

Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis

Autor(en): **Grebner, Dietmar / Aschwanden, Hugo / Steinerger, Urs**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **92 (2000)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940324>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis

■ Dietmar Grebner, Hugo Aschwanden, Urs Steinegger, Markus Zimmermann

Zusammenfassung

Das Hochwasserereignis vom Oktober 2000 war durch eine Wetterlage geprägt, durch die während etwa acht Tagen eine ortsfeste Südanströmung gegen die Alpen bestand. Für die Niederschläge bedeutete dies: beständige Überregnung der gleichen Region; im Raum Simplon und Teilen des Wallis sowie auch im Aostatal und Piemont extreme Mengen, speziell durch die Dauer, mit eingelagerten Spitzenintensitäten. Die Schneefallgrenze lag gerade während des Niederschlagsmaximums, 13. bis 14. Oktober, wesentlich über 2500 m ü.M. Bis auf dieses Niveau trat dann auch Schmelze der bereits bestehenden Schneedecke ein.

Entsprechend den relativen Niederschlagszentren im oberen und in den Südtälern des unteren Wallis egalisierten oder überstiegen die Abflüsse die bisher gemessenen Höchstmarken von 1948, 1987, 1993, im Einzelfall bis 25%. Im Lago Maggiore liess das Niederschlagsvolumen des Ereignisses, nach einem bereits hohen Anfangsstand, den Seestand 35 cm über das Niveau von 1993 steigen. Er lag aber dennoch in der Schwankungsbreite der seit 1868 gemessenen Jahresmaxima.

Extreme Niederschlagsbelastungen der Böden und dazu am 13. Oktober wiederholte, lokale Spitzenintensitäten lösten in Risikozonen verbreitet Rutschungen, Hangmuren, Murgänge und in den Gerinnen Geschiebeverlagerungen aus. Der Wissensstand zu diesen Prozessen lässt zwar entsprechend disponierte Gebiete erkennen. Die Vorhersage von Ort und Zeit während eines Ereignisses ist jedoch nach wie vor nicht möglich.

1. Einleitung

Niederschlagsabflussereignisse sind komplexe Phänomene aus atmosphärischen, hydrologischen und morphologischen Komponenten. Im Fall von Schäden erweitert sich der Zusammenhang um die entsprechende Disposition und das Potenzial für Schäden. Diese Vieldimensionalität bringt es mit sich, dass jedes Ereignis in Ursache und Wirkung

individuelle Eigenschaften aufweist. Ihre konsequente Analyse schafft die Grundlage, den Rahmen signifikanter Variationen der Prozesse, präventive und akute Massnahmen, Risiko, Ereignisdimensionen sowie klimatische Aspekte zu erkennen. Aus den gehäuften Fällen der jüngsten Jahrzehnte im aktuell betroffenen Gebiet – 1978: Centovalli; 1987: Tessin, Wallis, Reuss, Rhein; 1993: Wallis; 1998/99: Wallis (Schnee) sowie nördlich der Alpen z.B. 1997 und 1999 – wurde ein erheblicher Kenntnissgewinn gezogen und zum Teil auch bereits umgesetzt.

Das im Laufe des Ereignisses vom Oktober 2000 entstandene Hochwasser und die Schadensbildungen betrafen in zeitlicher Folge die südalpinen Täler zwischen Valle Maggia und Simplon, das Aostatal, das obere und das südliche untere Wallis, das Piemont, den Lago Maggiore und schliesslich den unteren Po.

Je nach Geländebeschaffenheit ergeben sich spezifische Auswirkungen eines Hochwassers. In steilen Gebieten sind neben der Abflussmenge die Fließdynamik und die Destabilisierung der Böden massgebend. Schäden treten ein, wenn durch ein Ereignis die für eine Region üblichen flüssigen Niederschläge und begleitenden Witterungszustände, auf welche sich das betroffene Gebiet morphologisch eingestellt hat, deutlich überschritten werden. Dabei wird die Abflussbildung von mehreren Komponenten im Niederschlagsabflussprozess mit unterschiedlichen Gewichten gesteuert, wie die Hochwasserperiode vom Mai 1999 beispielhaft zeigt (Grebner und Roesch, 1999; BWG, 2000; Aschwanden, 2000). In flacheren Gebieten, so z.B. vom Lago Maggiore, ist letztlich der resultierende Wasserstand massgebend. Schäden ergeben sich in Abhängigkeit der Dimensionierung und Widerstandsfähigkeit wasserbaulicher Vorkehrungen.

In steilen Gebieten sind in Bezug auf Abflussdynamik, Auslösung von Murgängen usw. Spitzenintensitäten des Niederschlags von Bedeutung. Ein Hochwasser im räumlichen Ausmass desjenigen vom Oktober 2000 ist ausschliesslich durch zyklonale Niederschlagssysteme möglich, d.h. durch Niederschläge auf Grund von Tiefdruckgebieten und ihren thermodynamischen Eigenschaften

ten. Im Gegensatz zu Schauern sind solche Systeme relativ langlebig, erzeugen allerdings im Allgemeinen in kürzeren Zeitintervallen relativ mässige Intensitäten. Die klimatischen Verhältnisse auf der Alpensüdseite bieten jedoch zusätzlich die nötigen Voraussetzungen für – in die Dauerniederschläge eingelagerte – hohe Intensitätsspitzen.

Ein weiterer Faktor in der Hochwasser- und Schadensbildung ist der Feuchtezustand der Böden zu Beginn eines Niederschlags. Die Bedeutung davon geht jedoch mit zunehmender Niederschlagsdauer zurück. Im vorliegenden Fall begannen die Niederschläge im Laufe des 9. Oktober und dauerten bis gegen Ende des 16. Oktober, d.h. etwa 8 Tage.

Zur Beschreibung und Beurteilung des Ereignisses werden nachfolgend im Einzelnen die meteorologische Ursache, die atmosphärischen Zustände, die Niederschlagsaktivität, das Abflussgeschehen, die Bodeneigenschaften sowie Aspekte zur Klimaänderung diskutiert.

2. Daten

Die Beschreibung und die Abbildungen gehen von folgenden Informationen aus:

- Wetterkarten: täglicher Kartensatz des Deutschen Wetterdienstes;
- Niederschlag: Messnetze der MeteoSchweiz; Sammlung aktueller Daten von G. Kappenberger (2000); 1993 (SMA, 1993); Rapporto sull'evento alluvionale del 13–16 ottobre 2000 (Regione Piemonte, 2000);
- 0-°C-Grenze und Schneefallgrenze: Klimanetz der MeteoSchweiz;
- Wasserstand und Abfluss: automatisiertes Messnetz des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG; öffentlicher Zugang unter <http://www.bwg.admin.ch>; Luder 1999);
- Schneedecke: Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos (SLF/WSL, 2000);
- Geomorphologie: Begehungen und Gespräche vor Ort.

3. Atmosphärische Eigenschaften

Die atmosphärischen Eigenschaften waren geprägt durch die grossräumige Wetterlage, ihren regionalen Strömungszustand und ihre

lokalen Prozesse, wie eingelagerte Schauerintensitäten und den Gebirgs Einfluss.

Grossräumig bestand das Ereignis aus drei Phasen: Vom 8. bis 10. Oktober richtete sich ein ausgedehntes Tiefdruckgebiet mit Zentrum über England ein (Bild 1). In den folgenden 3 Tagen, bis 13. Oktober, erstreckte sich davon ein Tiefdrucktrog bis nach Marokko. Die Strömung auf der Alpensüdseite drehte dadurch auf Südwest und bezog von Nordafrika Warmluft mit ein (Bilder 2, 8). Im Laufe des 13. Oktober spaltete sich der Trog zu einem abgeschlossenen Zentrum über den Balearen ab (Bild 3). Dadurch blieb die Strömung gegen die Alpen bis 17. Oktober erhalten, drehte sich allerdings auf Südsüdost. Danach entfernte sich das Tief und baute sich ab.

Regional bewirkte die grossräumige Druckentwicklung, dass die niederschlagsrelevante Südströmung während der gesam-

ten Dauer auf ein Gebiet festgelegt war. Die Niederschlagsleistung der Atmosphäre der beiden Phasen 2 und 3 wurde unterstützt durch die beteiligte Warmluft und die vertikalen Schichtungen in der Atmosphäre.

Lokal wirkte sich besonders im Laufe des 13. Oktober eine vertikal instabile Temperaturschichtung aus. Durch sie war die Bedingung für schauerartige Intensitäten gegeben. Sie konzentrierten sich typischerweise entlang der Südhänge. In solchen Fällen ist auch ein Übergreifen ins Wallis in einer kammnahen Zone möglich und im aktuellen Ereignis anzunehmen.

4. Niederschlagsverlauf

Im Tessin und den Walliser Südtälern traten diesen Herbst bis Oktober bereits wiederholt Niederschläge auf, die zu einem Auffüllen der Wasserspeicher (Böden, Flüsse, Seen) führten.

Erhebliche Niederschlagsmengen wurden in diesen Regionen am 19./20. September und vom 30. September auf den 1. Oktober registriert. Diese Entwicklung liess den Pegelstand im Lago Maggiore bis zum 10. Oktober bereits 50 cm über den Normalstand ansteigen (Kapitel 6).

Die Niederschläge des Schadensereignisses begannen am 9. Oktober mit mässigen Intensitäten. Durch die zunehmend auf Südwest drehende Strömung traten ab Mittwoch, den 11. Oktober, namhafte Tagesmengen auf (Bild 4). Typischerweise für die Strömungsrichtung dieser Phase lag das Niederschlagszentrum im westlichen Tessin und im angrenzenden Italien (Bild 5; Grebner und Roesch, Abb. 2. 11. 6, 1998). Insgesamt hielten die Niederschläge bis 17. Oktober an (Bilder 4, 7).

Mit der weiteren Strömungsdrehung am 13. Oktober verlagerte sich das Niederschlagszentrum zur Südabdachung der Alpen in den Raum Simplon (Bilder 3, 4 und 6). Markant waren gleichzeitig wiederholt entstandene, schauerartige Intensitätsspitzen der Niederschläge. Stündliche Messungen an den italienischen Stationen Pizzanco und Varzo, in unmittelbarer Nachbarschaft von Gondo, zeigen Mengen bis 50 mm (Regione Piemonte, 2000). Die grössten Tagesniederschläge akkumulierten sich dadurch am 13. und 14. Oktober im Raum Simplon-Südrampe. Erfahrungsgemäss entstehen solche hohen Stundenmengen aber in deutlich kürzeren Intervallen. Auf eine Stunde hochgerechnet können diese Intensitäten mehrere hundert Millimeter erreichen, mit entsprechend hohen Auswirkungen auf die Abflussbildung und vor allem auf den Boden in Hanglagen (Kapitel 7). Derartige Intensitäten treten bevorzugt an den südalpinen Luvhängen auf und reichen vom Alpensüdhang auch teilweise über den Gebirgskamm etwas ins Wallis hinein. Innerhalb dieser Entstehungszone ist der einzelne Auftretensort zufällig. Im Lee des Gebirgskammes geht und ging die hohe Intensitätsvariabilität rasch zurück (z.B. Bild 8).

Zum Vergleich mit dem aktuellen Ereignis drängen sich die Niederschlagsverhältnisse vom 5. September bis 16. Oktober 1993 auf. Sie bestanden aus fünf aufeinanderfolgenden Ereignissen mit kurzen Unterbrechungen von 1 bis 3 Tagen. Innerhalb dieser Periode trat auch das Schadensereignis von Brig/Saas Almagell/Simplon auf (22.–25. September 1993; Grebner, 1993; Grebner und Roesch, 1993; Spinedi et al., 1993). Beim damaligen Einzelereignis «Brig» lagen im Tessin die Niederschlagsleistungen von 2 und 3 Tagen Dauer erheblich über dem aktuellen Fall (Tabelle 1). In den kammnahen Gebieten des Wallis hingegen, insbesondere

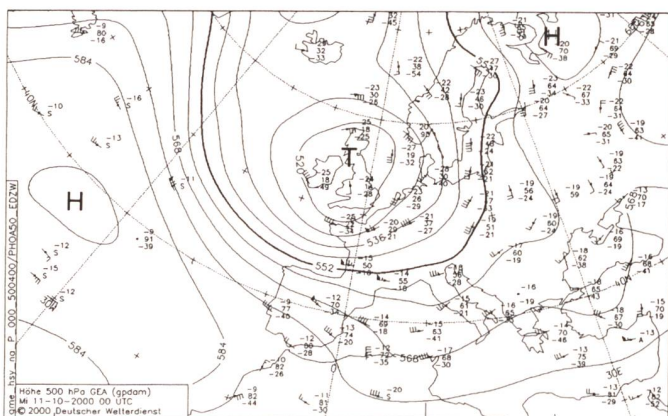


Bild 1. Massgebende Druckverteilung und Strömung (500 mb) am 11. Oktober 2000, 00 UTC (= 2 Uhr mittlereuropäische Sommerzeit MESZ).

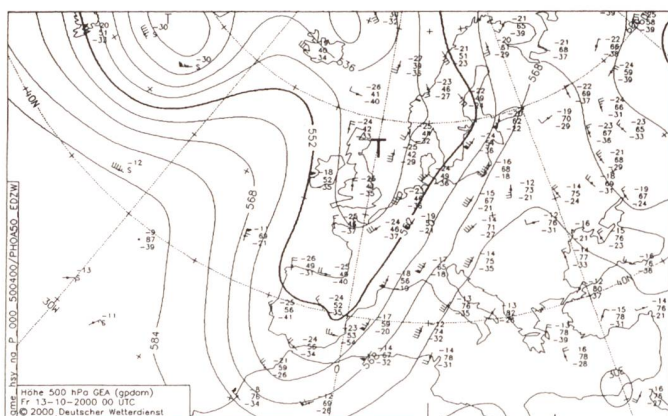


Bild 2. Massgebende Druckverteilung und Strömung (500 mb) am 13. Oktober 2000, 00 UTC (= 2 Uhr MESZ).

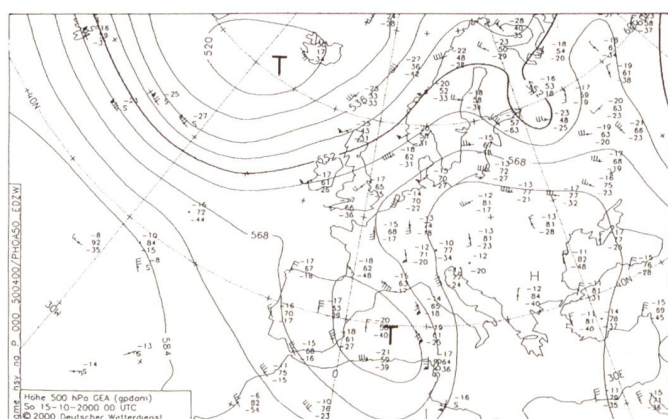


Bild 3. Massgebende Druckverteilung und Strömung (500 mb) am 15. Oktober 2000, 00 UTC (= 2 Uhr MESZ).

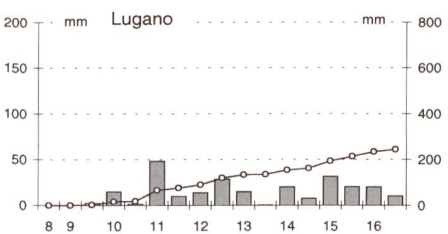
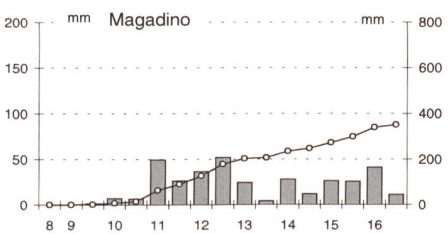
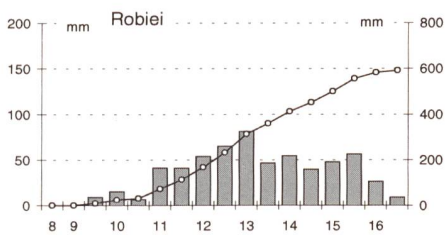
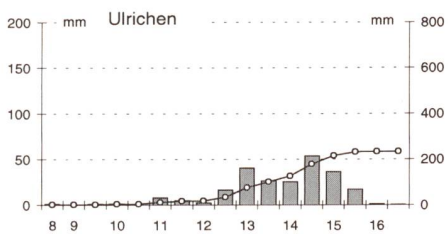
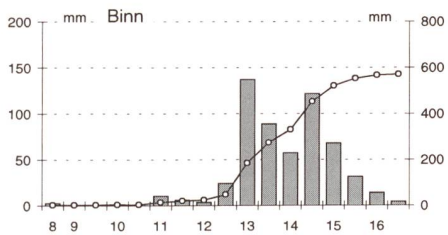
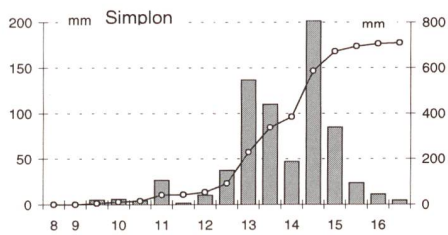
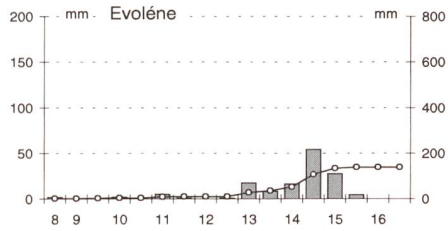


Bild 4. Verlauf der 12-stündigen Niederschlagssummen (Säulen) vom 8. Oktober (20 Uhr MESZ) bis 17. Oktober 2000 (8 Uhr MESZ) und über diese Dauer aufsummierter Niederschlag (Kurve) für sieben Stationen vom unteren Wallis bis ins südwestliche Tessin.

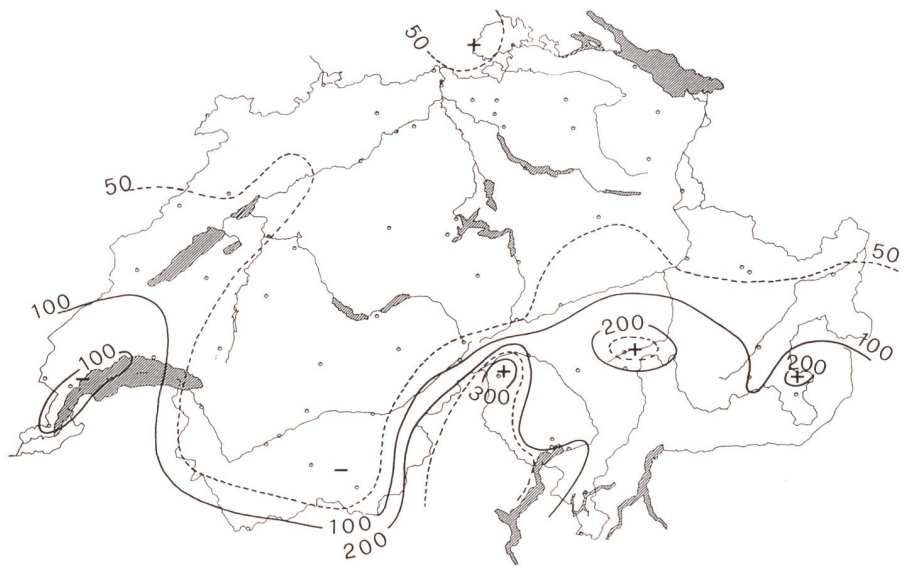


Bild 5. Räumliche Verteilung der Niederschlagssumme vom 8. Oktober (20 Uhr MESZ) bis 13. Oktober 2000 (20 Uhr MESZ) während der Südwestströmung.

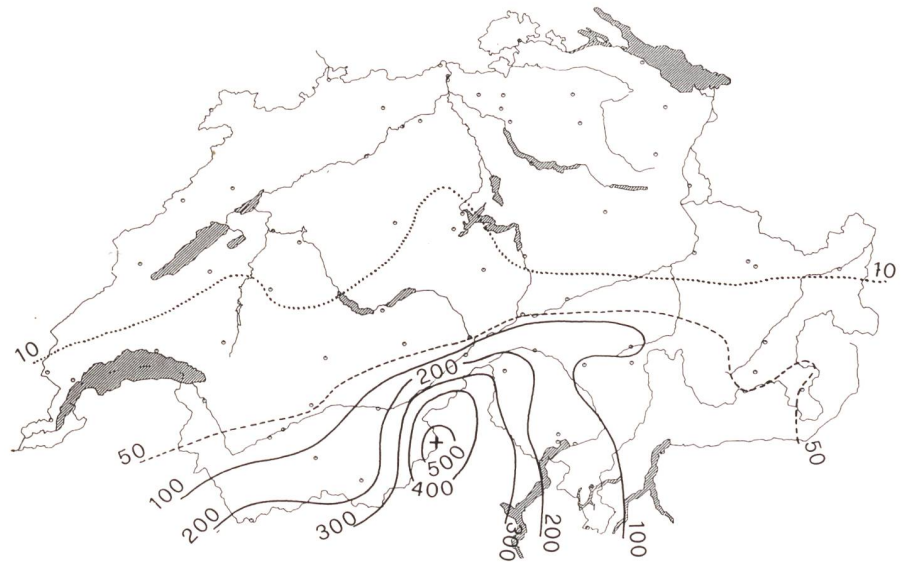


Bild 6. Räumliche Verteilung der Niederschlagssumme vom 13. Oktober (20 Uhr MESZ) bis 17. Oktober 2000 (8 Uhr MESZ) während der Südwestströmung.

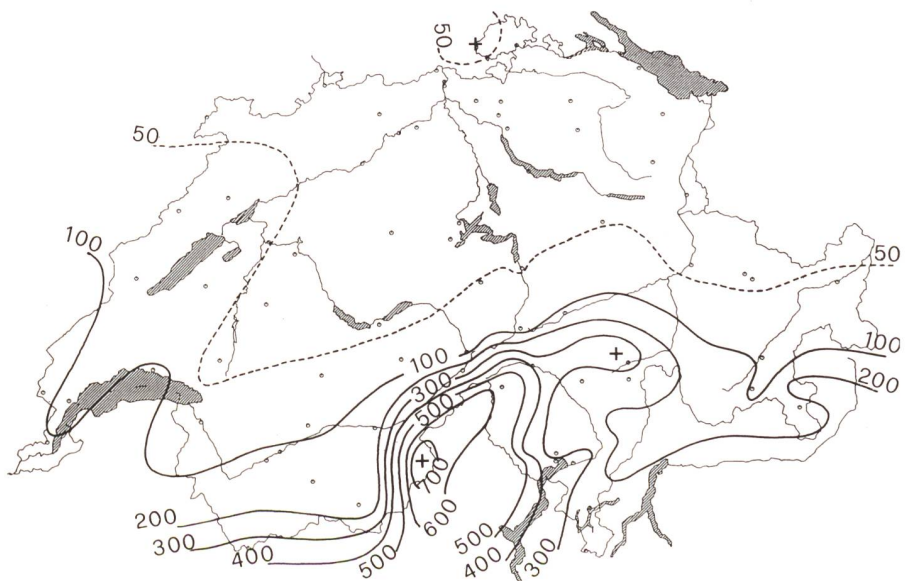


Bild 7. Räumliche Verteilung der Niederschlagssumme des Gesamt ereignisses vom 8. Oktober (20 Uhr MESZ) bis 17. Oktober 2000 (8 Uhr MESZ).

in den Walliser Südtälern erwies sich das aktuelle Ereignis in den gleichen Dauern als deutlich stärker. Zum Beispiel in Bourg-St-Pierre und Evolène (Tabellen 1, 2) wurden massiv höhere 3-Tages Summen als 1993 registriert.

Die Wiederkehrperioden der 1-, 2- und 5-tägigen Niederschlagssummen stiegen im betroffenen Gebiet allgemein mit zunehmender Dauer an (Tabelle 2). Dies bestätigt die Bedeutung der langen Dauer kräftiger Niederschläge dieses Ereignisses. Tabelle 2 zeigt auch den eindeutigen relativen Schwerpunkt im Raum Simplon und Binn (Bilder 4, 6) und entlang der kammnahen Zone des Wallis bis zum Gr. St. Bernard. Dort trat im Vergleich zum Abschnitt um Zermatt für das Wallis ein zweiter relativer Schwerpunkt der Überregnung auf (Bilder 6, 7). Insbesondere wurde aber das Gebiet um Simplon mit weit über

bisher beobachtete Ereignisse hinausgehenden Starkniederschlägen belastet und erfuhr gleichzeitig das für Gebirgshänge verschärfende Phänomen von wiederholten Intensitätsspitzen. Im unteren Wallis waren die stündlichen Intensitäten wesentlich gleichförmiger.

Die Wiederkehrperioden in Tabelle 2 beruhen auf der Referenzperiode 1901–1970. Beim Vergleich mit Frequenzanalysen auf Grund erweiterter Datenreihen bis 1994 (Lang et al., 1980), d.h. mit den jüngeren und regenreicheren Jahren, werden die Wiederkehrperioden etwas kürzer.

5. Schneefallgrenze und Schneeschmelze

Im Herbst 2000 hatte sich in den Höhen über 2000 m ü.M. vor dem Ereignis im Oktober eine Schneedecke aufgebaut. So wurde z.B. im unteren Wallis schon auf der Höhe der Station

Mauvoisin (1841 m ü.M.) am 8. Oktober eine geringe Schneedecke und am 10. und 11. Oktober zusätzlich Schneefall beobachtet. Allgemein erreichte die Schneehöhe oberhalb von 2000 m ü.M. bis zum 11. Oktober gegen 1 m, insbesondere im hinteren Maggial. Diese wurde durch die Warmluftzufuhr (Kapitel 3 und Bild 8) ab 11. Oktober bis in Höhen von 2600 m ü.M. rasch abgeschmolzen.

Die Schmelzwassermenge aus den erwähnten Höhen lieferte etwa 100 mm (= Liter pro m²) zusätzlich zu den Niederschlägen. Auf der Höhe der Messstation Gornergrat in 3130 m ü.M. kann auf Grund der Temperaturmessungen und der Messung der Schneehöhe angenommen werden, dass zwischen dem 13. und 14. Oktober z.T. flüssiger Niederschlag aufgetreten ist. Die Schneehöhe blieb in dieser Zeit bei ca. 50 cm, d.h. die Setzung der Schneedecke und der teilweise Neuschneezuwachs glichen sich etwa aus. Auf dem Monte-Moro-Pass, in 2860 m ü.M., sank die Schneehöhe geringfügig. Unterhalb dieser Höhe führten der Niederschlag und das Schmelzwasser zu Abflussbildung.

Am Sonntagabend, den 15. Oktober, sank die Schneefallgrenze in der vorrückenden Kaltluft des Tiefdruckgebietes (Bild 3) rasch ab (Bild 8). Diese Entwicklung hatte eine erste Reduktion der Abflüsse zur Folge. Auf dem Gornergrat nahm dabei die Schneehöhe über 80 cm zu, auf dem Monte Moro über 100 cm. Die Abkühlung war am Alpensüdrand am deutlichsten. Im Zentralwallis wurde die feuchtmilde Luft jedoch praktisch nicht ausgeräumt.

Im Vergleich zu diesen Entwicklungen spielte die Schneeschmelze beim Schadenereignis 1993 im Wallis und Tessin nur eine geringe Rolle. Damals lag nur in grossen Höhen Schnee.

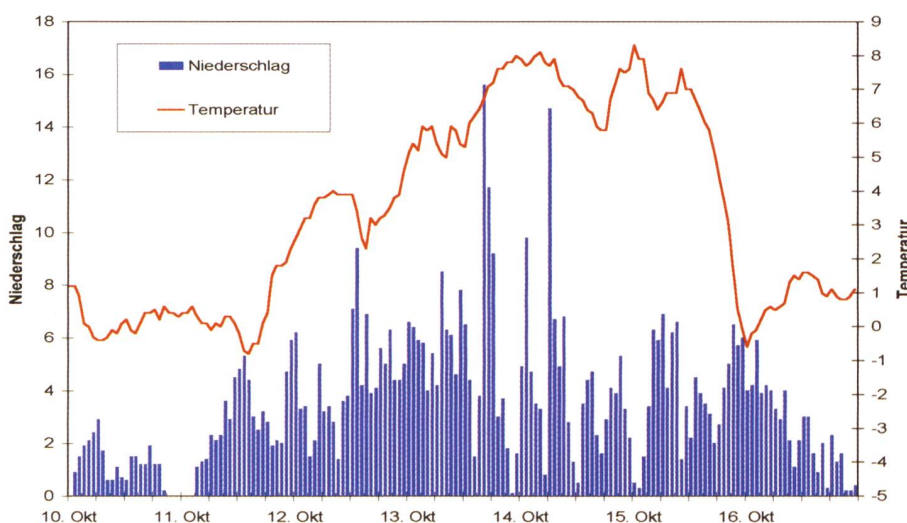


Bild 8. Stündlicher Verlauf von Niederschlag [mm] und Temperatur [°C] an der Station Robiei 1898 m ü.M. vom 10. bis Ende 16. Oktober 2000.
Datumsangabe z.B.: 20001010 = 10. 10. 2000.

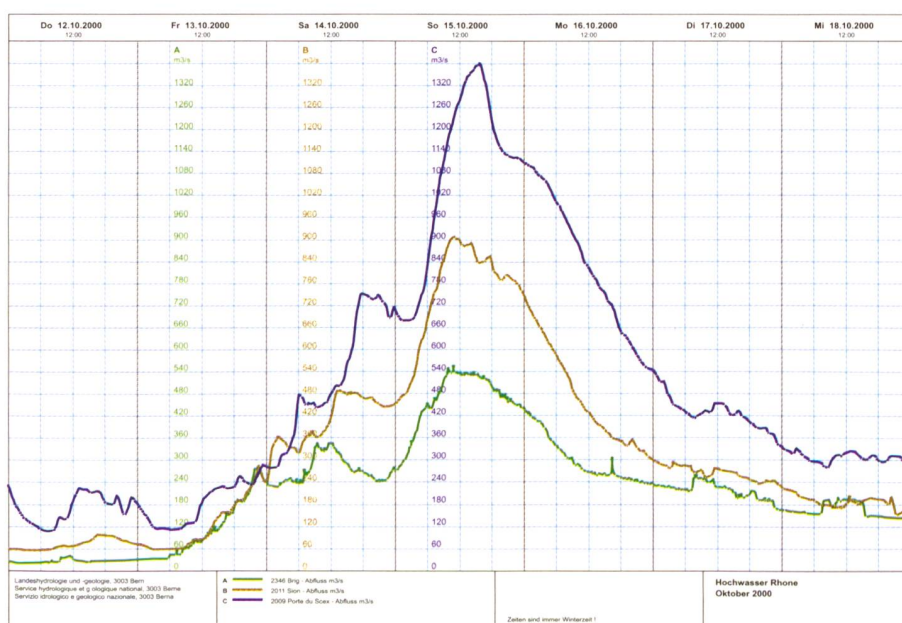


Bild 9. Hochwassersituation an der Rhone 14./15. Oktober 2000: Messwertaufzeichnung [m³/s] an den Stationen Brig (unten), Sion (Mitte) und Porte du Scex (oben).

6. Wasserstand und Abfluss

Das Abflussgeschehen widerspiegelt die meteorologische Situation: Spitzenwerte in den südseitigen Zuflüssen zur Rhone im Oberwallis und in der Drance im unteren Wallis. Als Folge davon: Hochwasser entlang des gesamten Rhonelaufes. Ebenso führten die Niederschläge im Tessin zu hohen Zuflussvolumen zum Lago Maggiore in relativ kurzer Zeit mit entsprechend schnellem Anstieg des Seespiegels und Überschwemmungen im Uferbereich.

6.1 Wallis

Im Wallis wurden an sieben Messstationen neue Höchstwerte seit Beobachtungsbeginn registriert, an zwei weiteren Stationen die zweithöchsten Werte (Tabelle 3). Obwohl bereits im Goms grosse Wassermengen anfielen (bis Reckingen maximal 560 l/skm²),

baute sich das eigentliche Hochwasser an der Rhone in den Einzugsgebieten zwischen Reckingen und Brig auf (maximaler Zufluss 630 l/skm²). Zum Spitzenwert in Brig (560 m³/s) haben das Goms (Station Reckingen), die Massa und die Saltina mit rund 120 m³/s etwa gleichviel beigetragen. Der grössere Teil dürfte aber aus dem Binntal stammen, wo in 3 Tagen 505 mm Niederschlag gemessen wurden (Tabellen 1, 2). 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.

Auf der Simplonsüdseite registrierte der Krumbach damals einen sehr hohen Wert. Noch deutlich höher war hier aber das Jahr 1972, und 1993 wurde die Station gar durch den Ausbruch des Sirwoltses vollständig zerstört.

Obwohl im Mittelwallis aus den Seitentälern ein deutlich weniger grosser Wasseranfall zu verzeichnen war (140 bis 190 l/s•km²), setzte sich das Hochwasser in der Rhone fort und führte auch an den Stationen Sion, Branson und Porte du Scex zu grossen Abflussspitzen. Diese liegen bei Sion und Branson in der Grössenordnung der bisherigen Höchstwerte von 1948. Bei Porte du Scex hingegen wurden die bisherigen Spitzenwerte von 1993 (1090 m³/s) und 1948 (1050 m³/s) mit 1390 m³/s um rund 25% übertroffen. Allerdings kam es 1948 zu beträchtlichen Überschwemmungen wegen Dammbürchen, sodass die verschiedenen Jahre nicht direkt vergleichbar sind.

Bei den Seitenzuflüssen fällt im aktuellen Fall der tiefe Wert der Vispa in Visp auf (200 m³/s), obwohl in Saas Balen die Saaser Vispa nach 1993 die zweithöchste Abflussspitze verzeichnete (110 m³/s). Hier wirkte sich aus, dass der Mattmarksee am 15. Oktober voll war und Wasser abgelassen werden musste. Der Stausee Dixence verfügte zum gleichen Zeitpunkt immer noch über ein beträchtliches Speichervolumen und konnte die Matter Vispa entlasten. Diese Wirkung der Kraftwerke wird Teil einer vertieften Studie im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie sein.

Im Unterwallis registrierte die Drance in Martigny einen neuen Höchstwert (180 m³/s), allerdings ist die Station erst seit 1991 in Betrieb. Eine alte Messreihe von 1907 bis 1914 am gleichen Standort weist mit 198 m³/s (1914) einen leicht höheren Wert aus. Aber auch die Auswertung der Daten der Rhonestationen zeigt, dass der spezifische Beitrag des unteren Wallis mit 275 l/s•km² grösser war als der des Mittelwallis (siehe auch Tabelle 2: Zermatt).

In den Ganglinien der Rhone ist der phasenweise Verlauf des Niederschlagsereignisses wiederzuerkennen (Bild 9). Das kurze Nachlassen am 14. Oktober 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. In Bezug auf die maximalen spezifischen Abflussmengen ist das Ereignis vom Oktober 2000 an den Stationen Brig (613 l/skm²) und Porte du Scex (266 l/skm²) das grösste je gemessene. Es ist dennoch nicht als extrem zu bezeichnen, denn es passt auf eine entsprechende Hüllkurve der Rhone-Einzugsgebiete (LHG, 1994). Betrachtet man eine längere Zeitperiode (Bild 10) fällt auf, dass es an der Rhone immer wieder grosse Hochwasser gegeben hat. Bei Porte du Scex sind Abflüsse über 1000 m³/s seit 1905 sechsmal aufgetreten. Selbst der Spitzenwert vom Ok-

tober 2000 steht nicht alleine da. Ohne die erwähnten Dammbürche wäre auch das Ereignis von 1948 in dieser Grössenordnung anzusiedeln. Wie die Grafik belegt, registrierte die Messstation in Sion für beide Ereignisse die gleichen Abflussmengen. Seit etwa 1935 sind die Abflüsse der Rhone zunehmend vom Kraftwerkeinfluss geprägt. In den Zeitreihen ist dies gut zu erkennen. Die mittleren jährlichen Hochwasserabflüsse sind seit 1960 deutlich kleiner als in der Zeitperiode zuvor.

6.2 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 wie oben angesprochen auf der Südseite des Simplon (Krumbach).

Im Verlaufe des Ereignisses stieg der Lago Maggiore in Locarno innert 5 Tagen um

Station	1993			2000		
	22. Sept.	23. Sept.	24. Sept.	13. Okt.	14. Okt.	15. Okt.
Bosco Gurin	117	133	177	162	118	97
Binn	84	110	161	226	179	99
Simplon	74	110	182	247	248	108
Zermatt	21	45	39	14	80	61
Evolène	11	33	7	29	76	32
Bourg-St.-Pierre	8	23	48	49	115	59
G. St. Bernard	22	48	48	50	119	75

Tabelle 1. Tagesniederschläge der Ereignisse im September 1993 und während der intensivsten Tage im Oktober 2000 vom Tessin bis zu den Südtälern im unteren Wallis.

Station	1 Tag		2 Tage		5 Tage	
	[mm]	Jahre	[mm]	Jahre	[mm]	Jahre
Bosco Gurin	162	5	280	15	505	150
Binn	226	>500	405	>>500	549	>>500
Simplon	248	230	495	>>500	679	>>500
Zermatt	80	20	141	80	166	60
G. St. Bernard	119	60	194	200	319	500
Evolène	70	>200	102	>200	134	>200

Tabelle 2. Im aktuellen Ereignis stärkste gemessene Niederschlagsmengen und ihre Wiederkehrperioden für die Dauern 1, 2 und 5 Tage (Zeller et al., 1980).

Station	beob. seit	höchster Wert Q [m ³ /s]	Jahr	HW Okt. Q [m ³ /s]	Datum 2000	Rang	1993	1987	1948
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
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-Martigny	1991	97	1994	180	15. 10.	1	85	–	–
Rhone-Porte du Scex	1905	1090	1993	1390	15. 10.	1	1090	1010	1050
Krumbach-Klusmatten	1952	30,5	1972	22		2	[50]*	14	–

Tabelle 3. Ausgewählte Messstationen: Abflussspitzen Oktober 2000 im Vergleich mit früheren Ereignissen.

*Schätzung

fast 4 m auf 197,58 m ü.M., 35 cm über den Stand von 1993, blieb damit andererseits aber noch 2,75 m unter der gemessenen Rekordmarke von 1868. Die Ursache für das jeweils starke Ansteigen des Lago Maggiore ist auf das ungünstige Verhältnis der Flächen des Einzugsgebietes und des Sees zurückzuführen, wodurch das Wasservolumen durch Starkniederschläge den Seeausfluss rasch übersteigt. Dieses Verhältnis 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 um 3,10 m. Beim Ansteigen des Sees auf die Kote vom 17. Oktober vergrössert der See seine Fläche um ca. 10%. In der Zeit vom 11. bis 17. Oktober sind dem See aus schweizerischen Einzugsgebieten im Mittel 1100 bis 1200 m³/s oder rund 700 Mio m³ Wasser zu-

geflossen. 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. Oktober mit 4200 m³/s. Die hydrologische Bedeutung liegt in der Dauer des Kern-Niederschlagsereignisses mit Niederschlagssummen über 700 mm (Bild 7). Dies vermochte zwar 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 bis 2 Tage zugeflossenen Volumina waren kleiner als 1993, über 3 Tage etwa gleich, über 4 bis 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 in mehreren

Schüben verlief (siehe auch Kapitel 4 und Grebner und Roesch, 1993; LHG, 1994). Am 24. September 1993, zu Beginn, sind dem See maximal gegen 8000 m³/s zugeflossen und haben einen Pegelanstieg von 1,65 m in 24 Stunden verursacht. Im Oktober des gegenwärtigen Jahres dürften es maximal 5500 m³/s gewesen sein.

Extreme Wasserstände sind für den Lago Maggiore nichts Aussergewöhnliches. Kein anderer Schweizer See zeigt so grosse Schwankungen. Die Kote von 196 m ü.M. wurde während der Beobachtungsperiode seit 1868 27-mal überschritten (Bild 11). Dazu kommt die Überlieferung weiterer 13 Beobachtungen aus der weiteren Vergangenheit, wovon diejenige von 1178 mit 203,67 m ü.M. alles überragt. Bedeutend waren aber auch die Ereignisse von 1640 (198,82 m ü.M.), 1705 (199,03 m), 1777 (198,57 m) und 1807 (199,28 m) (MeteoSchweiz, 2000). Aus extremwertstatistischer Sicht wird dem Ereignis vom Oktober 2000 denn auch nur eine Jährlichkeit von 40 Jahren zugeordnet.

Ausserhalb des Wallis und des Tessins verzeichneten in der Schweiz einzig noch die Lüttschinentäler ein Hochwasser. An den Stationen Gsteig (185 m³/s, beobachtet seit 1920) und Zweilütschinen (100 m³/s, seit 1933) wurden das grösste bzw. zweitgrösste Ereignis der Beobachtungsperiode registriert. Beide Werte liegen in der Grössenordnung der bisherigen Höchstwerte von 1948 bzw. 1933, aber deutlich über dem Ereignis von 1987.

7. Geomorphologische Aktivität

Die starken Regenfälle haben im gesamten Unwettergebiet (Wallis, Tessin, Piemont) eine ausserordentlich hohe geomorphologische Aktivität verursacht. Rutschungen und Hangmuren (auch Schlammströme genannt) einerseits sowie Murgänge und starker Geschiebetrieb in den grösseren Bächen und Flüssen andererseits waren direkt für die 16 Todesopfer im Wallis und für einen grossen Teil der Schäden verantwortlich. Etwas näher betrachtet zeigen sich allerdings grosse Unterschiede im räumlichen Auftreten und in der Art und Weise des Ablaufs der Gefahrenprozesse. Im Tessin entstanden die grössten Schäden vor allem durch den langsamen Anstieg des Pegels der grossen Flüsse und des Lago Maggiore. Es handelte sich um einen relativ «sanften» Prozess, der Sachschäden verursachte, vor dem Menschen und Tiere sich aber durch geeignete Massnahmen gut schützen konnten. Im Wallis, wie auch im Piemont, kam es infolge mangelnder Abflusskapazität einiger grosser Flüsse zu einer grossflächigen Überflutung (z.B. Rhone bei Martigny). Zusätzlich hat hier der lange Regen mit dem hohen Feuchteintrag in die Böden zu

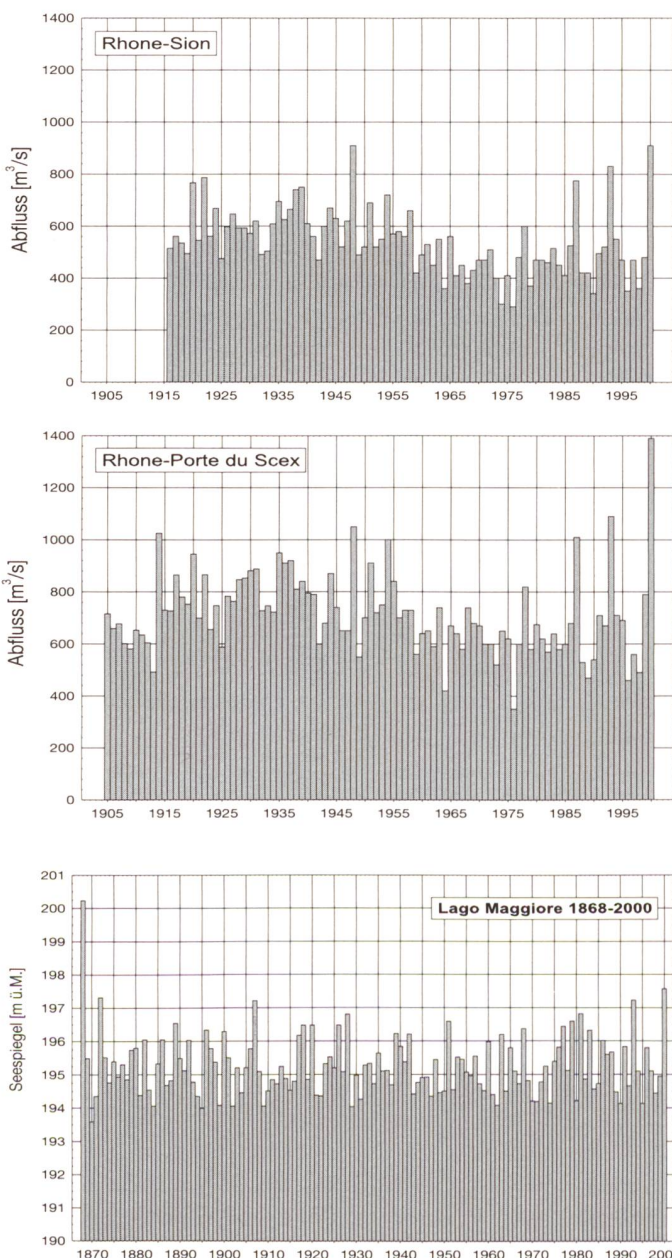


Bild 10.
Maximale jährliche Abflussspitzen der Rhone-Stationen Sion und Porte du Scex.

Bild 11.
Maximale jährliche Seestände des Lago Maggiore 1868–2000.

Station	beob. seit	Dimension	höchster Wert	Jahr	HW Okt.	Datum	Rang	1993	1987
Riale Pincascia-Lavertezzo	1993	m ³ /s	210	1993	65	13. 10.	7	210	–
Verzasca-Lavertezzo	1990	m ³ /s	720	1992	310	13. 10.	8	560	–
Riale Calneggia-Cavergho	1967	m ³ /s	105	1987	73	14. 10.	4	67	105
Maggia-Bignasco	1982	m ³ /s	650	1992	310	13. 10.	10	490	520
Maggia-Locarno	1970	m ³ /s	4500	1978	1140	13. 10.	13	1740	1800
Lago Maggiore-Locarno	1867	m ü.M.	200,23	1868	197,58	17. 10.	2	197,23	195,6

Tabelle 4. Ausgewählte Messstationen: Spitzenwerte Hochwasser Oktober 2000 im Vergleich mit bisherigen Werten.

deren Destabilisierung geführt. Vermutlich in den allermeisten Fällen hat aber erst ein in die langandauernden Niederschläge eingelagerter Schauer (Kapitel 4) zur Auslösung der schnellen, «brutalen» Prozesse geführt, welche hauptsächlich durch das mitgeführte Geschiebe die Todesopfer gefordert und die massiven Schäden verursacht haben.

7.1 Rutschungen und Hangmuren

Die kontinuierliche und langanhaltende Zufuhr von Wasser in den Boden hat die Disposition zu Hanginstabilität im Laufe der Unwetterphase langsam erhöht. An einzelnen Stellen in instabilen Hängen wurde die kritische Wassersättigung erreicht, sodass eine minimale Veränderung der Last auf den Boden (z.B. ein kurzfristiger Starkniederschlag) zu einem Anstieg des Porenwasserdrucks führte und irgendwo eine Bewegung einsetzte. Entsprechend einer positiven Rückkopplung, eines Selbstverstärkungseffekts, verursacht eine solche Bewegung eine Verkleinerung des Porenvolumens, welches wiederum den Porenwasserdruck schlagartig ansteigen lässt. So können sich innerhalb von Sekunden ganze Schuttpakete verflüssigen und mit grosser Geschwindigkeit talwärts fahren. Ein solcher Prozess hat sich vermutlich am 14. Oktober in Gondo abgespielt (Bild 12). Was dort die momentane Überlast verursacht hat, kann wohl nie mit absoluter Gewissheit rekonstruiert werden.

Ähnliche Phänomene wie in Gondo wurden zum Beispiel auch in zahlreichen Runsen an der Sackungsmasse unterhalb von Gräben festgestellt. In äusserst kleinen Einzugsgebieten von einer bis wenigen Hektaren haben sich Murgänge von einigen 100 m³ gebildet, welche die Strasse zwischen Stalden und St. Niklaus mehrfach unterbrochen haben.

Hangmuren fliessen in der Regel schnell. Die Prozesse spielen sich innerhalb von Sekunden ab. Einer Explosion ähnlich, setzt sich das Material in Bewegung. Durch das mitgeführte Geschiebe und die Blöcke können sie ausserordentlich zerstörerisch sein, wie das Beispiel von Gondo zeigte.

7.2 Murgänge

Im Oberwallis sind in vielen Einzugsgebieten von 1 bis 10 km² Grösse aus unterschiedlichen Gründen Murgänge entstanden. Der verheerende Murgang, welcher die Gebäude in Neubrück zerstört und zwei Personen in den Tod gerissen hat, wurde wahrscheinlich durch eine Verklausung im Beiterbach ausgelöst. Im Lüeggelbach (Zermatt), im Sparruzug und im Blattbach (St. Niklaus) oder im Meretschibach (Agarn) haben sich Murgänge in einer Grössenordnung von einigen tausend bis etwa 20 000 m³ ereignet. In diesen Fällen dürften die Murgänge durch eine plötzliche Mobilisierung von Geschiebedepots im Gerinne entstanden sein. Im Meretschibach wurde das Gerinne auf dem Kegel infolge einer Verstopfung aufgefüllt, die Geschiebeabflüsse sind gegen links ausgebrochen und in mehreren Schüben bis in die Siedlung geflossen (Bild 13). Der Murgang aus dem Lueggelbach hat mit seinem Geschiebe die Matternvispa aufgestaut.

Erstaunlicherweise haben viele bekannte Murgangerinne (z.B. Zimmermann et al., 1977) in der Nachbarschaft der oben erwähnten Bäche kaum Aktivität gezeigt. In den rechten Seitenbächen der Matternvispa (z.B. Dorfbach, Birchbach oder Ritigraben) wurde nur minimale Aktivität festgestellt. Auch im Illgraben, der für seine häufigen und sehr grossen Murgänge bekannt ist, sind nur unbedeutende Ereignisse abgelaufen. Im benachbarten Meretschibach hat dagegen der oben erwähnte Murgang grossen Schaden verursacht.

7.3 Geschiebeverlagerung

In mehreren grösseren Bächen und Flüssen haben der Transport und die Ablagerung von Geschiebe während des Hochwassers zu Problemen geführt. So hat beispielsweise am Sonntagmorgen (15. Oktober) in der Lonza in sehr kurzer Zeit die Mobilisation von Geschiebe aus der Sohle zwischen dem Staubecken Ferden und Gampel/Steg eingesetzt. Im kanalisierten Gerinne im Bereich der Siedlung ist es in der Folge zu Ablagerungen gekommen. Ohne die temporären Schutzmassnahmen (Dammbalken bei der Dorfbrücke

und Überleiten des Abflusses über die Brücke) sowie kontinuierliches Baggern oberhalb und unterhalb der Brücke wäre es in den Dörfern von Gampel und Steg zu einer Überflutung und zu Geschiebeablagerungen gekommen, eventuell vergleichbar mit der Situation in Baltschieder. Während und nach dem Hochwasser hat man etwa 24 000 m³ Material aus der Lonza gebaggert. Ein unbekanntes Volumen ist während des Ereignisses zusätzlich in die Rhone gelangt.

Im Baltschiederbach war die Transportkapazität des Gerinnes auf dem Kegel sofort überlastet. Mehr als 150 000 m³ Geschiebe sind aus dem Gerinne ausgebrochen und haben auf dem kleinen Kegel von Baltschieder viele Häuser vollständig eingeschottert. Ähnlich wie dies bei den Murgängen beobachtet wurde, sind auch beim Geschiebetransport der Wildbäche grosse Unterschiede in der Aktivität festgestellt worden. So haben etwa die beiden Nachbarbäche des Baltschiederbachs, der Jolibach und der Bietschbach, nur unbedeutende Geschiebemengen in die Talsohle transportiert.

Gemäss den Angaben vom Kraftwerk Lötschen sind auf der anderen Seite des Baltschieder-Einzugsgebiets, nördlich der Bietschhornkette, beträchtliche Geschiebemengen durch die Lonza in das Staubecken Ferden gelangt. Auch die Rhone hat ihr Bett während des Hochwassers durch Geschiebeablagerungen wesentlich verändert. So sind zum Beispiel bei der Messstelle Brig etwa 1,5 m Auflandung festgestellt worden.

7.4 Fragen zu Vorhersagbarkeit und Warnung

Unmittelbar nach den Ereignissen wurde in den Medien die Frage nach der Vorhersehbarkeit von gefährlichen Prozessen, der Möglichkeit der Warnung und damit letztlich auch die Frage nach der Verantwortung für Schäden und Todesopfer diskutiert. Die Ereignisse von Mitte Oktober 2000 zeigen sehr deutlich auf, welche Schwierigkeiten bei der Beantwortung dieser Fragen bestehen.

Rutschungen, Murgänge und intensivster Geschiebetransport sind nach wie vor schwer voraussagbare Phänomene. Zwar ist man sich einig, dass den Schlammstrom von Gondo und seine dramatischen Auswirkungen vor dem 14. Oktober wohl niemand in dieser Art vorausgesagt hätte. Jedoch liegt der theoretische Hintergrund heute vor, mit dem Murgänge wie beispielsweise im Meretschibach, im Lüeggelbach oder die Verhältnisse in der Lonza der Disposition nach abschätzbar und generell vorhersehbar sind. In der Lonza beispielsweise hat man das Schutzdefizit erkannt und im Frühjahr 2000 entsprechende Massnahmen gebaut bzw. vorbereitet.

Viel schwieriger ist jedoch auch in solchen Fällen die Frage nach dem «Wann?» zu beantworten. Zum einen ist es eine Frage der Wiederkehrdauer: innerhalb eines Jahres ein-

mal oder innerhalb von 30 bis 100 Jahren einmal. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich für die Vorhersage während des unmittelbaren Ablaufs eines solchen Unwetters, insbeson-

dere bei der Betrachtung des Niederschlags (Kapitel 1 und 4). Bereits am Samstagnachmittag, 14. Oktober, wusste man, dass die Disposition für Rutschungen oder Hangmuren extrem hoch war. Ob überhaupt, wann und wo genau in einem Hang eine Rutschung auftreten wird, bleibt aber einer Vorhersage praktisch verschlossen.

Es ist auch kaum vorhersehbar, ob eine Hangrutschung als relativ langsamer Prozess ablaufen oder ob sich das Material vollständig verflüssigen und damit eine wesentlich grössere Reichweite und Schadenwirkung aufweisen wird.

Auf ähnliche Probleme stösst man bei der Vorhersage der Prozesse in den Gerinnen: Die Beispiele von Meretschibach und Illgraben einerseits und von Baltschiederbach und Bietschbach andererseits belegen, dass bei ähnlichen hydrologischen und hydraulischen Voraussetzungen nicht vergleichbare Prozesse ablaufen, d.h. es besteht kein einfacher Zusammenhang zwischen dem Niederschlag, den Abflüssen im Gerinne und der Auslösung von gefährlichen Prozessen, besonders bei extremen Ereignissen. Die Unterschiede der Aktivität widerspiegeln aber auch die grossen Unterschiede in der räumlichen Verteilung des Regens innerhalb des Schandengebiets und die zeitliche, meist kleinräumige Variabilität der Niederschlagsintensitäten (Kapitel 4).

Das Erfassen dieser Variabilitäten, der Variabilität der Vorgeschichte (Feuchte im Boden) und der geotechnischen Unterschiede in Hängen oder in einem Bachbett wäre eine notwendige Bedingung für präzisere Voraussagen (Gamma und Zimmermann, 1999). Man ist jedoch nicht in der Lage, das Niederschlagsgeschehen räumlich genügend aufzulösen.

Dies gilt insbesondere für das Wallis, wo beispielsweise Aussagen des Niederschlagsradars auf Grund der grossen Abschattung durch hohe Bergketten kaum brauchbar sind.

Trotz diesen vielen Unwägbarkeiten haben die Krisenstäbe der Kantone Tessin und Wallis und der betroffenen Gemeinden ausserordentlich gute Arbeit geleistet. Im Sinne eines integralen Risikomanagements können, wo nötig, aus diesen Ereignissen für die Katastrophenbewältigung die notwendigen Lehren gezogen werden.

Mittels einer guten Gefahrenbeurteilung, z.B. der Erstellung von Gefahrenkarten, wie sie im Wallis in verschiedenen Gemeinden im Gange ist, können die Fragen nach dem «Wo?» und «Wieviel?» für weitere Regionen beantwortet werden. 100% Sicherheit wird es aber nie geben, auch wenn man sehr detailliert untersucht und misst.

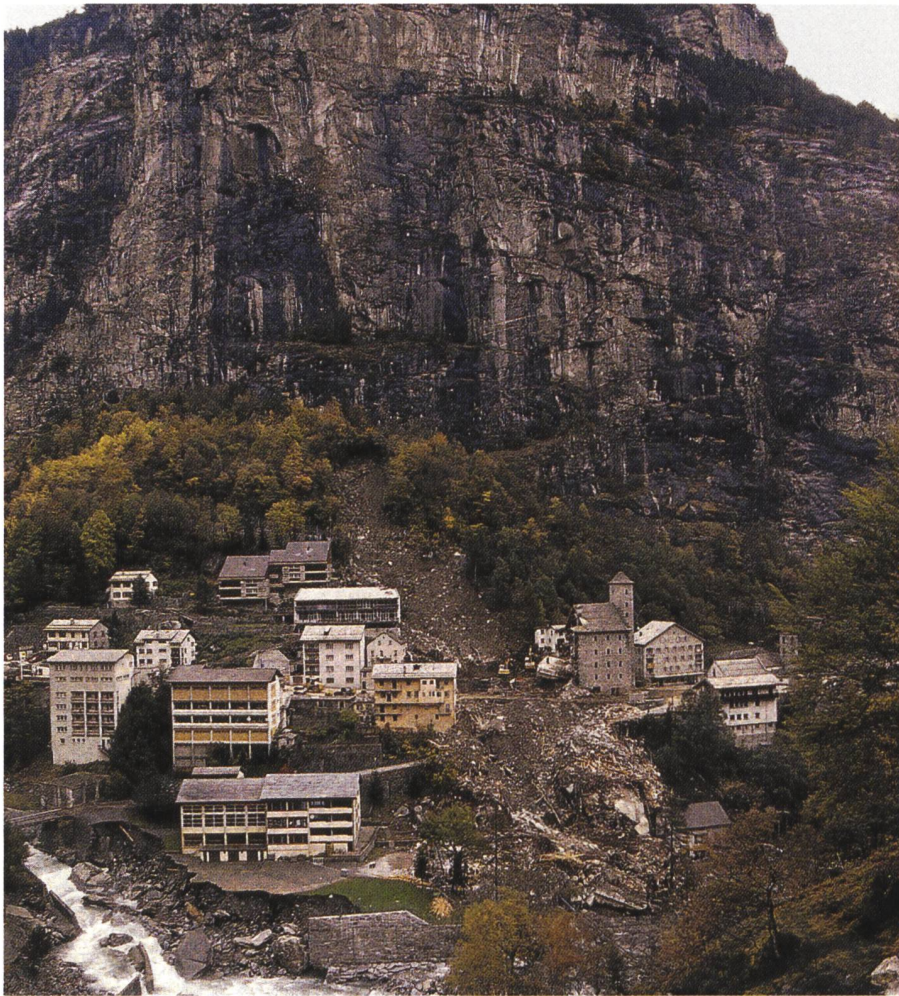


Bild 12. Gondo: Aus einer kleinen Rutschung über dem Dorf hat sich eine Hangmure entwickelt, die mit grosser Wucht in die Häuser von Gondo gefahren ist (Foto: RDB/Schweizer Illustrierte/Hug, Karl-Heinz).



Bild 13. Meretschi: Murgang im Meretschibach. Das Gerinne auf dem Kegel wurde aufgefüllt. Einige Murschübe sind ausgebrochen und haben Teile des Dorfes Agarn verwüstet (Foto: M. Zimmermann, 17. Oktober 2000).

8. Ereignis und Klimaänderung

Es wird allgemein wenig verstanden, wenn von Seiten der Klimaforschung extreme Ereignisse wie im vorliegenden Fall nicht als Folge der Klimaveränderung identifiziert werden. Die Diskussion dieser vielfältig gestellten Frage wird klarer, wenn man bei den Klimaparametern zwischen physikalischen Grundgrößen und Prozesssystemen unterscheidet. Physikalische Grundgrößen, wie z.B. die Temperatur, lassen sich an Messstationen erfassen, als Zeitreihe aufzeichnen und darin eventuell systematische Veränderungen feststellen. Auf diese Weise zeigt sich, dass sich die Konzentration der Treibhausgase und die Temperatur gleichgerichtet verändern, d.h. steigen. Daraus wird auf eine anthropogene Klimaveränderung geschlossen.

Prozesssysteme wie Tiefdruckgebiete und ihre Niederschlagsleistung sind Abbauvorgänge instabiler Zustände in der Atmosphäre einschliesslich spezifischer Einwirkungen von der Erdoberfläche, z.B. von Gebirgen. Auch Prozesssysteme lassen sich nach regionaler Häufigkeit und Intensität, in Form von Niederschlag oder Wind, zählen und in ihren Zeitreihen gegebenenfalls Trends feststellen. Aber es ist nicht möglich zu entscheiden, ob ein bestimmtes Ereignis überhaupt oder in einer bestimmten Stärke und am betroffenen Ort auch ohne die bei der Temperatur festgestellte Klimaveränderung aufgetreten wäre. Dies gilt auch für den 9. bis 16. Oktober in diesem Jahr.

Ausserdem ist bei Prozesssystemen gegenwärtig noch kaum zu trennen, inwieweit ein extremes Ereignis und Häufungen davon in einer Region zur stets vorhandenen Klimavariabilität gehören oder Folge der als anthropogen verstandenen Klimaveränderung sind. Diese Problematik wird durch die Tatsache verdeutlicht, dass in der dokumentierten Vergangenheit z.B. im Alpenraum immer wieder Jahrzehnte mit gehäuften Extremen auftraten, so z.B. vor rund hundert Jahren. Es finden sich auch Einzelereignisse, welche die jüngsten Unwetter übertreffen (siehe Kapitel 6); im wohl herausragendsten bekannten Fall in ganz Mitteleuropa im Jahr 1342.

Literatur

- Aschwanden, H.*, 2000: Hochwasser 1999 – Analyse der Messdaten und statistische Einordnung. Hydrologische Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 28, 116 S. mit Anhang.
- BWG, 2000: Hochwasser 1999 – Analyse der Ereignisse. Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG, Studienbericht 10/2000, 148 S. mit Anhang.
- Gamma, P.*, and *Zimmermann, M.*, 1999: The use of rainfall radar for geomorphic studies. In: C.G. Collier (ed.): EUR 18567 – COST 75 – Advanced Weather Radar Systems – International seminar, EC Luxembourg, S. 348–356.
- Grebner, D.*, 1993: Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993. «wasser, energie, luft», 86. Jg., Heft 1/2, S. 41–44.
- Grebner, D.*, und *Roesch, Th.*, 1993: Analyse der Niederschläge während des Unwetters im Tessin, September/Oktober 1993. Analyse im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 9 S.
- Grebner, D.* und *Roesch, Th.*, 1998: Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte in der Schweiz. Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 189 S.
- Kappenberger, G.*, 2000: Persönliche Mitteilung, MeteoSchweiz.
- 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 Hochwasserservorhersage im Kanton Wallis. Geografisches Institut, Abteilung Hydrologie, ETH Zürich, 75 S.
- LHG, 1994: Die Hochwasser 1993 im Wallis und im Tessin. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr. 19, 65 S. mit Anhang.
- Luder, B.*, 1999: Die Landeshydrologie und -geologie im World Wide Web. In: Nouvelles, Nr. 99/2: 8–9, Landeshydrologie und -geologie. MeteoSchweiz, 2000: L'alluvione dell'ottobre 2000 (Internet).
- Regione Piemonte, 2000: Rapporto sull'evento alluvionale del 13–16 ottobre 2000. Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione. 81 S.
- SLF/WSL, 2000: Mitteilungen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, vom 11. und 16. Oktober 2000.

SMA, 1993: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen, 3. und 4. Quartal (heute MeteoSchweiz).

Spinedi, F., *Kappenberger, G.*, e *Sartori, S.*, 1993: Le alluvioni del settembre – ottobre 1993 sul Versante sualpino. Istituto svizzero di meteorologia, 10 Seiten und Anhang.

Zeller, J., *Geiger, H.*, und *Röthlisberger, G.*, 1980: Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Band 5. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf.

Zimmermann, M., *Mani, P.*, *Gamma, P.*, *Gsteiger, P.*, *Heiniger, O.*, *Hunziker, G.*, 1997: Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. NFP31 Schlussbericht. Vdf Verlag, Zürich.

Dank

Für Analysen ist stets ein Umfeld entscheidend. Unser Dank richtet sich diesbezüglich – wie schon oft – an die MeteoSchweiz. Gleichermassen danken wir verschiedenen Verantwortlichen im Wallis sowie Prof. H. Kienholz für engagierte Anregungen und Kritik zu verschiedenen Teilen des Berichtes.

Adressen der Autoren

Dr. *Hugo Aschwanden*, Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-3003 Bern.

Dr. *Dietmar Grebner*, Mitglied der Konferenz für Hochwasserschutz im SWV, Institut für Klimaforschung ETHZ, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich.

Urs Steinegger, dipl. Natw., Meteodat GmbH, Technoparkstrasse 1, CH-8005, Zürich.

Dr. *Markus Zimmermann*, Geo7 AG, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern.