de pluie et à l’estimation des paramètres du modèle hydrologique (Bérod et al., 1997) donnent chacune un débit de crue centennial à Sion de $Q_{100,cible} = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit obtenu par modélisation hydrologique représente l’objectif souhaité au niveau du dimensionnement dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône (voir aussi Tab. 1 pour les autres débits de dimensionnement). A titre comparatif, le débit de pointe mesuré dans le Rhône à Sion le 25 août 1987 a atteint 810 m³/s et le 24 septembre 1993 830 m³/s.

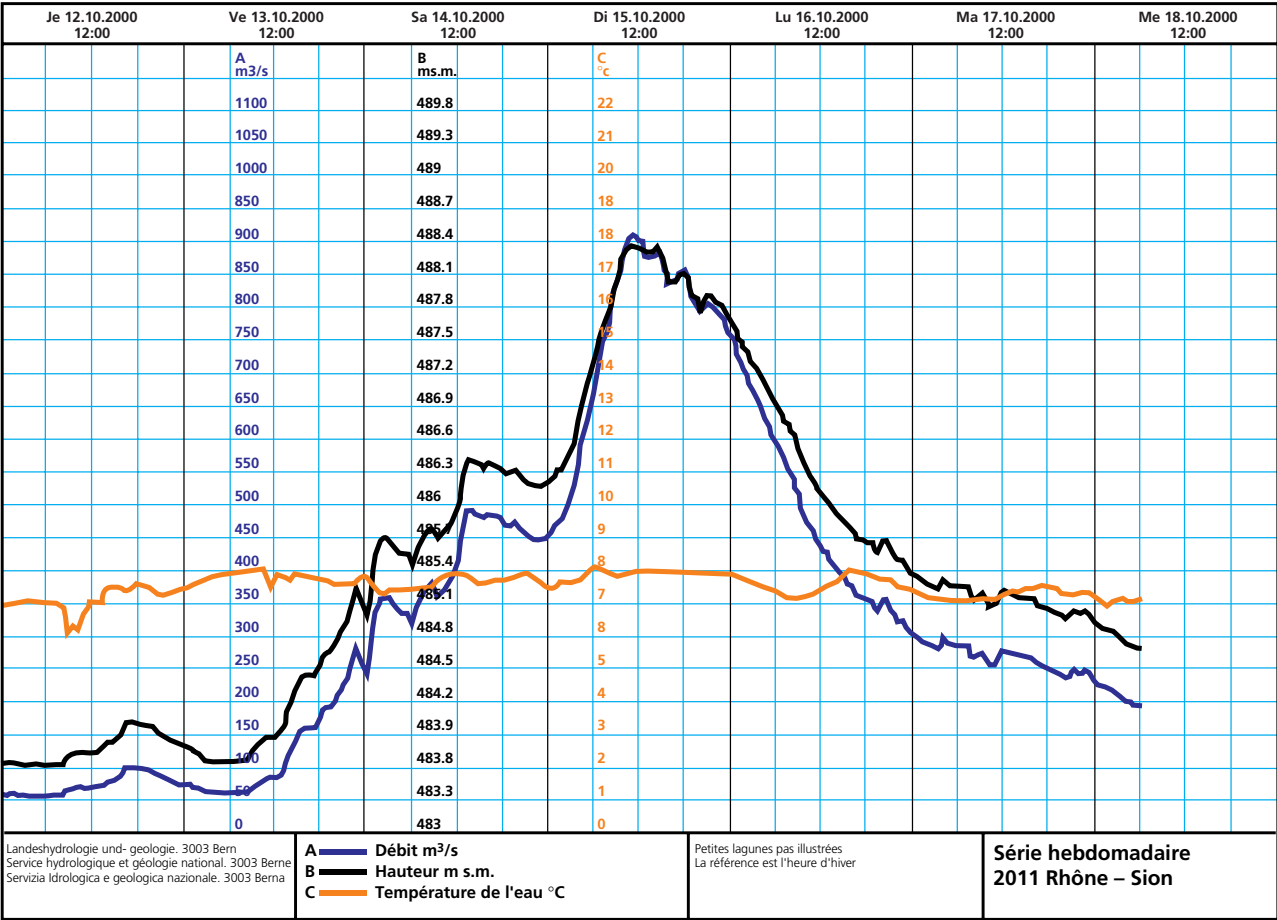


Fig. 1: Relevé du limnigraph de Sion du 12.10.2000 au 18.10.2000 (source: OFEG).

A Chippis, le débit de pointe atteint lors de la crue du 15 octobre 2000 peut être estimé à environ 840–870 m³/s contre 815 m³/s le 24 septembre 1993 (Canton du Valais, 1999²).

	Q ₂	Q ₅	Q ₂₀	Q ₅₀	Q _{100, min}	Q _{100, cible}	Q _{ext}
	(m³/s)						
Sion	560	645	770	850	955	1200	1580
Chippis					885	1120	1520

Tab. 1: Débits de projet admis à Sion et à Chippis dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône (Canton du Valais, 1999¹).

12.2 Situation générale

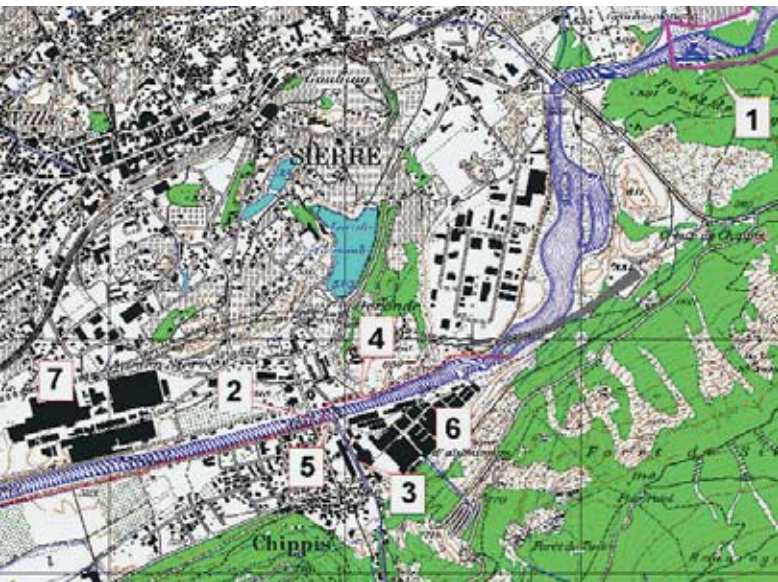


Fig. 2: Situation générale du Rhône à Chippis.

- 1: Périmètre de la zone alluviale d'importance nationale de Finges
- 2: Pont de Chippis
- 3: Navisence
- 4: Gazoduc SWISSGAS
- 5: Pont métallique Alcan Aluminium Valais SA
- 6 et 7: Sites industriels Alcan Aluminium Valais SA

Chippis se situe en rive gauche du Rhône à la sortie de la zone alluviale d'importance nationale de Finges. L'endiguement linéaire de la rivière, interrompu sur une grande partie de Finges, reprend à Chippis et se poursuit jusqu'au lac Léman. La pente de la rivière est de l'ordre de 3‰ au pont de Chippis (Fig. 3).

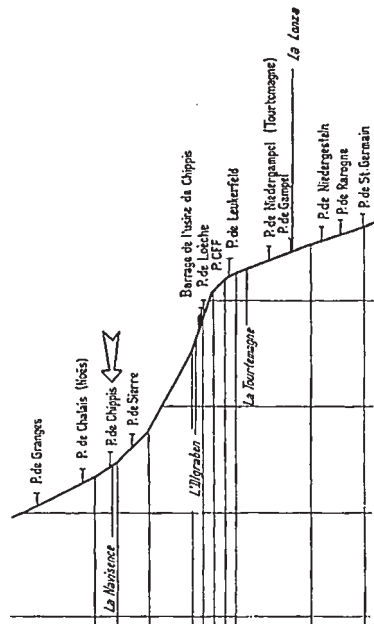


Fig. 3: Profil en long du Rhône (tiré de: Service fédéral des routes et des digues, 1964).

Ce secteur est marqué par une forte concentration industrielle. En rive gauche à l'amont du pont de Chippis se trouvent la fonderie du groupe Alcan Aluminium Valais SA ainsi que deux centrales électriques, celle du Rhône et celle de la Gogra. A l'aval du pont, en rive droite, sont bâtis les laminoirs et les presses de l'usine d'aluminium de Sierre. Les deux sites industriels sont reliés par un pont métallique enjambant le Rhône 100 mètres à l'amont du pont de Chippis. Ils représentent à eux seuls des dégâts potentiels de l'ordre de 850 millions à 1 milliard de francs suisses (Canton du Valais, 1999³).

A Chippis, les rives du Rhône sont protégées par un mur en pierre. Le gazoduc de SWISSGAS SA longe la rive droite et traverse de biais le Rhône en siphon entre l'embouchure de la Navisence et le pont de Chippis.

Ce siphon est protégé contre l'érosion du lit du Rhône par un seuil en enrochement d'une hauteur d'environ un mètre. Ce seuil a été endommagé par la crue du 15.10.2000 et a, pour des raisons de sécurité, dû être provisoirement reconstruit (Le Nouvelliste, 16.02.2001).

12.3 Phénomènes observés et analyses

12.3.1 Le Rhône

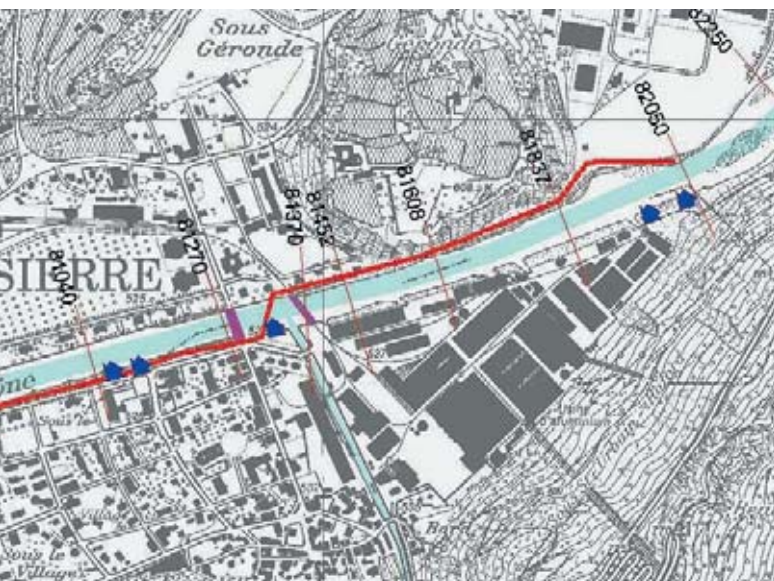


Fig. 4: Vue générale des débordements du Rhône dans le secteur de Chippis lors de la crue du 15.10.2000.

- ◆ Lieux de débordements
- Gazoduc Swissgas
- Ponts

Le Rhône a débordé à plusieurs endroits en rive gauche dans le secteur de Chippis (Fig. 4). Des mesures d'urgence ont dû être mises en œuvre pour éviter une catastrophe. La zone de la fonderie a été touchée par un débordement à l'amont (km 82050), mais de manière limitée, grâce à la mise en place d'un batardeau de protection et de sacs de sable. Le parking de l'usine a été inondé par un débordement entre les deux ponts qui ont dû être fermés au trafic. Un léger débordement a été stoppé à l'aval (km 81040) par la mise en place d'un andin de tout-venant sur la digue. Ce point bas des digues est visible sur le profil en long (Fig. 6).

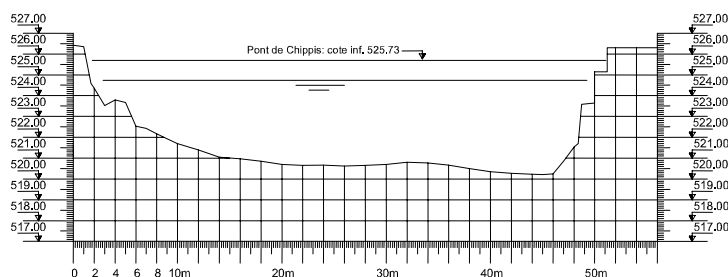


Fig. 5: Section du Rhône au pont de Chippis.

La capacité hydraulique du Rhône au pont de Chippis est insuffisante. Lors des précédentes crues de 1987 et 1993, l'eau avait déjà atteint la membrure inférieure de l'ouvrage. Ce phénomène s'est à nouveau produit lors de la crue du 15.10.2000. Une simulation hydraulique a été effectuée dans ce secteur afin de déterminer l'influence du seuil de protection du siphon SWISS-GAS sur la ligne d'eau (Fig. 6). La section de calcul au droit du pont est illustrée en Fig. 5. Ces calculs laissent apparaître un ressaut hydraulique noyé juste à l'amont du pont. Ce ressaut est dû à la présence du seuil. Il en résulte des remous dont les vagues ont pu être observées lors de la crue (Photo 1). Les mêmes calculs effectués en simulant la suppression du seuil montrent que le ressaut disparaît.



Photo 1: Photo des remous au pont de Chippis lors de la crue du 15.10.2000 (Source: Alcan).

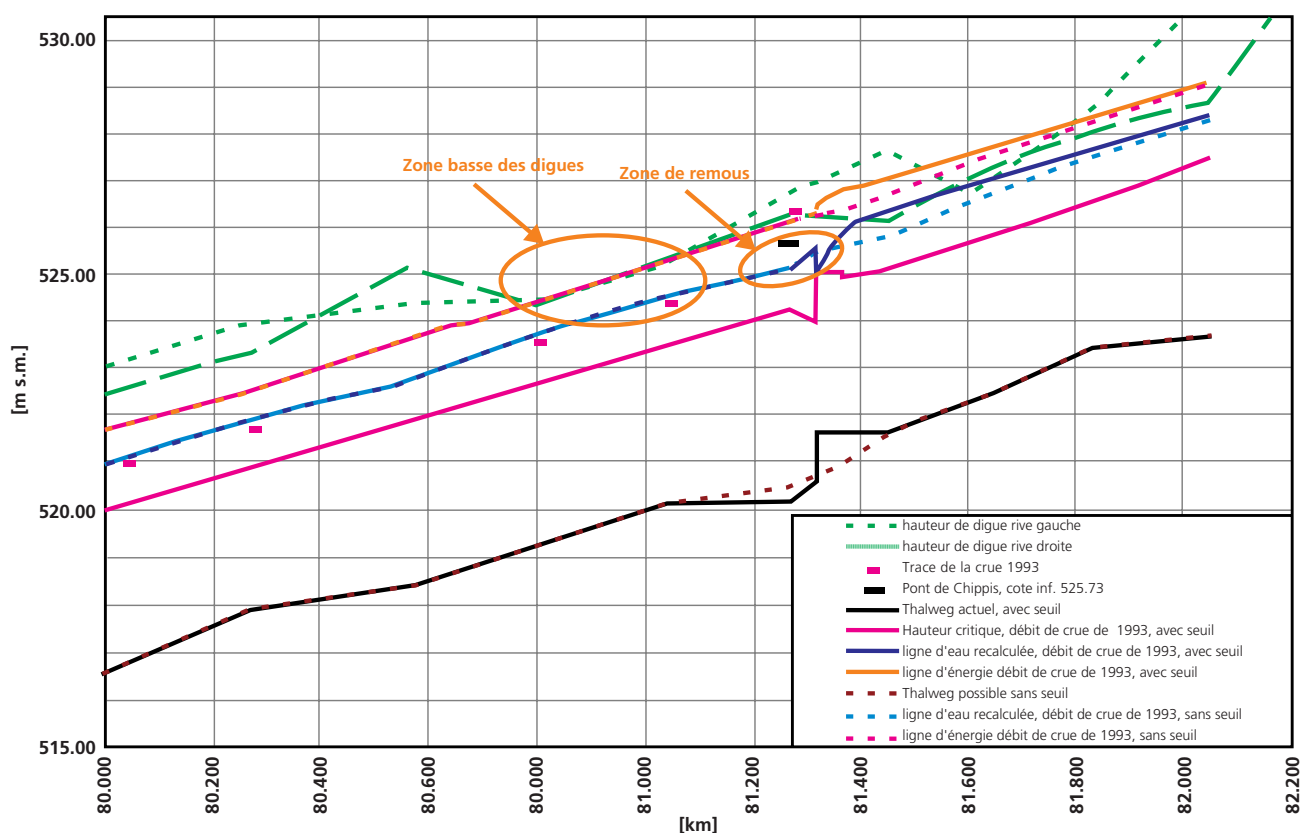


Fig. 6: Simulation hydraulique au droit du pont de Chippis (débit de la crue de 1993)/profil en long.

A l'amont, au pont métallique industriel d'Alcan Aluminium Valais SA, la capacité hydraulique est aussi insuffisante. L'eau a atteint la membrure inférieure de l'ouvrage (Photo 2). Ce pont est prévu pour être muni d'un dispositif de levage en cas de hautes eaux du Rhône. Ce système nécessite toutefois la mise en place de vérins, la déviation provisoires des canalisations ainsi que le sciage des rails pour que le pont puisse être levé. Il n'a donc pas pu être activé à temps.



Photo 2: Photo au pont Alcan lors de la crue du 15.10.2000 (source: Alcan).

Passablement de bois flottants ont été transportés par le Rhône durant la crue. Certains troncs de gros diamètres ont frappé violemment les membrures inférieures des deux ponts. Une machine à grappin a dû être amenée sur place pour permettre le passage de certains arbres sous les ponts et éviter un embâcle.

12.3.2 La Navisence

La Navisence a aussi posé des problèmes lors de la crue. Cette rivière a, à son embouchure, une tendance au dépôt. Une étude est en cours pour trouver une solution. Durant la crue, le pont reliant le parking à l'usine Alcan a été touché par les eaux (Photo 3). Un phénomène de refoulement a pu être observé et l'eau a partiellement débordé sur le parking. Après la crue, les dépôts dans le lit de la Navisence ont dû être évacués. La hauteur des dépôts (Photo 4) montre que le danger d'embâcle était élevé durant la crue.



Photo 3: Photo du pont reliant le parking à l'usine Alcan durant la crue (source: Alcan).



Photo 4: Photo sous le pont reliant le parking à l'usine Alcan après la crue (source: Alcan).

12.4 3^{ème} correction du Rhône

Des mesures de corrections sont prévues à Chippis dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône. Il a été envisagé dans un premier temps, de renforcer les murs qui sont en mauvais état et d'abaisser le lit du Rhône dans le secteur de Chippis. Cette solution présentant plusieurs désavantages au niveau environnemental et de l'entretien, il est aussi envisagé actuellement de rehausser les murs, de caréner les ponts de Chippis, d'installer éventuellement des dispositifs de levage et de mettre en place un système de gestion efficace des risques résiduels. Le siphon du gazoduc SWISSGAS SA sera en outre approfondi afin d'éliminer le seuil en enrochement qui le protège. Cette mesure permettra d'éliminer les remous et les vagues atteignant la membrure inférieure du pont de Chippis. La correction de l'embouchure de la Navisence sera intégrée à ces mesures.

12.5 Références

- Bérod, D., Consuegra, D., IATE/EPFL, 1995: Étude CONSECRU. Traitements statistiques des séries de débits, bassins versants de la Lonza, de la Viège à Saas Balen et à Viège, du Rhône à Reckingen, Brigue, Sion et Branson. Lausanne.
- Bérod, D., Consuegra, D., Niggli, M., IATE/EPFL, 1997: Étude CONSECRU. Bases hydrologiques de dimensionnement, modélisation des crues du Rhône en Valais (provisoire). Lausanne.
- Canton du Valais, 1999¹: 3^{ème} correction du Rhône. Projet général, données de base. Hydrologie.
- Canton du Valais, 1999²: 3^{ème} correction du Rhône. Projet général, données de base. Hydraulique fluviale.
- Canton du Valais, 1999³: 3^{ème} correction du Rhône. Projet général, données de base. Objectifs de protection/carte des dangers/dégâts potentiels.
- Le Nouvelliste, 16.02.2001
- Service fédéral des routes et des digues, 1964: La correction du Rhône en amont du lac Léman.

13 Rhône-Bieudron

Philippe Bianco, François Genolet

13.1 Introduction

Le dimanche 15 octobre 2000 vers 13h00, les hautes eaux du Rhône provoquent à Bieudron une rupture de la digue en rive droite sur une largeur d'environ 100 m. En s'écoulant par la brèche, les eaux du fleuve inondent la plaine du Rhône entre la Lizerne et le pont CFF de Riddes.

Fortement chargé par les eaux de plaine inondée à l'amont, le canal Sion-Riddes atteint les limites de sa capacité et sa digue en rive droite cède le matin du 16 octobre à la hauteur de Leytron. Les eaux inondent la partie inférieure de la commune et se répandent ensuite sur la commune de Saillon par l'intermédiaire d'un passage inférieur sous la Salentze.

De manière générale, le danger de rupture de digue a clairement été mis en évidence dans le cadre des études de la 3^{ème} Correction du Rhône, suite notamment aux instabilités observées lors des crues de 1987 et 1993. La dernière brèche observée sur la digue du Rhône remonte toutefois à 1948 en rive gauche à la hauteur de Fully.

13.2 Situation générale

La brèche est localisée sur la rive droite entre Sion et Martigny, environ 2 km à l'amont de Riddes (km Rhône 54,400). Dans ce secteur, le Rhône doit franchir un passage obligé limité par les cônes de déjection de la Losentze (Chamoson) et de la Fare (Riddes). La plaine en rive droite est drainée à l'amont par le canal Sion-Riddes qui passe sous la Losentze et qui se jette dans le Rhône à l'embouchure de la Salentze. Plus à l'aval, la plaine est drainée par le canal Saillon-Fully qui franchit la Salentze par un passage inférieur (voir Fig. 2).

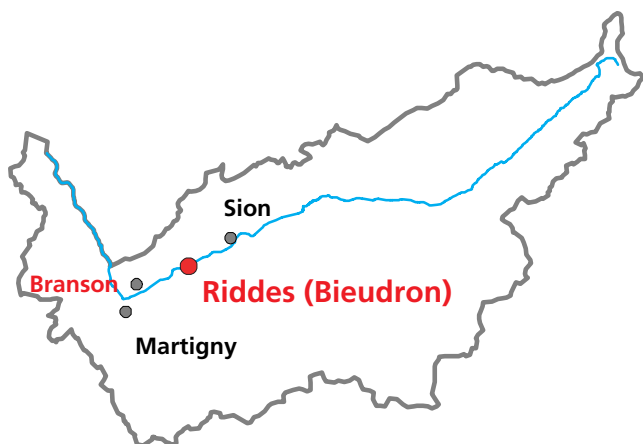


Fig. 1: Situation générale

La rupture de digue est localisée sur la commune de Chamoson à l'aval de la station de couplage (EOS) faisant partie du complexe de la Grande Dixence et de Cleuson-Dixence. La restitution de l'usine hydroélectrique de Nendaz (Grande Dixence) se trouve en rive gauche dans le même secteur que la rupture de digue. A noter que la production hydroélectrique a été interrompue au plus fort de la crue pour ne pas augmenter le débit du Rhône. Sur le secteur de la rupture, la digue en rive droite se situe dans un point bas par rapport au profil amont et aval. La hauteur de la digue par rapport à la plaine est de l'ordre de 4 m. Les études de base de la 3^{ème} Correction du Rhône attribuent à ce secteur un danger élevé de rupture de digue et une capacité inférieure à l'objectif minimal fixé, soit 1060 m³/s. La capacité hydraulique à cet endroit en tenant compte d'une revanche de 50 cm a été déterminée à environ 960 m³/s. Cet ordre de grandeur de débit a dû être atteint à Riddes le 15 octobre, puisque le débit mesuré à Branson est de 980 m³/s.

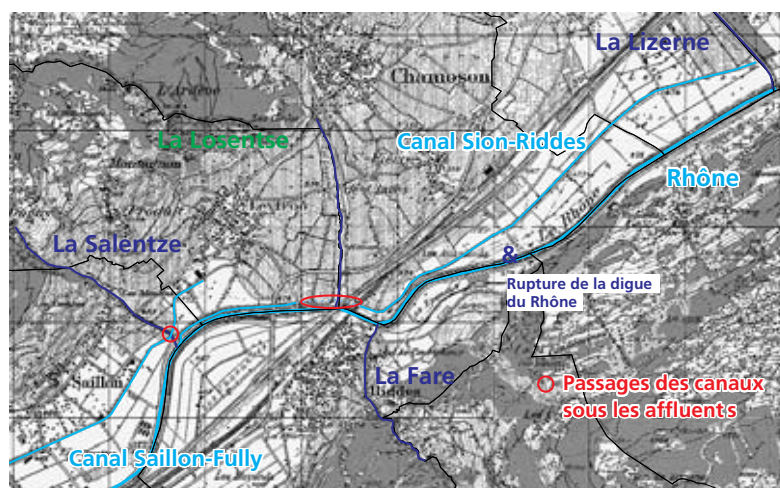


Fig. 2: Situation, 1:50 000

13.3 Déroulement de l'événement

Au milieu de la journée du dimanche 15 octobre 2001, le niveau du Rhône atteint ce qui sera son maximum pour cet événement: 910 m³/s sont mesurés à Sion et 980 m³/s à Branson. Au niveau de la station de couplage de Chamoson, le niveau atteint le sommet de la digue en rive droite. Une équipe de pompiers et de la protection civile sont déjà sur place car la digue montre des signes d'instabilité et les eaux approchent dangereusement le niveau inférieur des passerelles faisant partie du complexe Grande Dixence qui franchissent le Rhône à cet endroit.



Fig. 3: Rupture de la digue 1:10 000



Saturé par les eaux qui atteignent le couronnement de la digue, le talus extérieur s'effondre sur environ 5 m à l'aval de la route d'accès à la station de couplage. Affaiblie par ce processus qui se déroule sans que les eaux ne passent par-dessus la digue, la digue est progressivement érodée jusqu'à l'ouverture d'une brèche sur quelques mètres. Environ 30 minutes s'écoulent entre l'effondrement du talus extérieur et l'ouverture de la brèche.

Une fois la brèche ouverte, elle va rapidement s'élargir vers l'aval sur une centaine de mètres, l'amont étant consolidé par la route d'accès à la station de couplage. La brèche atteint rapidement le niveau du lit majeur, soit une profondeur d'environ 2,5 m. Le gazoduc situé sur le lit majeur au pied du talus de la digue est mis à jour et fortement sollicité par les remous du fleuve.



13h15: Erosion de la couronne de digue



13h00: Le talus extérieur s'effondre



13h30: Ouverture de la brèche

Photo 1-4: Ouverture de la brèche

Par l'intermédiaire de la brèche, les eaux du Rhône inondent la plaine en rive droite (Fig. 4). Comme le niveau des eaux au droit de la rupture de digue se situe à environ 3 m au-dessus du niveau de la plaine (472 m s. m.), l'inondation se propage vers l'amont par effet de remous jusque vers la cote 475 m s. m. soit environ 200 m à l'aval de la Lizerne.

A l'aval de la brèche, les eaux suivent deux chemins préférentiels:

- Une grande partie des eaux rejoint le Rhône au droit du pont CFF de Riddes.
- Le canal Sion-Riddes contribue également à l'évacuation des eaux de la plaine. A ciel ouvert jusque vers les voies CFF, il passe ensuite en souterrain sous la Losentse pour ne retrouver l'air libre qu'à l'aval de la route Leytron-Riddes près du pont sur le Rhône.

La zone d'inondation limitée par le cône de Chamoson et la Lizerne s'étend sur environ 240 ha. Peu importants à l'amont, les dépôts de limons atteignent plusieurs dizaines de centimètres dans la partie aval de la zone d'inondation.



Photo 5: Retour au Rhône à l'amont du pont CFF



Photo 6: Exutoire de la partie souterraine du canal Sion-Riddes à l'aval du pont Leytron-Riddes

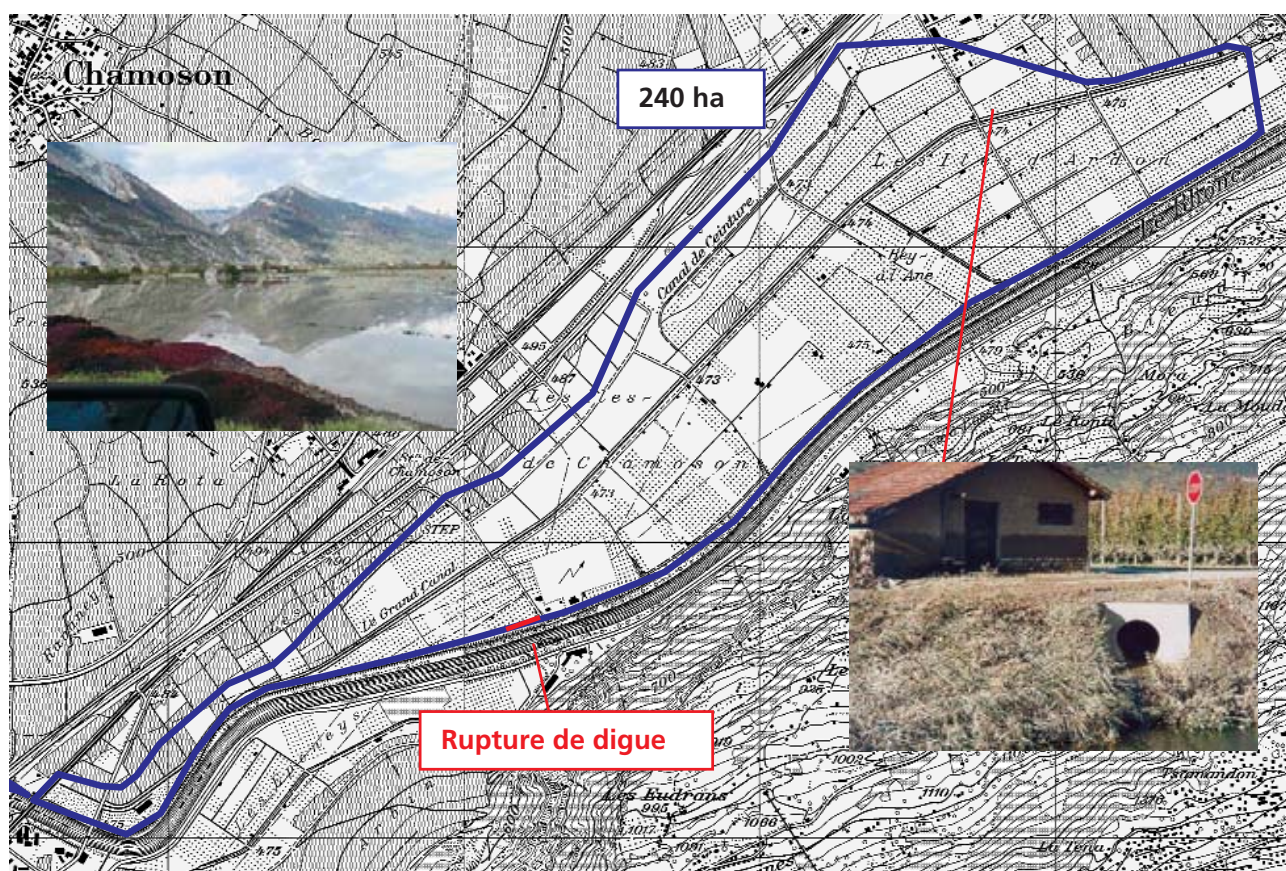


Fig. 4: Inondation des communes de Chamoson et d'Ardon 1: 25 000

Une fois le gazoduc dépressurisé, les travaux visant le colmatage de la brèche débutent rapidement dans l'après-midi du dimanche 15 octobre. Les premières heures de travail sont laborieuses, les pelles mécaniques déposent du matériel dans une eau chargée qui empêche toute vision de la réelle progression du colmatage. Ce n'est qu'en début de soirée que le débit à travers la brèche peut enfin être maîtrisé. Les travaux se poursuivront les jours suivants pour rétablir une digue en bon état.



Photo 7: Colmatage de la brèche du Rhône

Fortement sollicité pour l'évacuation des eaux de la plaine inondée à l'amont, le canal Sion-Riddes atteint les limites de sa capacité. Le lundi matin 16 octobre, la digue du canal cède en rive droite sur environ 50 m sous le pont de la route cantonale. Une partie des eaux du canal se déverse ainsi dans la plaine et inonde environ 40 ha au sud du village de Leytron au lieu-dit Portions des Iles (Fig. 5).



Photo 9: Colmatage de la brèche du canal Sion-Riddes



Photo 8: Digue du Rhône reconstruite

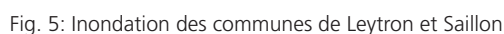


Photo 10: Digue reconstruite

Le passage sous la Losentze étant équipé d'un batardeau, une tentative a été faite afin de le fermer pour bloquer les eaux à l'amont de la Salentze, mais sans succès, l'importante quantité de matériaux transportés bloquant le mécanisme.

De manière générale, les observations effectués lors de la crue d'octobre 2000 confirment les résultats obtenus dans le cadre des études de la 3^{ème} correction du Rhône: prévision hydrologique, calculs de capacité hydraulique, géotechnique des digues, enveloppe d'inondation potentielle.

La Fig. 6 illustre les hydrogrammes mesurés aux stations de Sion et Branson. La pointe de la crue a atteint à Branson environ 980 m³/s. Les débits enregistrés dépassent ceux observés en 1987 et 1993 pour lesquels des signes d'instabilités de digue avaient déjà été observés.



La différence de débit entre Sion et Branson est relativement faible, en particulier lors de la montée de la crue. Ceci s'explique par le nombre restreint d'affluents entre les deux stations, la situation météo et l'arrêt de la production hydroélectrique au plus fort de la crue.

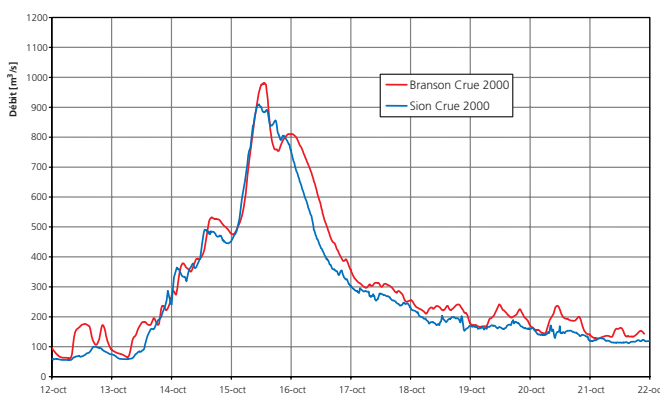


Fig. 6: Hydrogrammes du Rhône

	1987	1993	2000	HQ _{100 min} ¹
Rhône à Sion	810	830	900	955
Rhône à Branson	820	930	980	1060

¹ Débit centennal minimal pris en compte pour la 3^{ème} correction du Rhône

Les débits observés restent en deçà du débit minimal de dimensionnement pour les zones à bâtir (HQ_{100 min}) évalué lors des études de la 3^{ème} correction du Rhône. Le débit du Rhône à la hauteur de la rupture de digue peut être estimé de l'ordre de grandeur de celui mesuré à Branson, soit plus de 950 m³/s. Rappelons que la capacité maximale estimée à cet endroit par les études sur le Rhône est de 960 m³/s en tenant compte d'une revanche de 50 cm.

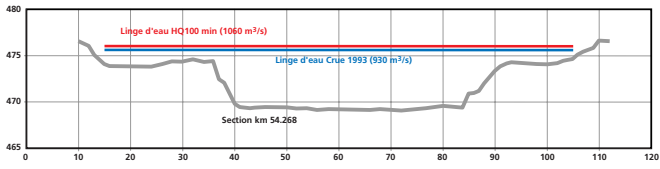


Fig. 7: Profil en travers du Rhône environ 100 m à l'aval de la rupture de digue

La Fig. 8 montre les crues du Rhône à Branson pour 1987 et 1993 calées sur l'échelle temps de la crue 2000. Un des hydrogrammes pris en compte dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône est également représenté. Sa structure correspond bien aux crues

observées. La future protection minimale devrait permettre l'écoulement d'une crue équivalente à celle de 2000 sans dommages.

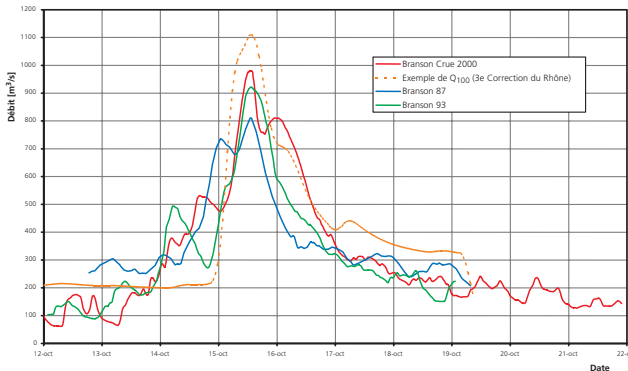


Fig. 8: Diverses crues à Branson

13.4.2 Rupture de digue

L'effet de la rupture de digue à Bieudron sur l'hydrogramme mesuré à Branson est bien visible sur la Fig. 9. A partir de 14h00, la brèche influence fortement le débit à Branson qui diminue rapidement. Le décalage entre l'ouverture de la brèche à Bieudron et l'effet sur le débit à Branson est de l'ordre de 30 min. Cet intervalle de temps correspond bien au temps nécessaire à l'onde de crue d'une célérité d'environ 8 m/s pour franchir les 15 km entre Bieudron et Branson. En traçant grossièrement l'hydrogramme qui aurait dû être mesuré à Branson sans la brèche entre 14h00 et 0h00 (Fig. 9), il est possible d'évaluer le volume de l'inondation à environ 3,5 millions de mètres cube et le débit de pointe par la brèche à environ 200 m³/s.

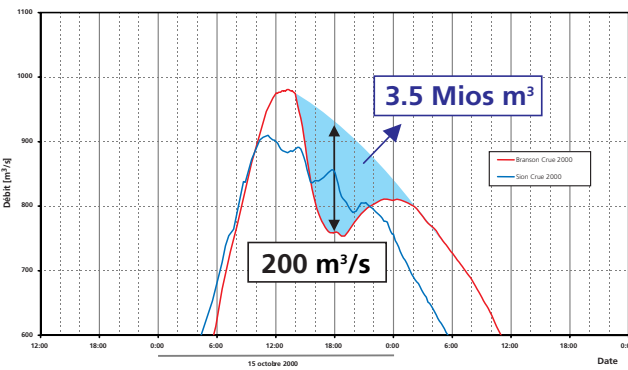


Fig. 9: Pointe de la crue d'octobre 2000

Le processus ayant provoqué l'ouverture de la brèche est directement lié à la géométrie et à la composition de la digue. Des observations et des sondages réalisés pour

les études de la 3^{ème} correction du Rhône permettent de caractériser la digue dans le secteur de la rupture:

- Le couronnement de la digue surplombe la plaine d'environ 4 m, d'où de fortes sollicitations à plein bord en terme de pressions interstitielles.
- La composition de la digue reflète sa construction en plusieurs étapes au fil des années et des corrections du Rhône. Le couronnement est constitué d'un remblai composé sur les premiers 1,5 m de gravier et de sable grossier, puis de sable fin et de limon sur 2,5 m. Suivent en alternance des alluvions grossiers et des dépôts d'inondation fins (sable fin et limon).

Lors de la crue, les eaux du Rhône sont demeurées durant plusieurs heures au niveau de la couche supérieure de la digue constituée de remblai grossier. La saturation en eau de cette couche et la pression due à la hauteur d'eau par rapport au pied de digue a provoqué progressivement le glissement du talus extérieur de la digue. Dès que l'eau a pu s'engouffrer dans la brèche naissante, l'ouverture s'est rapidement agrandie pour atteindre une longueur d'environ 100 m.

13.4.3 Inondation

La surface d'inondation présentée à la Fig. 10 correspond bien avec l'enveloppe d'inondation prise en

compte dans la carte indicative des dangers élaborée dans le cadre des données de base de la 3^{ème} correction du Rhône.

Les dépôts de limons ont été très importants dans la zone de la brèche. Les travaux de déblaiement de la station de couplage et le curage du canal Sion-Riddes ont été particulièrement laborieux. Dans la région de Saillon, l'évacuation des eaux du fond des garages ou des caves a fréquemment laissé une couche de limons de plusieurs centimètres.



Photo 11: Limons sur terrains agricoles à l'amont de la brèche

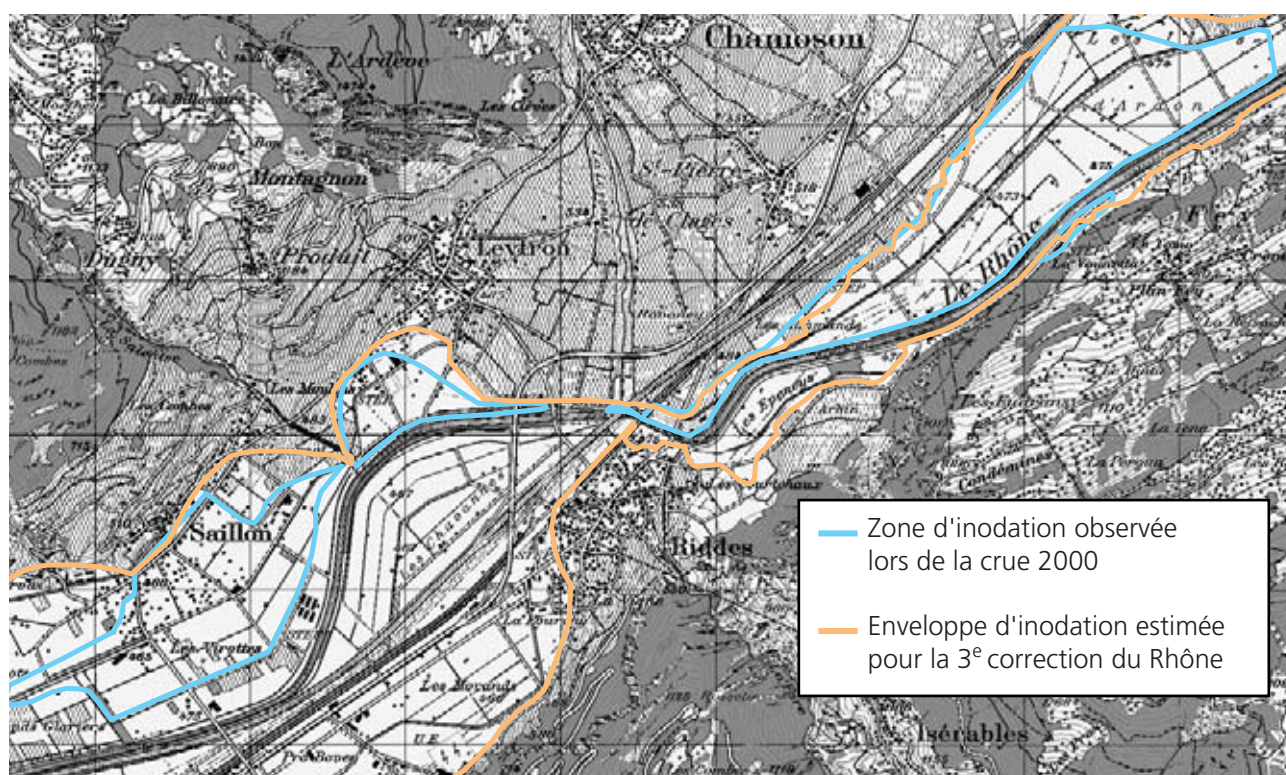


Fig. 10: Zones d'inondation 1:50 000



Photo 12: Limons à la station de couplage (EOS)

13.5 Estimation des dommages

Malgré son aspect spectaculaire, la rupture de la digue du Rhône à Bieudron n'a pas causé de pertes humaines. L'événement a par contre nécessité de lourds travaux pour évacuer les eaux et les limons répandus par l'inondation.

Dans la partie amont, sur les communes d'Ardon et de Chamoson, la zone inondée est essentiellement rurale. L'évacuation de l'épaisse couche de limons nécessitera des travaux sur une longue durée et donc onéreux. La réparation de la digue elle-même se chiffre à environ 500 000 CHF.

A l'aval, dans la plaine de Saillon, les dégâts sont plus importants puisque l'inondation a touché une zone résidentielle. Environ 150 personnes ont dû être évacuées. De nombreuses caves et habitations ont été inondées et envahies par une couche de limons. Les travaux de curage des canalisations et des canaux, de nettoyage et de déblaiement constituent les principaux coûts occasionnés par l'inondation.

Le tableau suivant résume par commune les dommages causés sur le domaine public par l'inondation due à la rupture de digue de Bieudron. Ces chiffres sont issus de l'inventaire des dégâts effectués pour le centre de management public du canton du Valais. Le tableau ne prend pas en considération les dommages aux biens privés qui seront en grande partie pris en compte par les assurances des sinistrés.

Rubrique	Saillon	Leytron	Chamoson	Ardon
Rhône/Digue			500 000	
Rhône/Entretien	168 000	60 000	160 000	85 000
Canal Sion-Riddes/Digue		40 000		
Canal Sion-Riddes/Entretien			100 000	
Canal Saillon-Fully/Entretien	693 000			
Agriculture		40 000	4 000 000	90 000
Nettoyage/Déblaiement	134 000	20 000	120 000	
PC/Pompiers	123 000	40 000	58 000	6 000
Total par commune	1 118 000	200 000	4 983 000	181 000
Total		6 437 000		(en CHF)

Tab. 1: Dommages causés sur le domaine public

14 Salanfe-Rhône (Evionnaz)

Philippe Bianco, François Genolet

14.1 Introduction

L'après-midi du dimanche 15 octobre 2000, le Rhône atteint dans la région d'Evionnaz sa cote maximale. Entre Collonges et Evionnaz, la capacité du fleuve n'est plus suffisante et les eaux débordent en grande partie en rive gauche et dans une moindre mesure en rive droite. Le remous des eaux du Rhône dans le canal provenant de la Salanfe, provoque également une inondation en rive gauche et à l'amont jusqu'à Vernayaz. La STEP d'Evionnaz, une partie des installations de l'usine Orgamol et l'attraction touristique du Labyrinthe Aventure sont sous l'eau et les limons. L'auto-route A9 en partie inondée doit être fermée.

14.2 Situation générale

Large d'environ 1 km, la plaine entre La Balmaz et Evionnaz est essentiellement agricole. Les centres des villages d'Evionnaz et de Collonges se situent sur des cônes de déjection hors de portée des eaux du Rhône. En rive gauche, la zone industrielle d'Evionnaz et le village de La Balmaz sont par contre situés à une altitude inférieure au couronnement des digues du Rhône. Environ 2 km à l'aval du secteur se trouve le barrage de Lavey qui permet de capter les eaux du Rhône pour les turbiner à la hauteur de St-Maurice. La zone inondée se situe entre le km 30,6 et le km 32,8 selon le repérage défini pour le Rhône.

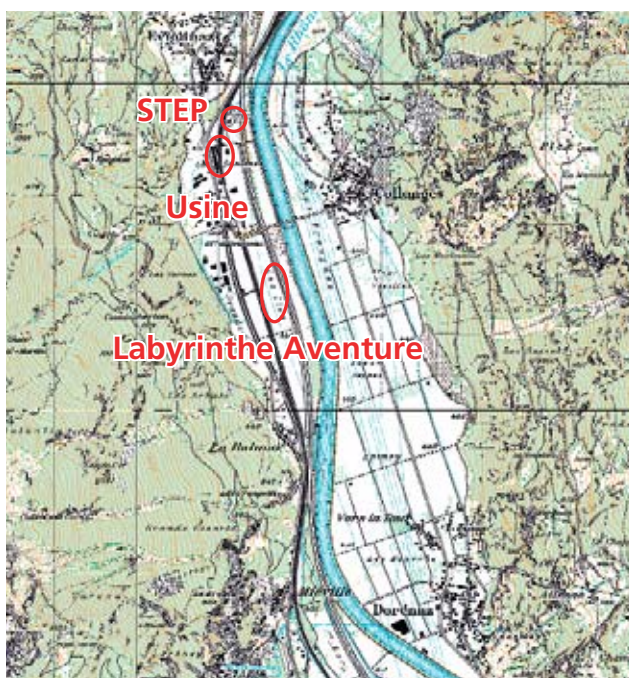


Fig. 2: Situation générale 1: 50 000



Fig. 1: Situation générale

14.3 Déroulement de l'événement

Les hautes eaux du Rhône dans le secteur des communes d'Evionnaz, de Collonges et de Vernayaz ont provoqué une inondation sur une surface d'environ 87 ha, dont 60% se situent sur la commune d'Evionnaz. La Fig. 3 présente l'enveloppe totale de l'inondation au plus fort de la crue.

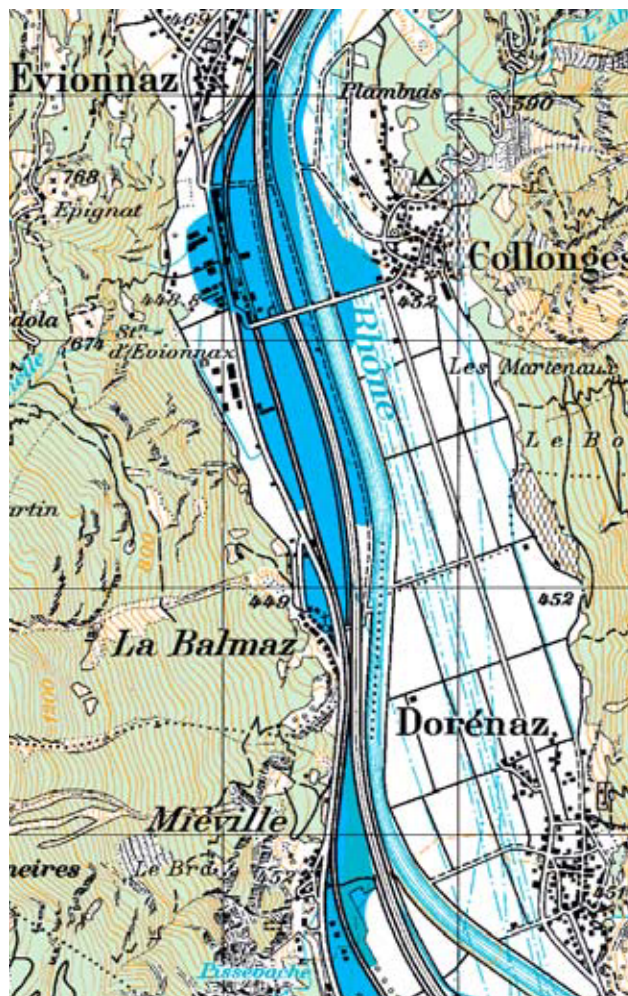


Fig. 3: Surface d'inondation 1:25 000

L'inondation de la plaine dans ce secteur, en particulier entre La Balmaz et Evionnaz, est due à deux phénomènes distincts:

- Débordement du canal de la Salanfe causé par le remous des eaux du Rhône.
- Débordement du Rhône par manque de capacité hydraulique.

14.3.1 Débordement du canal de la Salanfe

Dimanche matin vers 8h00, la Salanfe déborde au niveau d'un point bas dans la diuge en rive gauche à la hauteur de son embouchure dans le Rhône. Ce débordement

est dû au remous des eaux du Rhône dans le canal et non à un débit trop élevé de la Salanfe. L'eau suit le cheminement de la rampe d'accès au passage sous l'autoroute (1), franchit également le passage sous la route cantonale (2) et atteint rapidement le village de La Balmaz (voir Photo 1).

Dans l'impossibilité de contenir le déversement des eaux sur la rive gauche du canal, les pompiers mettent en place un barrage sous le pont de la route cantonale. Cette mesure n'évite pas l'inondation d'une partie du village de La Balmaz causée également par refoulement dans le réseau d'eau claire.

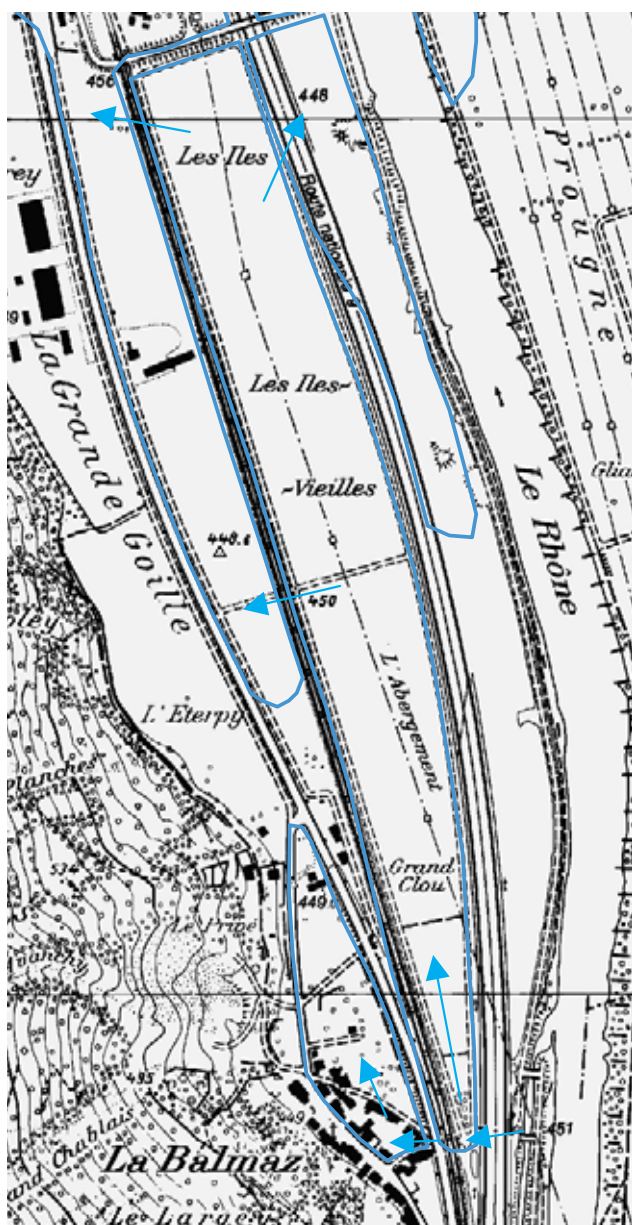


Fig. 4: Zone d'inondation La Balmaz 1:10 000



Photo 1: Canal de la Salanfe – Passage sous la A9

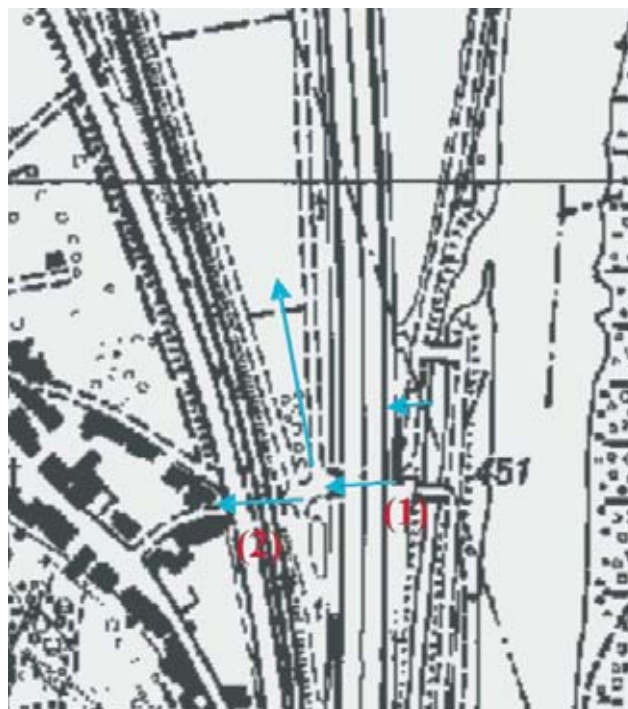


Fig. 5: Débordement du canal (détail)

Une fois le barrage mis en place, le niveau des eaux s'exhausse entre la route cantonale et l'autoroute. L'inondation gagne alors la plaine entre la voie CFF et l'autoroute. Les installations du Labyrinthe Aventure sont inondées et recouvertes de limons. L'autoroute A9 est inondée sur un tronçon d'environ 300 m à l'amont du pont de Collonges.



Photo 2: Inondation à l'aval du Labyrinthe Aventure



Photo 3: Autoroute A9

Le niveau du Rhône à l'embouchure de la Salanfe induit un niveau élevé dans le canal jusqu'à Vernayaz. Celui-ci n'a pas la capacité nécessaire à contenir un tel niveau et la Salanfe inonde la forêt de Miéville entre la route cantonale et l'autoroute. A ce moment, le niveau du Rhône ne cesse d'augmenter et l'inondation gagne de plus en plus de terrains vers l'amont. Elle atteint le quartier résidentiel au pied de la Pissevache et remonte même par l'intermédiaire du canal jusque vers l'usine hydroélectrique des CFF à Vernayaz (voir Fig. 3).

14.3.2 Débordement du Rhône

En fin de matinée le débit dans le Rhône continue à augmenter. Vers 11h00 le niveau des eaux à l'aval du pont de Collonges est tel qu'un débordement se produit en rive gauche et dans une moindre mesure en rive droite.

En rive gauche le débordement se produit sur une distance d'environ 100 m. Les eaux envahissent la zone agricole entre l'autoroute et le Rhône en y laissant une épaisse couche de limon (env. 60 cm). L'inondation se poursuit vers l'aval et emprunte le passage sous l'autoroute pour atteindre les installations de l'usine Orgamol et la STEP d'Evionnaz (voir Fig. 6).



Photo 4: Sommet de digue en rive gauche



Photo 5: Rive gauche à l'endroit du débordement

Un remblai est mis en place pour obstruer le passage sous les voies CFF. Celui-ci n'a pas l'efficacité escomptée car les eaux franchissent cet obstacle par refoulement dans les nombreuses conduites présentes dans le secteur inondant la zone industrielle à l'arrière des voies CFF.

En début d'après-midi, le niveau des eaux du Rhône continue à augmenter. L'inondation provenant de La Balmaz provoquée par le débordement de la Salanfe

franchit les voies CFF juste à l'amont du pont de Colonges et rejoint ainsi la surface d'inondation provoquée par le débordement du Rhône.

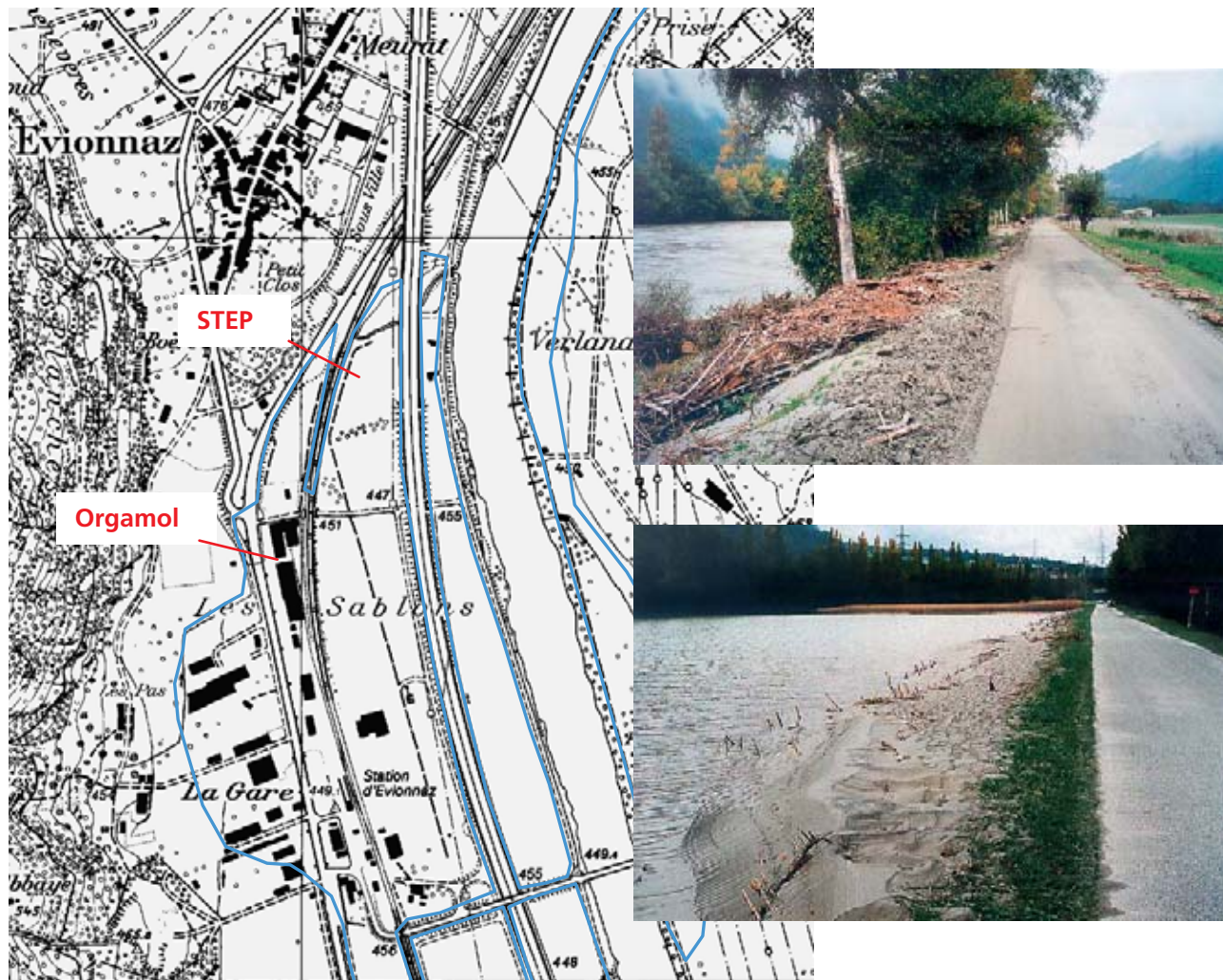


Fig. 6: Zone d'inondation Evionnaz 1:10 000



Photo 6: Passage sous l'autoroute d'Orgamol



Photo 7: Passage sous l'autoroute (Ouest A9)



Photo 8: Débordement rive droite à l' hauteur de la STEP



Photo 9: Pont de Collonges (rive droite)



Photo 10: Amont du pont de Collonges (rive droite)



Photo 11: Débordement à l'amont du pont de Collonges

En rive droite, le Rhône déborde principalement à l'aval du pont de Collonges inondant la surface agricole sur environ 10 ha. Au droit du pont, des matériaux obstruent la section entre la pile en rive droite et la digue. Un léger débordement provoque l'inondation d'un peu moins d'un hectare de surface agricole.

14.4 Analyse des observations et des données recueillies

La Fig. 7 présente les hydrogrammes de la crue du Rhône aux stations de Branson et de la Porte-du-Scex et celle de la Dranse à la Batiaz. La pointe de la crue a

atteint à Branson environ 980 m³/s et 1370 m³/s à la Porte-du-Scex.

Le débit du Rhône dans le secteur d'Evionnaz peut être estimé à partir de la station de Branson et des apports de l'affluent principal entre les deux endroits: la Dranse. La pointe de la crue de la Dranse a atteint un débit de l'ordre de 180 m³/s. En tenant compte des autres apports, le débit de pointe du Rhône à la hauteur d'Evionnaz peut être estimé à environ 1180 m³/s (980 + 200).

Compte tenu de la vitesse de propagation de l'onde de crue, la pointe de la crue dans le secteur d'Evionnaz n'est décalée que d'environ 10 minutes par rapport à celle observée à Branson.

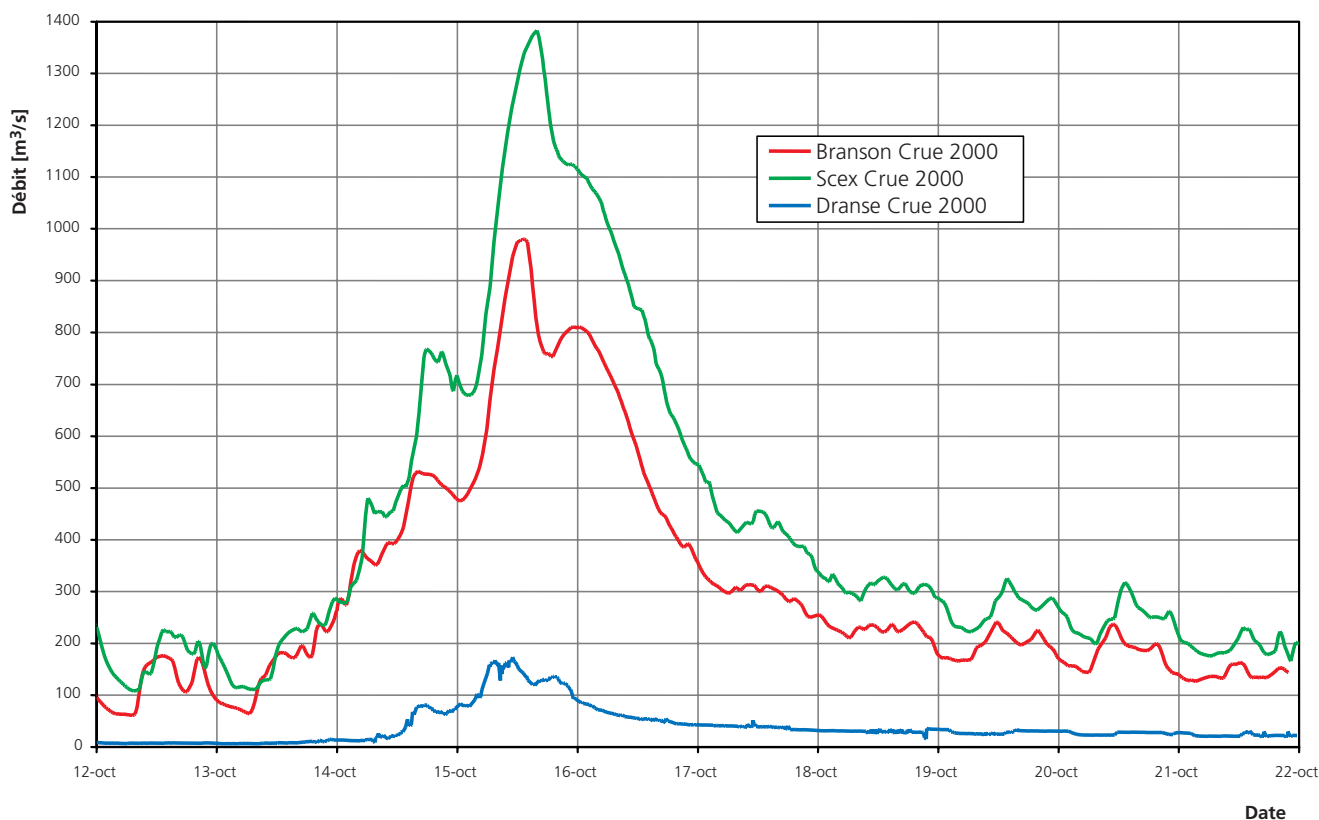


Fig. 7: Hydrogrammes mesurés

14.4.1 Débordement de la Salanfe

Le débordement de la Salanfe à son embouchure débute vers 8h00 dimanche matin. A ce moment le débit du Rhône à Branson est de l'ordre de 770 m³/s, celui de la Dranse de 150 m³/s. La Fig. 8 ci-dessous illustre la section du Rhône environ 250 m à l'aval de l'embouchure de la Salanfe, le niveau maximum enregistré à cette section est de 450,3 m s. m. A l'endroit de l'embouchure le niveau du Rhône a dû atteindre une altitude de l'ordre de 450,5 m s. m., ce qui explique le remous des eaux par le canal de la Salanfe jusque dans la région de Vernayaz. Selon ces considérations, on peut estimer le débit du Rhône critique occasionnant un débordement par le canal de la Salanfe à environ 950 m³/s.

Selon les observations lors de l'événement, le débordement a cessé le dimanche soir vers 21h00. A cet instant le débit du Rhône en décrue est de 800 m³/s à Branson, celui de la Dranse de 120 m³/s.

14.4.2 Débordement du Rhône

Le débordement du Rhône à l'aval du pont de Col-longes débute vers 11h00. Le débit du Rhône est alors de 950 m³/s à Branson, alors que la Dranse atteint son débit de pointe à 180 m³/s. A cet instant, on peut évaluer le débit du Rhône à Evionnaz à environ 1150 m³/s. Selon les témoignages recueillis, les premiers signes de décrue sont visibles dans la plaine inondée à partir de 16h30. Le Rhône aurait cessé de déborder vers 19h00.

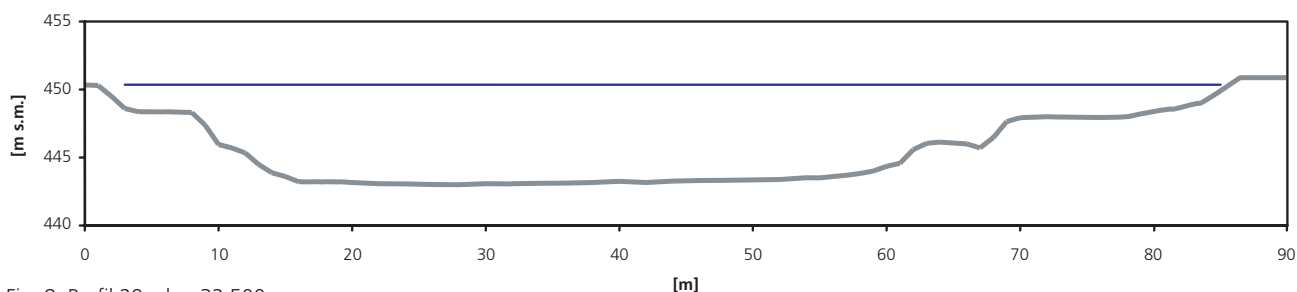


Fig. 8: Profil 29 – km 32,500

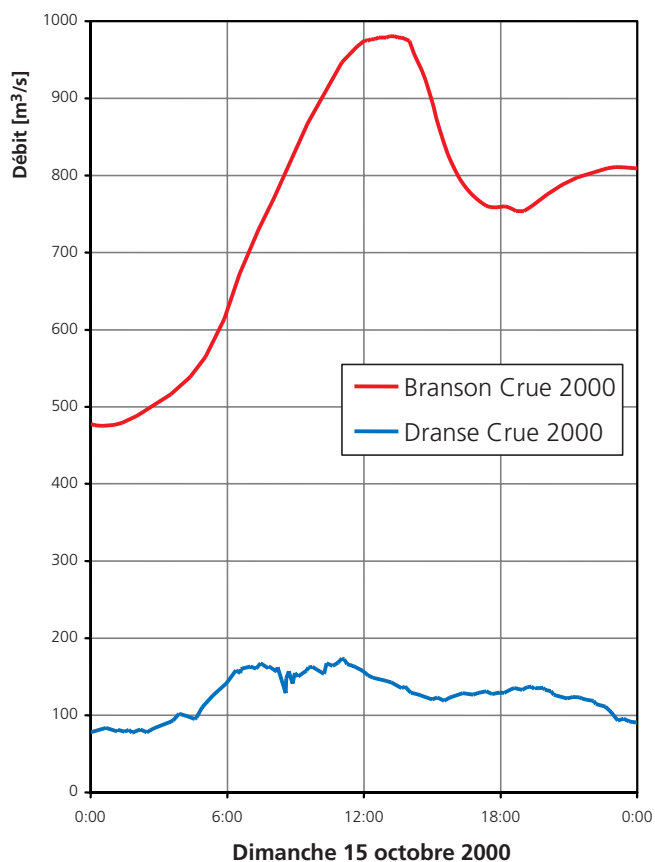


Fig. 9: Rhône à Branson et Dranse à la Bâtiaz

La Fig. 10 suivante illustre une section du Rhône à l'endroit du débordement à l'aval du pont de Collonges. Le niveau atteint par les eaux du Rhône est de l'ordre de 449 m s. m.

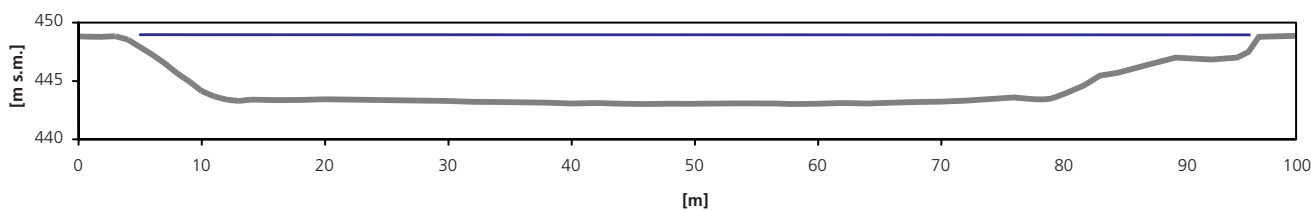


Fig. 10: Profil 34 – km 31,218

dération les dommages aux biens privés qui seront en grande partie pris en compte par les assurances des sinistrés.

Rubrique	Vernayaz	Evionnaz	Collonges
Surface inondée	23 ha	54 ha	10 ha
Rhône/Digue			30 000
Rhône/Entretien	100 000	104 000	30 000
Bâtiments publics			10 000
Agriculture		150 000	
Nettoyage/Déblaiement	55 000	110 000	165 000
PC/Pompiers	5 000	28 000	20 000
Total par commune	160 000	392 000	313 000
Total		865 000	(en CHF)

Tab. 1: Les dommages causés sur le domaine public

Parmi les dégâts privés les plus importants, il faut mentionner l'inondation des installations du Labyrinthe Aventure, des installations de l'usine Orgamol et de la STEP d'Evionnaz.

La fermeture de l'autoroute A9, sa remise en service et la mise en place de la déviation sur la route cantonale ont également induit des frais qui ne sont pas comptabilisés ici.

14.5 Estimation des dommages

Le tableau suivant résume par commune les dommages causés sur le domaine public par l'inondation due au remous des eaux du Rhône dans le canal de la Salanfe et au débordement du Rhône à l'aval du pont de Collonges. Ces chiffres sont issus de l'inventaire des dégâts effectué pour le centre de management public du canton du Valais. Le tableau ne prend pas en consi-

14.6 Sources d'information

- Visites locales sur le terrain du lundi 16 octobre 2000 par le bureau Rebord SA Ingénieurs et discussions avec le responsable du service technique de la commune d'Evionnaz.
- Description des inondations du 15 octobre 2000 dans la région d'Evionnaz. Rapport établi par Hydro-Cosmos SA, CH-1904 Vernayaz.

15 Dranse (Sembrancher)

Philippe Bianco, François Genolet

15.1 Introduction

Le dimanche 15 octobre 2000, un débit de 175 m³/s est mesuré sur la Dranse à la station de la Bâtiaz. A la hauteur du village de Sembrancher, la capacité hydraulique est insuffisante pour un tel débit. Les eaux de la Dranse envahissent la plaine à l'aval du village et dans une moindre mesure également à l'amont. Un camping et quelques bâtiments industriels subissent des dommages importants.

15.2 Situation générale

Situé à la confluence entre la Dranse de Bagnes et celle d'Entremont, le village de Sembrancher se situe à l'exutoire de près de 90% du bassin versant de la Dranse, soit environ 600 km².

De part et d'autre du village s'étendent des zones au relief relativement plat constituées d'anciennes terrasses alluviales. Ces zones correspondent à l'emplacement de deux campings ainsi que d'une partie de la zone industrielle. Le centre du village par sa position sur le cône de déjection de la Dranse d'Entremont est relativement bien protégé des crues de la rivière. Le tronçon de la Dranse à l'aval du village est traversé par 3 ponts: le pont de la voie ferrée Martigny-Orsières (MO), le pont des Parties près du camping et celui des Trappistes à l'extrémité aval de la plaine.

Environ 100 m à l'amont du pont des Trappistes, le profil en long de la Dranse est conditionné par un seuil. A l'amont de celui-ci les matériaux transportés par le cours d'eau sont exploités par une gravière.

15.3 Déroulement de l'événement

En fin de matinée du dimanche 15 octobre 2000, la Dranse déborde à l'aval du village de Sembrancher 100 m environ à l'amont du pont de la voie ferrée MO. Les eaux restent à proximité du cours d'eau et atteignent rapidement une menuiserie au lieu-dit Chapalletta. A partir de cet endroit, la surface inondée s'élargit et atteint le camping des Parties.



Photo 1: Débordement à l'amont du pont MO



Photo 2: Mesure de protection devant la menuiserie

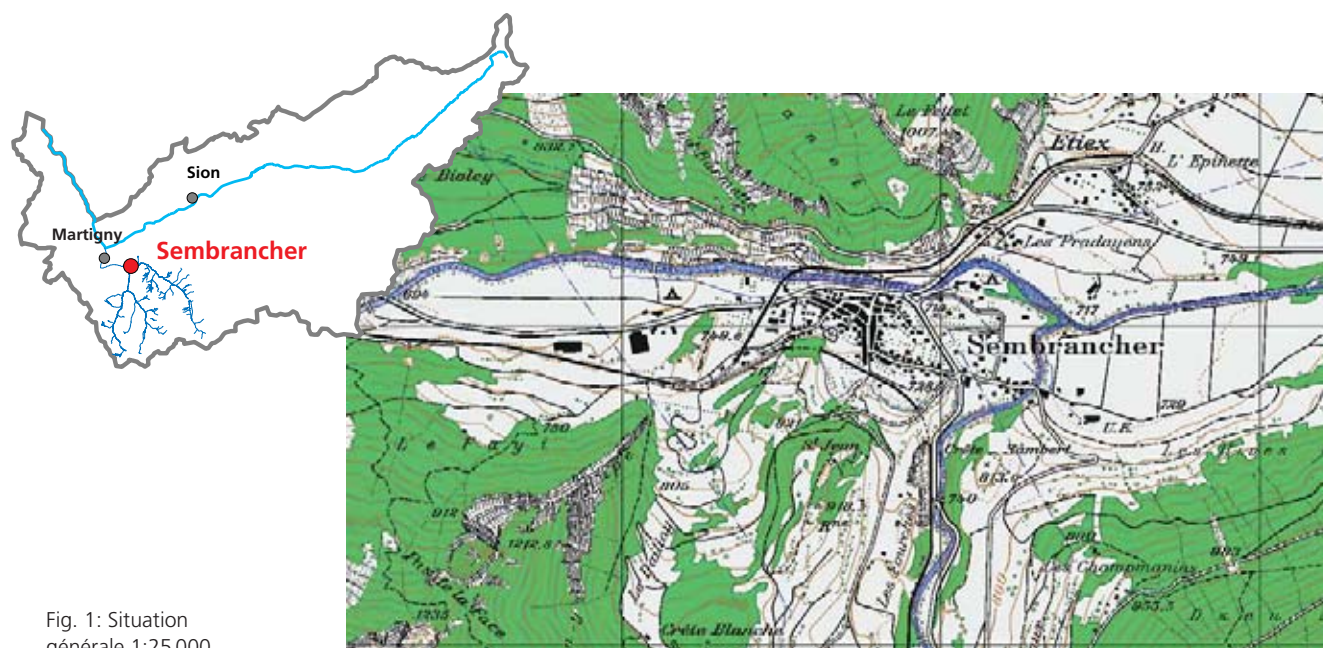


Fig. 1: Situation générale 1:25 000



Photo 3: Inondation entre la menuiserie et le camping



Photo 4: Inondation à l'amont du camping

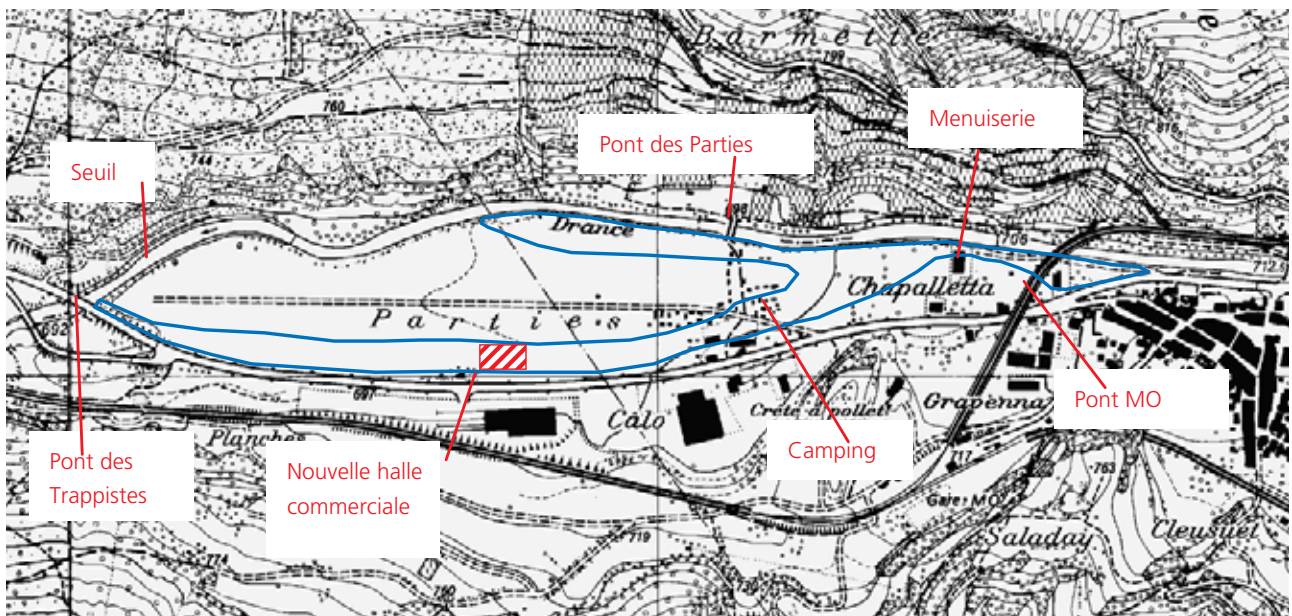


Fig. 2: Zone d'inondation 1:10 000

Les eaux suivent ensuite deux tracés:

- Une partie reste confinée sur une surface étroite en rive gauche et rejoint la Dranse environ 400 m plus à l'aval.
- L'autre partie des eaux poursuit son trajet sur la plaine en empruntant une dépression constituant une relique d'un ancien tracé du cours d'eau. La zone inondée est limitée au sud par la route cantonale. Les eaux rejoignent ensuite le cours de la Dranse à la hauteur du pont des Trappistes.

L'érosion des berges en rive gauche combinée avec l'inondation de la plaine déstabilise le pont des Parties qui est emporté. Le cheminement de l'inondation proche de la route cantonale cause d'importants dégâts dans la zone industrielle, en particulier sur une nouvelle halle commerciale qui est véritablement traversée par les eaux de la Dranse.



Photo 5: Inondation le long de la rive gauche



Photo 6: Aval de la halle commerciale



Photo 7: Amont de la halle commerciale



Photo 8: Zone entre la halle et le pont des Trappiste

15.4 Analyse des observations et des données recueillies

Le débit de pointe observé dans la Dranse le 15 octobre 2000 correspond à un temps de retour de l'ordre de 50 ans. La figure suivante (Fig. 3) illustre le débit de la Dranse mesuré à la Bâtiaz (Martigny).

Sur tout le tronçon entre Sembrancher et le pont des Trappistes, la morphologie du cours d'eau a été modifiée par des zones d'érosion latérales et des dépositions. A l'aval de la zone des Parties, le fond du lit s'est exhaussé d'environ 70 cm.

15.5 Estimation des dommages

Selon l'inventaire des dégâts effectué pour le centre de management public du canton du Valais, les dommages pour la zone aval de Sembrancher sont estimés à environ 1 million de francs. Ce montant comprend essentiellement les travaux de déblayement des zones inondées et de curage du cours d'eau. Les coûts de reconstruction du pont détruit sont également compris. Les dégâts causés aux installations privées, en particulier à la halle commerciale, atteignent un montant du même ordre.

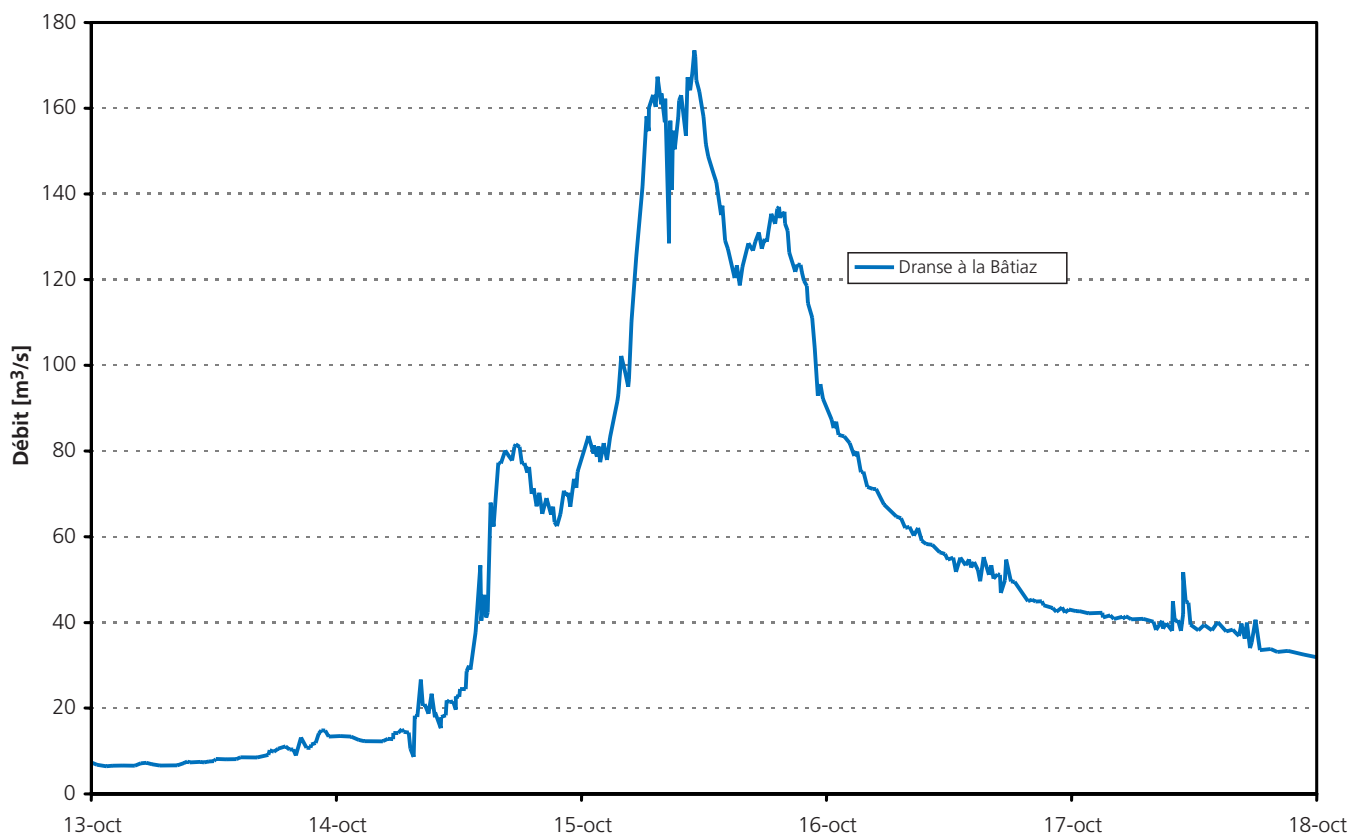


Fig. 3: L'événement du 15 octobre 2000



Photo 9: Déposition à l'aval du camping



Photo 10: Culée du pont des Parties

16 Le Bossay (Commune de Fully)

François-Xavier Marquis

16.1 Introduction

Le dimanche 15 octobre 2000, une succession de coulées de boue dévaste la châtaigneraie de Fully. Quelque 350 000–450 000 m³ d'eau et de matériaux solides s'abattent sur le pied du versant et s'étalent sur 6.2 ha; par chance, aucune habitation n'est atteinte.

Un profond sillon a été creusé, modifiant totalement les risques pour la population. C'est pourquoi des travaux de protection urgents ont dû être ordonnés, tant contre les avalanches que contre les laves torrentielles.

16.2 Bassins versants

Le versant de Fully est drainé par de petits torrents aux écoulements le plus souvent non permanents. Ces torrents se caractérisent par des pentes élevées, de l'ordre de 100%. Ils entaillent les éboulis et la moraine locale. La couverture quaternaire s'arrête vers 1800 m d'altitude. A l'amont apparaît une barre rocheuse localement très altérée (Gneiss du Massif de Fully). L'érosion active de cette barre alimente régulièrement en blocs et en pierres les éboulis et les talwegs des torrents. Les deux torrents concernés par les événements du 15 octobre 2000 s'appellent (cf. Fig. 1):

- Ravine Neuve à l'ouest
- Le Bossay à l'est (nom non reporté sur les cartes topographiques).

Ils forment un bassin versant de 292 ha avec 180 ha de forêt, 74 ha de barre rocheuse, 18 ha de prés et 20 ha de moraine et d'éboulis non végétalisés.

A l'amont de la barre rocheuse se trouve un bassin versant hydrologique fermé, celui des lacs de Sorniot et de Fully. Un petit barrage datant de 1914 crée une rétention (lac supérieur de Fully) qui alimente une usine hydroélectrique sise à Fully. La conduite forcée traverse la barre rocheuse par une galerie accessible au personnel de l'aménagement.

Le bassin versant à l'aval du barrage couvre 280 ha. Les roches appartiennent à l'Autochtone (Trias) et à la Nappe de Morcles (Helvétique), qui sont essentiellement sédimentaires (roches détritiques terrigènes et roches calcaires).

16.3 Déroulement des événements

Les fortes précipitations des 13 au 15 octobre 2000 ont concentré de grandes quantités d'eau dans les lacs de Sorniot et de Fully. Le lac inférieur de Sorniot, n'ayant pas une marge d'accumulation très grande, a rapidement atteint la limite de sa capacité. Ce petit

lac est muni d'une lame déversante permettant de dériver le trop-plein dans un conduit karstique du Trias dénommé la faille du Poteu. Une expertise est en cours pour déterminer les raisons qui n'ont pas permis à cette faille d'absorber tout le débit se déversant du lac.

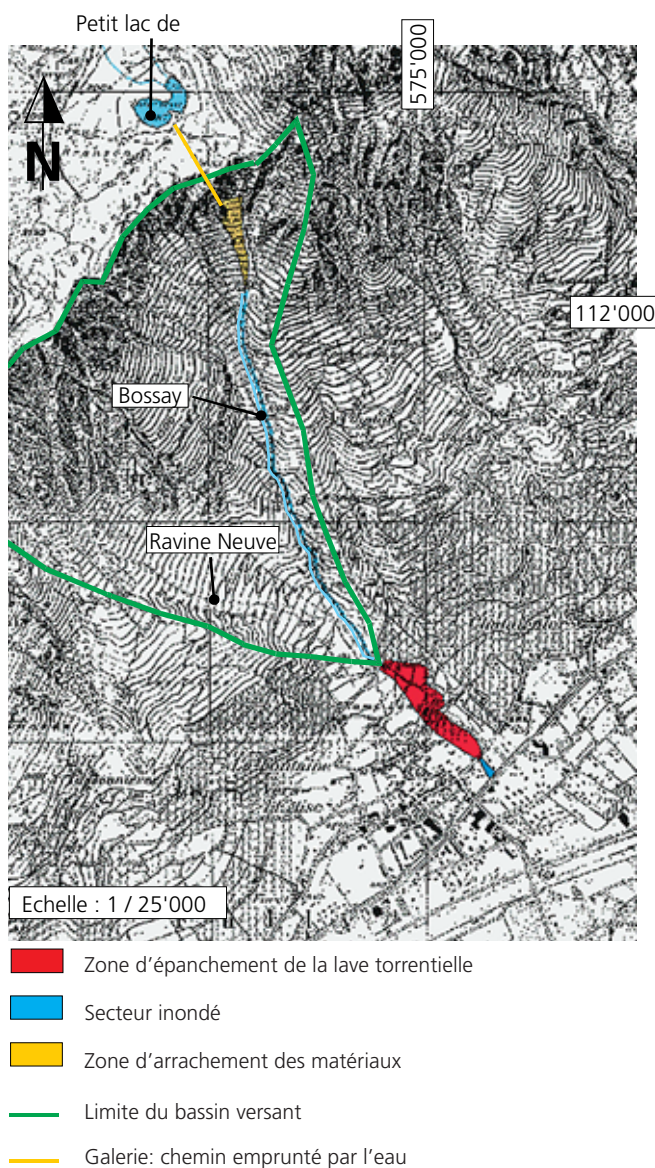


Fig. 1: Plan de situation du torrent du Bossay, de Ravine Neuve et de l'événement du 15 octobre 2000. (Extrait de la carte n° 1305 – Dent de Morcles, échelle 1:25 000)

En effet, la partie à l'aval du déversoir s'est remplie d'eau qui a finalement pu s'écouler dans la galerie traversant la barre rocheuse. Cette galerie débouche aux Garettes, à 1840 m d'altitude. L'eau s'est alors répandue dans les éboulis au pied de la paroi, creusant un lit

durant plusieurs heures dans la nuit du 14 au 15 octobre 2000 et entraînant les matériaux dont le bruit a alerté la population de Fully.

Le nouveau talweg a mis à nu la conduite forcée. Le matin du 15 octobre 2000, la conduite s'est rompue sur une longueur de plusieurs centaines de mètres et a été emportée comme des fétus de paille. Des fragments de tuyau ont été retrouvés dans la châtaigneraie, à 530 m d'altitude. Le dispositif de sécurité sur la conduite a immédiatement permis la fermeture rapide de celle-ci.

Les coulées de boue continuaient quand même en raison de l'apport continu depuis la galerie, avec le paroxysme à 10h30. Elles ont enfin cessé vers 13h00 quand une équipe envoyée par l'exploitant et les autorités communales a réussi à dégager l'entrée du conduit karstique. Le niveau de l'eau a brusquement baissé et n'a plus atteint le chemin fatidique de la galerie.

Sur la Ravine Neuve, un éboulement récent de la paroi sommitale de rocher a dû engorger le lit et a provoqué le 15 octobre 2000 une petite coulée de boue. Une digue située à 820 m d'altitude qui avait été construite en 1996 contre les chutes de pierres a canalisé cette coulée de boue où elle s'est sédimentée comme un delta dans un lac (cf. Photo 1). Cette coulée de boue n'a pas dépassé la digue. La totalité des apports de boue qui ont envahi la châtaigneraie et les vignes provient donc du Bossay.



Photo 1: Digue située à 900 m s. m: remplissage deltaïque de sables et de limons dans la digue de Ravine Neuve (photo du 27 oct. 2000).

16.4 Analyse des données

16.4.1 Données morphologiques

Le cône sur lequel pousse la châtaigneraie montre un apport important de sédiments provenant de l'érosion du flanc de la montagne. Cette érosion a creusé une combe à 1800 m d'altitude, aux Garettes.

Le profil en long du torrent montre que les pentes entre 1700 et 1820 m d'altitude sont supérieures à 200%. Sur de telles pentes, les matériaux sont facilement entraînés par l'écoulement de l'eau.

Les laves torrentielles se sont déposées dès 600 m d'altitude, dès leur arrivée sur le cône de déjection, car les pentes y sont inférieures à 30%. Les premières bouffées se sont arrêtées sur la partie sommitale du cône et ont obstrué le chenal, puis débordé sans même remplir le dépotoir existant. Les bouffées suivantes se sont créées un chemin de direction sud-est et se sont arrêtées sur la partie basse du cône (cf. Fig. 1 et Fig. 2).

16.4.2 Données historiques

La branche ouest, celle de Ravine Neuve, est connue pour ses frasques. Des coulées de boue ont atteint la châtaigneraie en 1958, 1975, 1980, juillet 1986 et juillet 1994. Ces événements ont motivé les autorités communales à construire un dépotoir dans les années 70, à 550 m d'altitude.

La branche est – Le Bossay – n'a occasionné aucune crainte depuis longtemps: aucun événement n'y a été inventorié.

16.4.3 Données hydrologiques

La station ISM la plus proche est celle de Martigny, à 462 m d'altitude (coordonnées: 571 800/105 500). Elle a enregistré la pluviométrie suivante:

- 12 octobre 2000: 2,2 mm
- 13 octobre 2000: 14,4 mm
- 14 octobre 2000: 71,4 mm
- 15 octobre 2000: 17,7 mm

soit pour les deux jours critiques des 13 et 14 octobre 2000 une somme de 85,8 mm. La pluie du 14 octobre

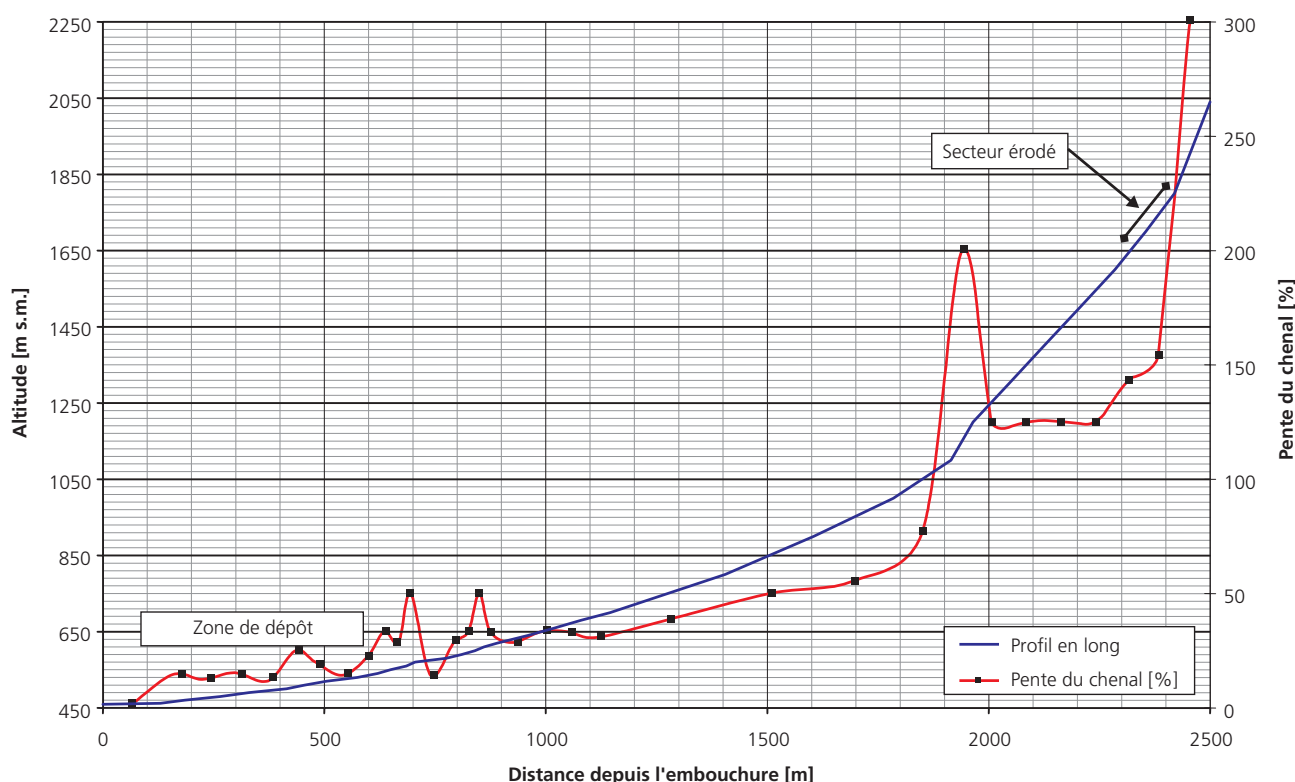


Fig. 2: Profil en long du torrent du Bossay. La ligne bleue montre le profil en long et la ligne rouge présente la pente moyenne des différents tronçons du cours d'eau.

2000, avec 71,4 mm, correspond à une période de retour de 25 ans selon la courbe IDF Martigny-Ville (période 1901–1970).

Il est certain que la pluviosité ait été plus forte aux lacs de Sorniot à 2000 m d'altitude, comme le montrent le 14 octobre 2000 certains pluviomètres d'altitude comme Bourg-St-Pierre (115,2 mm) ou Arolla (98,5 mm). 90 mm se sont abattus dans le bassin de Fully entre 22h00 le 14 et 7h00 le 15 octobre 2000, selon Uldry (2001). Le 14 octobre 2000, le réchauffement de la température a aussi contribué à faire fondre le léger manteau neigeux qui recouvrait la région de Sorniot (25 cm de neige correspondant à environ 25 mm d'eau).

16.4.4 Hydraulique et transport solide

L'apport d'eau depuis la galerie de l'aménagement hydroélectrique n'est actuellement pas connu de façon précise, de même que sa durée. On peut penser, au vu de la répartition des précipitations dans le temps (fortes pointes dans la nuit du 14 au 15 octobre 2000), qu'il a varié sur environ 20 heures. Sur la base du niveau d'eau mesuré lors de la libération de l'entrée de la faille le 15 octobre vers 13h00, le débit se déversant du lac à ce moment a été estimé à un peu plus de 2 m³/s.

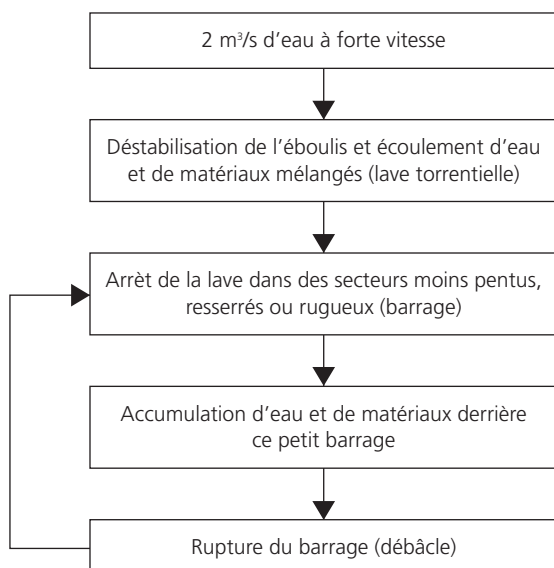
L'analyse hydrologique réalisée par Uldry (2001) montre qu'au minimum 200 000 m³ d'eau se sont écoulés par la galerie de la conduite forcée. Le volume d'éboulis et de moraine arraché aux Garettes a été cubé par photogrammétrie à 250 000 m³ en place (cf. Photo 2). En outre, le lit du torrent a été érodé par les bouffées successives sur un tronçon d'environ 1000 m. Cette érosion a été partiellement compensée par des dépôts sur les berges sur ces mêmes tronçons. Le volume total érodé sur le cours d'eau a été estimé à 10 000–20 000 m³. Cette estimation a été réalisée par comparaison entre les profils existants et les profils supposés «avant événement». L'épaisseur maximale du dépôt (350 000–450 000 m³ au total), constitué d'un mélange mou d'eau et de matériaux (suspension visqueuse), a été mesurée à la cote 525 m et atteint 8 m.



Photo 2: Vue de la zone de dépôt de la lave torrentielle. Les particules fines ont été délavées dans le chenal central par les écoulements d'eau claire qui ont succédé aux laves torrentielles (photo du 16 octobre 2000).

Les phénomènes d'érosion commencent à la sortie de la galerie, à 1800 m d'altitude, avec un surcreusement de l'ordre de 15 m et s'arrêtent à environ 650 m d'altitude. A l'aide des traces de passage des laves torrentielles, la surface d'écoulement a pu être approximée à 50 m². Avec une vitesse d'écoulement de 5–10 m/s, on peut estimer que les bouffées ont pu atteindre des débits de l'ordre de 250 à 500 m³/s. Les hauteurs d'écoulement dans le chenal étaient comprises entre 2 et 6 m.

Le mécanisme de formation suivant est probable:



La répétition de ce mécanisme (succession d'embâcles – débâcles) sur toute la durée de la crue génère les bouffées typiques des laves torrentielles.

Dans un premier temps, ce sont les éboulis qui ont été érodés puis, dans un second temps, la moraine sous-jacente. Cela est confirmé par l'observation des dépôts sur le cône de déjection. En effet, les premières bouf-

fées étaient très pierreuses (éboulis), alors que les bouffées suivantes montraient une granulométrie typiquement morainique.

16.5 Description des dommages

Les dommages touchent essentiellement les domaines forestiers et agricoles avec 3 ha de châtaigneraie et 2 ha de vignes détruits. Les coulées de boue ont aussi arraché un captage d'eau potable et des conduites d'adduction. Les dommages sont surtout indirects. Le risque d'avalanche a été accru. Une augmentation du danger lié aux laves torrentielles était crainte. Il a donc fallu ériger d'urgence un dépotoir entre 600 et 510 m d'altitude, capable de retenir avalanches et laves torrentielles (capacité: 90 000 m³, hauteur frontale de digue: 12 m, ouvrage en béton pour le transit des débits extrêmes). Ces travaux ont débuté le 4 décembre 2000 et sont devisés à Fr. 2 600 000.–.

16.6 Référence

- Bessero, S., 2001: Mesures de protection contre les crues et les avalanches du torrent du Bossay, 1926 Fully. Rapport technique. Rapport du 26.1.2001, Bureaux S. Bessero, Fully, P. Tissières, Martigny et J. Médico, Martigny.
- CRSFA, 1994: Falaise de «La Blet – La Luy», étude structurale et trajectographique. CRSFA/94.09, 11.94.
- CRSFA, 1997: Commune de Fully, Inventaire des événements de crue et lave torrentielle. CRSFA/97.26, août 1997. 7 p. et annexes.
- Uldry, J.-D., 2001: Affaire EOS/Commune de Fully: rapport d'expertise. 6.2001. 19 p. et annexes (non publié).

17 Torrent de St. Jean (Commune de Martigny-Combe)

Nicole Schaffter

17.1 Introduction

Le dimanche 15 octobre 2000, une lave torrentielle d'environ 15 000 m³ malmène le torrent de St. Jean et obstrue la route internationale Martigny-Aoste. Puis la coulée se jette dans la Drance qui avait déjà débordé. Une bonne partie du matériel de la coulée est ainsi entraîné par la Drance.

17.2 Bassins versants

Le torrent de St. Jean draine un territoire de 12.5 km², mais un seul affluent est responsable des dégâts: celui de la Vouarde, qui comprend un bras secondaire, le torrent de la Gure ou Djouro (cf. Fig. 1).

Le torrent de la Gure capte les eaux du Plateau de la Giète. Son bassin d'alimentation couvre 158 ha. Sa pente est très forte (75%) sur 1100 m jusqu'à sa jonction avec le torrent de la Vouarde, à 1136 m d'altitude. Le torrent de la Vouarde se situe dans une combe très encaissée. Le lit du torrent est aussi très raide (70%) sur 1500 m de longueur, jusqu'à 1100 m d'altitude. Le tronçon inférieur, qui s'écoule quasi parallèlement au torrent de St. Jean sur 750 m de longueur, retrouve le torrent de St. Jean à 860 m d'altitude (pente moyenne: 32%).

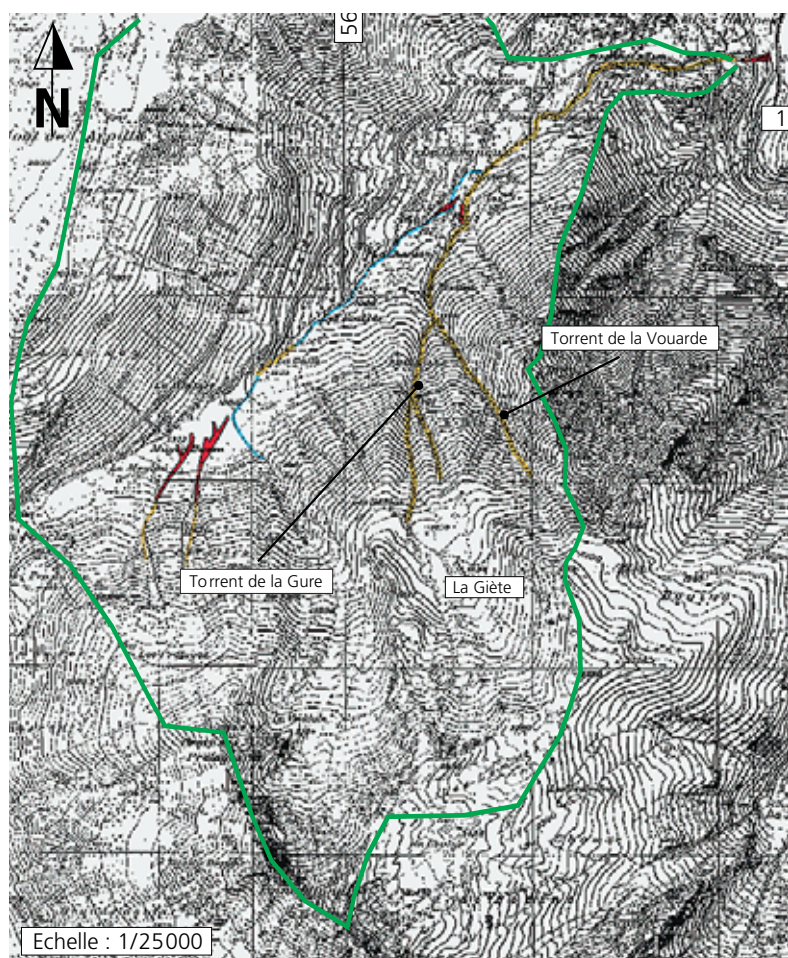
Le torrent de St. Jean ne reçoit plus de nouveaux affluents jusqu'à son embouchure dans la Drance, à 516 m d'altitude (longueur du tronçon: 1800 m, pente moyenne: 18%).

Les bassins versants sont totalement boisés, à l'exception du Plateau de la Giète qui abrite une étable. Les rhododendrons couvrent une bonne partie de ce qui devait être dans le passé un beau pâturage. Les gneiss du Mont Blanc sont partout recouverts d'une mince couche d'éboulis et de moraine.

17.3 Déroulement de l'événement

Le 15 octobre 2000, la pluie déstabilise les rives des deux torrents de la Vouarde et de la Gure, qui se chargent en gravier sablo-limoneux d'origine morainique. L'eau et les matériaux entraînés ont un fort pouvoir d'érosion, arrachent les ponts, creusent le lit du torrent de St. Jean sur 1,5 m de profondeur et atteignent la Drance à 9h30 (cf. Photo 1).

A l'amont de la confluence, signalons deux petites érosions des deux rives et dépôt immédiat des matériaux dans le lit à 1100–1040 et 910–890 m d'altitude (cf. Fig. 1).



- Zone de dépôt
- Zone d'érosion des matériaux
- Limite du bassin versant

Fig. 1: Plan de situation du torrent de St. Jean, de ses affluents et de l'événement du 15 octobre 2000. (Extrait des cartes n° 1324 – Barberine et 1325 – Sembrancher, échelle 1:25 000)

17.4 Analyse des données

17.4.1 Données morphologiques

A l'ouest du torrent de la Gure, on observait de petites coulées de boue longues de 30–50 m et larges de 1–2 m dans des zones où la forêt avait été partiellement détruite par les ouragans Viviane en 1990 et Lothar en 1999.

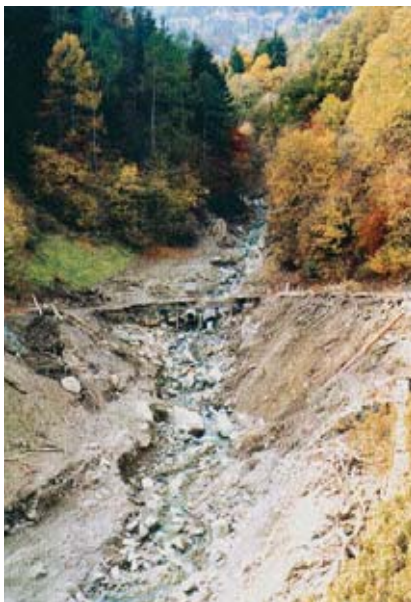


Photo 1: Vue générale de la route Parignières – Planchamps: forte érosion du lit (photo du 30 octobre 2000).

17.4.2 Données historiques

Les pluies du 16 février 1990 avaient déjà détruit les ponts qui ont été refaits à l'aide de tuyaux en acier de grand diamètre (1,5–2,0 m), noyés dans du béton.

17.4.3 Données hydrologiques

La station ISM la plus proche du torrent de St. Jean est celle de Martigny, à 462 m d'altitude (coordonnées: 571 800/105 500). Entre le 11 et le 15 octobre 2000, les précipitations mesurées à cette station étaient de:

- 11 octobre 2000: 15,7 mm
- 12 octobre 2000: 2,2 mm
- 13 octobre 2000: 14,4 mm
- 14 octobre 2000: 71,4 mm
- 15 octobre 2000: 17,7 mm

L'intensité de la pluie du 14 octobre 2000 correspond à une période de retour de 25 ans.

17.4.4 Données hydrauliques

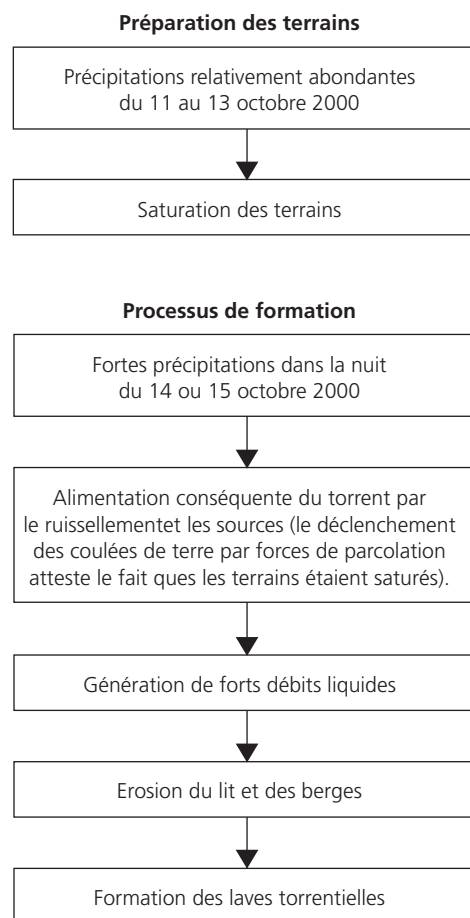
Une estimation des débits liquides de pointe a été effectuée à l'aide de la méthode de Koella et de l'extrapolation aux fréquences rares par le gradex des pluies régionales (Essayd, 2000). Ces approches permettent de cerner l'ordre de grandeur des débits de pointe pour certaines périodes de retour:

- 2,33 ans: 3 m³/s
- 50 ans: 18 m³/s
- 5 ans: 6 m³/s
- 100 ans: 23 m³/s

- 10 ans: 8.4 m³/s
- 300 ans: 31 m³/s
- 20 ans: 12 m³/s
- 500 ans: 35 m³/s

On peut donc admettre que le débit liquide de pointe du torrent de St. Jean durant ces fortes pluies a pu atteindre entre 12 et 18 m³/s.

Les matériaux emportés proviennent du lit même et des berges des différents bras du torrent ayant participé à l'écoulement. Les dépôts en amont du pont de la route du Grand St. Bernard ne montrent pas de tri granulométrique. On relève aussi la présence de blocs de plusieurs mètres de diamètre (cf. Photo 2) et de bourrelets latéraux en amont du pont de la route du Grand St. Bernard. Dans la partie centrale du chenal, les particules fines ont été lessivées. Ces caractéristiques montrent que l'on a eu dans un premier temps affaire à une lave torrentielle partiellement reprise ensuite en charriage par des écoulements plus liquides. Les pluies tombées dans la nuit du 14 au 15 octobre 2000 nous incitent à formuler le mécanisme de formation suivant:



Tab. 1: Formation des laves torrentielles



Photo 2: Amont du pont de la route du Gr. St. Bernard: amoncellement de pierres, de blocs ($\varnothing > 2$ m) et de troncs derrière le tablier (photo du 15 octobre 2000).

Il s'agit donc de toute évidence d'une lave torrentielle de type hydrologique telle que définie par Meunier (1991).

17.5 Description des dommages

Ce sont essentiellement les petits ouvrages d'art sur le torrent qui ont souffert:

- pont en béton emporté à 915 m d'altitude sur le torrent de La Vouarde (pont du Châtelard)
- pont en béton endommagé à 910 m d'altitude sur le torrent de St. Jean (pont d'Ingerbis)
- pont avec tuyau en acier obstrué à 808 m d'altitude (pont de Combarigny)
- pont du pied du Château endommagé à 672 m d'altitude (pont de la route Parignières – Planchamps)
- pont voûté en maçonnerie obstrué par un tronc et fortement érodé à 605 m d'altitude (pont de la route cantonale 92 Le Brocard – Les Rappes)
- pont d'accès à l'ancien dépôt de munitions de la Confédération à la cote 570 m détruit (pont de La Poudrière)
- ancien pont voûté en maçonnerie obstrué par un bloc de granite de 25 m³ à 525 m d'altitude (ancien pont du Brocard de la route cantonale).

L'ancien dépôt de munitions de la Confédération a carrément été rasé sur la rive gauche du torrent de St. Jean (cote: 570 m).

Ces ouvrages sont en cours de reconstruction soit comme gué (au Châtelard), soit comme pont avec un

tablier en bois reposant sur des culées en béton armé (= «pont fusible»). Le pont de la route cantonale 92 Le Brocard – Les Rappes fait actuellement l'objet d'une étude devant déterminer si l'ouvrage est récupérable, car ce pont est resté praticable.

Quant au cours du torrent de St. Jean, son approfondissement augmente le risque d'érosion des berges. Des enrochements ou des travaux de reprofilage des berges ont été effectués partout où la stabilité des rives était menacée. Les dégâts les plus importants sur les berges ont été constatés aux endroits suivants:

- près du virage des Fratses (altitude: 1090 m)
- sur le tronçon compris entre Le Fays et Les Fratses
- sur le tronçon compris entre la route de Combarigny et celle du Châtelard
- sur le tronçon compris entre la route du Gr. St. Bernard et la route du Pied du Château.

Le gros des travaux sera terminé en mars 2001 pour un coût total estimé de Fr. 769 000.–.

Le lit du torrent de St. Jean a été érodé sur 1,5 m de profondeur de la cote 670 à la cote 530 m. Cette érosion a contribué à la disparition de terrains agricoles situés au bord du torrent. Le coût des dégâts, incluant également ceux situés le long de la Drance immédiatement à l'aval de la confluence Drance – torrent de St. Jean, ont été estimés à Fr. 320 000.–.

Plusieurs conduites ont été arrachées le long du torrent:

- route Parignières-Planchamps: deux conduites d'eau potable, une conduite d'eaux usées, une conduite d'irrigation et des câbles électriques et téléphoniques
- route Le Fays-Pro du Nid: une conduite d'eau potable
- route du Gr. St. Bernard: une conduite d'eau potable des Services industriels de Martigny ($\varnothing$ 200 mm) et des lignes électriques et téléphoniques
- région de La Poudrière: une conduite d'irrigation.

Les dégâts aux conduites ont été chiffrés à Fr. 90 000.–. Les fondations de la ligne électrique reliant Le Brocard – Le Borgeaud ont été ravinées et endommagées. Les dégâts ont été estimés à Fr. 25 000.–.

17.6 Référence

- Essayd, K. (2000): Commune de Martigny-Combe, Torrent de Saint-Jean, Intempéries octobre 2000, Hydrologie. Rapport du 22.11.2000 du bureau Moret & Associés SA, Khalid Essayd en collaboration avec Michel Roduit, 7 p.
- Meunier, M. (1991): Eléments d'hydraulique torrentielle. Edition Cemagref, 278 p.