Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio

Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 19

Die Hochwasser 1993 im Wallis und Tessin

Messdaten und ausgesuchte Auswertungen

Bern, 1994

Herausgabe und Vertrieb:
Edition et distribution:

Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern
Service hydrologique et géologique national, 3003 Berne

Vorwort

Die Bilder der in Geröll und Sand versinkenden Stadt Brig, der teilweise verwüsteten Seitentäler im Wallis und im Tessin wie auch der vom Lago Maggiore überfluteten Stadt Locarno sind via Fernsehen um die halbe Welt gegangen. Solche Ereignisse lösen jeweils zahlreiche Untersuchungen über die Ursachen und Folgen wie auch über Massnahmen zur Verminderung der Schäden aus. Die Landeshydrologie und -geologie ist deshalb auch diesmal bemüht, die hydrologische Basisinformation rasch aufzubereiten und zusammen mit ersten Analysen allen zugänglich zu machen.

Die vorliegende Publikation wurde von zahlreichen Mitarbeitern aus der Abteilung Hydrologie erarbeitet. Unter der Leitung von Dr. Bruno Schädler beteiligten sich: Dr. Hugo Aschwanden, Rolf Bigler, Christian Koch, Dr. Christoph Lehmann, Beat Sigrist sowie Therese Bürgi, François de Montmollin und Pietro Notari.

Eidgenössischen und kantonalen Behörden sowie verschiedenen privaten Gesellschaften möchten wir herzlich dafür danken, dass sie uns Daten und unveröffentlichte Berichte zur Verfügung gestellt haben.

Landeshydrologie und -geologie
Der Direktor

Prof. Dr. Ch. Emmenegger

Inhaltsübersicht

	Seite
Zusammenfassung	7
Résumé	8
Riassunto	9
Summary	10
Verzeichnis der Abbildungen	11
Verzeichnis der Tabellen	12
1. Einleitung	13
2. Die Wetter- und Niederschlagssituation im September und Oktober	15
3. Das Stationsnetz der Landeshydrologie und -geologie	21
4. Die Hochwasser im Wallis vom 24./25. September	23
4.1 Ganglinien der Hochwasser im Wallis	24
4.2 Hochwasserspitzen	28
4.2.1 Messdaten	28
4.2.2 Datengüte	33
4.2.3 Hochwasserstatistik	37
4.3 Abflussvolumen	41
4.4 Feststoffe	43
4.4.1 Datengrundlage	43
4.4.2 Schätzungen aus Einzugsgebieten	43
5. Die Hochwasser im Tessin im September und Oktober	49
5.1 Lago Maggiore: Ganglinien der Zuflüsse, des Abflusses und des Seestandes	49
5.2 Hochwasserspitzen	52
5.2.1 Messdaten	52
5.2.2 Datengüte	55
5.3 Wasserhaushalt des Lago Maggiore und seiner Einzugsgebiete	59
5.4 Feststoffe	63
6. Quellenangaben	65
Anhang	

Zusammenfassung

Intensive und langanhaltende Niederschläge am 22.-24. September 1993 in den südlichen Seitentälern des Oberwallis und im Tessin waren der Auftakt zu einer Reihe von Hochwassern mit zum Teil verheerenden Schäden. Im Wallis waren insbesondere die Stadt Brig und das Saastal betroffen. Mit weiter anhaltenden ergiebigen Regenfällen bis Mitte Oktober wurden im Tessin die Siedlungen rund um den Lago Maggiore überflutet und in vielen Seitentälern, insbesondere im Bleniotal, wurden lokal grössere Schäden - wie etwa in Biasca - angerichtet.

In der vorliegenden Publikation werden die hydrologischen Beobachtungen während dieser Zeit und in der betroffenen Region dargestellt und analysiert. Die präsentierten Daten sollen den interessierten Stellen als Grundlage für weiterführende Arbeiten dienen.

Ausgehend von einer Beschreibung der Niederschlagsverhältnisse werden getrennt für die Gebiete Wallis und Tessin die im Messnetz der Landeshydrologie und -geologie erfassten Daten analysiert. Numerische und graphische Darstellungen der Ganglinien von Abfluss und Wasserstand erlauben eine detaillierte Analyse des Hochwasserverlaufes. Sie sind auch Grundlage zur Berechnung der Hochwasservolumen. Den Hochwasserspitzen wird ein besonderes Gewicht beigemessen: Neben den eigentlichen Messdaten werden auch extremwertstatistische Analysen präsentiert. Eine Diskussion der Datengüte ermöglicht eine Einschätzung der Aussagekraft der einzelnen Messungen. In einem weiteren Kapitel finden sich Angaben über die beobachteten Feststoffablagerungen. Quellenangaben auch über nicht öffentlich zugängliche Berichte runden die Publikation ab. Im Anhang sind für ausgewählte Messstationen in graphischer Form die Zeitreihen der jährlichen Hochwasser und die entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen beigefügt.

Résumé

Du 22 au 24 septembre 1993, des précipitations de forte intensité et de longue durée, sont tombées dans les vallées latérales du haut Valais méridional ainsi qu'au Tessin. Ces précipitations ont déclenché une série de crues, dont certaines particulièrement dévastatrices. Au Valais ce sont surtout la ville de Brigue et la vallée de Saas qui furent touchées. A cause de la prolongation anormale de ces pluies jusqu'à la mi-octobre, des zones d'habitation situées autour du lac Majeur furent inondées et des dégâts considérables ont été causés dans des vallées latérales. Le val Blenio a été particulièrement touché et des dégâts très importants y ont été localement causés, comme à Biasca par exemple.

La présente communication a pour but de présenter et analyser les observations hydrologiques relevées dans la région, pendant cette période. Les observations pourront aussi être utilisées, par les services intéressés, comme donées de base pour des études complémentaires.

A partir d'une description des conditions météorologiques ayant provoqué ces précipitations, les données recueillies à l'aide du réseau du Service hydrologique et géologique national ont été analysées séparément dans les parties valaisanne et tessinoise. Les hydrogrammes des débits et de niveaux, donnés sous forme numérique et graphique, permettent une analyse détaillée du déroulement des crues ainsi que le calcul du volume d'eau écoulé. Un accent particulier a été mis sur les pointes de crue: en plus des valeurs mesurées, une analyse statistique des valeurs extrêmes a été réalisée. Un examen critique de la qualité des données permet d'apprécier l'importance et le poids de chaque mesure. Un chapitre est consacré aux observations du transport solide. Des indications sur les sources d'information relatives à des rapports non accessibles au public complètent cette publication. En annexe se trouvent sous forme graphique les séries chronologiques des crues annuelles des stations concernées ainsi que les fonctions de distribution probabilistes correspondantes.

Riassunto

Le pioggie intense e di lunga durata dal 22 al 24 settembre 1993 furono all'origine delle piene che causarono danni disastrosi nelle valli meridonali del Cantone Vallese e nelle valli del Cantone Ticino. Nel Cantone Vallese furono danneggiate soprattutto la città di Briga e la valle di Saas. Pioggie abbondanti e continue che durarono fino alla metà di ottobre inondarono i villaggi attorno al lago Maggiore. In parecchie valli, soprattutto in Val Blenio, si registrarono importanti danni, come per esempio a Biasca.

Partendo dalla descrizione delle precipitazioni sono state analizzate separatamente le registrazioni ottenute nelle regioni vallesane e ticinesi delle stazioni di misurazione del Servizio idrologico e geologico nazionale. La raffigurazione numerica e grafica delle curve dei deflussi e dei livelli d'acqua permette un'analisi dettagliata delle portate. Quest'ultime servono pure come base di calcolo della quantità d'acqua delle portate massime. Un'importanza particolare va alle punte delle portate massime: accanto ai dati effettivamente misurati sono rappresentati i valori estremi delle analisi statistiche. Una discussione in rapporto alla qualità dei dati permette una valutazione del significato delle singole misurazioni. In un seguente capitolo si trovano le indicazioni che riguardano le osservazioni sulle portate di materiale solido. La pubblicazione fornisce informazioni sulle fonti di rapporti non accessibili al pubblico. Nell'appendice, per le stazioni di misurazione situate nelle regioni colpite dalle piene, sono state aggiunte sotto forma di grafico le serie cronologiche delle piene annue e le loro probabili ripartizioni nel tempo.

Summary

Intensive and persistent precipitations in the period of 22-24 september 1993 are the start for a series of disastrous floods in the southern side valleys of the upper Wallis and in the Tessin, which is situated at the southern part of the Alps. In the Wallis, mainly the small town of Brig and the Saas-valley are affected. In the Tessin villages and settlements around Lake Maggiore are flooded as a result of persistent and extensive rainfalls until mid of october. Locally heavy damages are observed in many side valleys, mainly in Val Blenio.

In this publication hydrological observations in the two regions concerned are presented and analysed for this period. This material may be used by interested people as a basis for further studies.

First the meteorological situation and the distribution of precipitations are described. Separately, for the Wallis and the Tessin, data from measuring networks of the Swiss National Hydrological and Geological Survey are analysed. Data of water level and discharge, which are presented numerically and as graphs, are the basics for further analysis of the flood events. Peak discharges are of special interest: besides measured data, results of flood frequency analysis are presented as well. Discussions of data quality shall enable the user to judge the validity of the single measuring data.

In a further chapter indications on sediment transport are given. A list of sources - published and unpublished - concludes the publication. The appendix graphically presents time series of yearly floods and flood frequency curves for selected stations.

Verzeichnis der Abbildungen

		Seite
Abb. 1:	Tägliche Niederschläge und aufsummierte Werte an den Stationen Frasco (Verzascatal) und Locarno-Monti.	17
Abb. 2:	Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre gemessen mit den Radiosondenaufstiegen von Mailand und Payerne.	17
Abb. 3:	Ausschnitt aus der Originalaufzeichnung des Pluviographen in Camedo vom 22.9.1993.	18
Abb. 4:	Niederschlagsverteilung im Tessin für 3 Zeitperioden:	
	a) 22.-24. 9.1993;	18
	b) 11.-14.10.1993;	19
	c) 1.9.-31.10.1993	19
Abb. 5:	Messstellenkarte der Abfluss- und Wasserstandstationen sowie der Hochwassergrenzwertpegel der Landeshydrologie und -geologie.	21
Abb. 6:	Originalaufzeichnung der Hochwasserganglinie vom 23.-25. September 1993 an der Station Rotten-Brig der Landeshydrologie und -geologie.	25
Abb. 7:	Hochwasser-Abflussganglinien der Stationen an den Seitengewässern und entlang der Rhone.	26
Abb. 8:	Entwicklung der Abflussspenden während des Hochwassers vom 24./25.9.1993 in den Einzugsgebieten der Seitengewässer und in den Teileinzugsgebieten der Rhone.	27
Abb. 9:	Jahreshochwasser ausgewählter Stationen im Einzugsgebiet der Rhone.	30
Abb. 10:	Höchste beobachtete Abflussspenden im Rhoneeinzugsgebiet in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse.	31
Abb. 11:	Jahreshochwasser und Frequenzdiagamme der Station Saaser Vispa-Saas Balen 1956-93.	39
Abb. 12:	Schwellenwertdarstellung monatlicher Hochwasser > HQ100 im Einzugsgebiet der Rhone.	40
Abb. 13:	Murgangaktivität und der dadurch verursachte Materialeintrag in die Matter und Saaser Vispa	45
Abb. 14:	Spezifische Feststofffrachten der Ereignisse 1993 in den Einzugsgebieten im Wallis und Tessin.	48
Abb. 15:	Hochwasser im Lago Maggiore: Verlauf des See-Wasserstandes, der Summe aller Zuflüsse und des Seeabflusses.	50
Abb. 16:	Lago Maggiore: See-Wasserstand, Summe der Zuflüsse aus der Schweiz, Summe aller übrigen Zuflüsse und Seeabfluss (Tageswerte).	51
Abb. 17:	Höchste beobachtete Abflussspenden im Einzugsgebiet des Ticino in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse.	53
Abb. 18:	Zeitreihe der Jahreshochwasser am Pegel Lago Maggiore - Locarno	55
Abb. 19:	Feststoffführende Wildbäche im Tessin	64

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tab: 1:	Einzugsgebietsparameter für die diskutierten Einzugsgebiete im Wallis.	23
Tab. 2:	Übersicht über die Hochwasserabflüsse vom 24./25.9.1993 und die Hochwasserstatistik im Einzugsgebiet der Rhone.	29
Tab. 3:	Berechnete Abflüsse aus Beobachtungen an den Hochwassergrenzwertpegeln im Einzugsgebiet der Rhone.	32
Tab. 4:	Vergleich von Abflusswerten mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren hergeleitet aus verschiedenen Beobachtungsperioden.	38
Tab. 5:	Gemessene mittlere Tagesabflüsse während des Hochwassers vom 22.-27.9.1993 im Wallis.	42
Tab. 6:	Gemessene Gesamtabflussvolumen sowie berechnete Basisabfluss- und Direktabflussvolumen während des Hochwasserereignisses vom 22.-27.9.1993 im Wallis.	42
Tab. 7:	Feststoffkubaturen der Ereignisse vom 24. September 1993 im Wallis.	44
Tab. 8:	Einzugsgebietsparameter für die diskutierten Einzugsgebiete im Tessin.	49
Tab. 9:	Übersicht über die Hochwasserabflüsse bzw. Wasserstände 1993 und die Hochwasserstatistik im Einzugsgebiet des Ticino.	52
Tab. 10:	Berechnete Abflüsse aus Beobachtungen an den Hochwassergrenzwertpegeln im Tessin.	54
Tab. 11:	Tägliche Werte von Zufluss, Abfluss und Volumenänderung des Lago Maggiore in den Monaten September und Oktober.	
	a.) September	60
	b.) Oktober	61
Tab. 12:	Wasserbilanz in den Einzugsgebieten Ticino bis Bellinzona, Verzasca bis Lavertezzo und Maggia bis Locarno für 3 Zeitperioden.	62
Tab. 13:	Feststoffkubaturen in den betroffenen Einzugsgebieten des Tessin.	63

1. Einleitung

Anhaltende, intensive Niederschläge haben am Nachmittag und am Abend des 24. September 1993 zu einer Hochwasserkatastrophe im Gebiet des Oberwallis, des Simplons und des Saastales geführt. In der Stadt Brig uferte die Saltina aus und deponierte Sand und Geschiebe meterhoch auf den Strassen und Plätzen und in den angrenzenden Häusern. Im Saastal und im Simplongebiet wurden Strassen und Brücken weggerissen und Häuser stark beschädigt. Weiter talabwärts führte die Rhone Hochwasser, zeitweise bestand die Gefahr, dass sie ausuferte.

Dieses Unwetter, welches auch verschiedene Täler im Tessin und im angrenzenden Italien in Mitleidenschaft zog, war nur der Auftakt zu einer ganzen Periode extrem regnerischen Wetters im Tessin. Im September und bis in die zweite Hälfte des Monats Oktober regnete es mit kurzen Unterbrüchen intensiv im ganzen Tessin. In der Folge führten die Flüsse über lange Zeit Hochwasser und der Seespiegel des Lago Maggiore stieg mit kleinen Unterbrüchen bis zu einer neuen Jahrhundertrekordmarke an. Die Ortschaften rund um den See wurden vom Wasser überflutet, viele Verkehrsverbindungen waren längere Zeit unterbrochen und auch Kulturland wurde unter Wasser gesetzt. Durch Hochwasser und Murgänge wurden verschiedene Täler betroffen, insbesondere auch das Bleniotal. Im Tessin und im Wallis waren Todesopfer zu beklagen. Die Schäden an Hab und Gut, an Häusern und Infrastrukturanlagen gehen in die Hunderte von Millionen. Auch die wirtschaftlichen Schäden zum Beispiel im Tourismus und in der Landwirtschaft waren enorm.

Wie sind diese Ereignisse aus hydrologischer Sicht einzuordnen? Um dieser Frage nachgehen zu können, werden in dieser Publikation die Messdaten aus den Messnetzen der Landeshydrologie und -geologie in aufbereiteter Form präsentiert, analysiert und diskutiert. Die Daten werden mit den langjährigen Messreihen verglichen und in den Zusammenhang mit den meteorologischen Verhältnissen, insbesondere mit dem Niederschlagsgeschehen, gestellt. Es wurde auch versucht, unmittelbar nach dem Ereignis Informationen über den Feststofftransport und die Feststoffablagerungen zu sammeln und auszuwerten.

Die nachfolgend präsentierten Daten und Ergebnisse sollen allen Interessierten eine Basisinformation zum Hochwassergeschehen 1993 sein, ihnen Anregungen für weiterführende Arbeiten geben und auch mit den Quellenangaben eine Hilfe bieten, um zu weiterführenden detaillierteren Daten zu gelangen.

2. Die Wetter- und Niederschlagssituation im September und im Oktober

Die generelle meteorologische Situation war über die beiden Monate geprägt von einer Tiefdrucklage über Westeuropa und Teilen des Mittelmeerraumes mit häufig über das Alpengebiet ziehenden Störungszonen. Dadurch bildeten sich mehrere aufeinanderfolgende Süd- bis Südwestlagen über den Alpen mit ausserordentlich ergiebigen Stauniederschägen und relativ hoher Nullgradgrenze im Tessin.

Dem "Witterungsbericht" der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt ist der nachstehende, für die Hochwasser bedeutsame Teil des Witterungsablaufs entnommen:

September:

1.-06. Nach Abbau eines flachen Hochdruckausläufers steuert ein Skandinavientief einen Schub Polarluft nach Mitteleuropa. Dann zieht ein Hochdruckausläufer über das nördliche Mittelmeer ostwärts. Ziemlich kühl.

7.-10. Ein Tief liegt südwestlich von Irland und steuert feuchte Warmluft zu den Alpen. Wärmer. Im Westen und Süden teils ergiebige Niederschläge und auch zahlreiche Gewitter.

11.-16. Nach kurzer Beruhigung zieht ein neues Tief zur Bretagne und über den Kanal nach Dänemark. In der Westschweiz und im Tessin ergiebige Niederschläge. Zuerst mit Föhn sehr warm, ab 13. Temperaturrückgang.

17.-21. Ein Hoch zieht von der Nordsee nach Osteuropa. Ein Tief bei England verursacht eine Südwestlage. Kräftiger Temperaturanstieg.

22.-26. Ein ausgeprägter Tiefdrucktrog liegt über Westeuropa. Auf seiner Vorderseite zieht ein Randtief vom westlichen Mittelmeer über die Alpen nach Dänemark. Ergiebige Niederschläge auf der Alpensüdseite, ab 25. Abkühlung.

27.-30. Ein neues Tief zieht über die Alpen zum Balkan. Nach kurzer Beruhigung entwickelt sich vor einem neuen Tief über England im Alpenraum eine Föhnlage. Im Süden oft Niederschläge, teilweise zahlreiche Gewitter.

Oktober:

1.-04. Ein Tief weitet sich von Grossbritannien zu den Alpen aus und zieht unter Auffüllung nach Dänemark. Weitere ergiebige Niederschläge, zuerst im Süden, dann im Norden; kälter.

5.-08. Ein weiteres Tief über Südengland bewirkt erneut eine Föhnlage über den Alpen. Im Süden neue Niederschläge, besonders ergiebig am 8. mit verbreiteten Gewittern.

9.-11. Nach kurzem Zwischenhocheinfluss verursacht ein Tief westlich der Biscaya wieder zunehmend Föhn. Nullgradgrenze auf 3000 m steigend.

12.-17. Eine ausgeprägte Tiefdruckrinne erstreckt sich von der Biscaya zur Ostsee. Auf ihrer Vorderseite fliesst mit einer Südwestströmung schubweise sehr feuchte Mittelmeerluft zur Alpensüdseite. Im Tessin ergiebige und teils von Gewittern begleitete Niederschläge, am 12. besonders heftig.

ab 18. verstärkter Hochdruckeinfluss führt zu einer Abkühlung und zur Beruhigung des Wetters, besonders auf der Alpensüdseite.

Das Niederschlagsgeschehen auf der Alpensüdseite (vgl. Abb. 1) war geprägt von (Grebner und Roesch, 1993):

- einer rund 45 Tage langen Niederschlagsperiode, in der 50-90% der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge fielen;

- mehreren darin eingelagerten Starkniederschlagsepisoden, die zwar extreme Ereignisse darstellen, aber keine Rekordintensitäten für 1-Tagesniederschläge zeigen;

- Rekordsummen für 2- und 3-tägige Niederschläge am 22.-24.9 an den Stationen Simplon Dorf mit 292 bzw. 366 mm und Binn mit 271 bzw. 355 mm (SMA; Grebner, 1993);

- Extremwerten im Tessin für 2- und 3-tägige Niederschläge und Rekordwerte für 10- bis 30-tägige Niederschlagssummen;

- einer hochliegenden Nullgradgrenze, zumeist im Bereich zwischen 2000 und 3200 m ü.M. (Abb. 2).

Im Kurzfristbereich von Stunden wurden an den Stationen des automatischen Messnetzes der SMA (ANETZ) keine Extremwerte gemessen. Hingegen wurden am 22.9.1993 gegen Mitternacht am Pluviographen des Istituto Geologico Cantonale in Camedo (Centovalli) ein Rekordniederschlag von 100 bis 120 mm innerhalb einer Stunde registriert (Abb. 3). Die Summen für 2,4 bzw. 6 Stunden betragen etwa 140, 190 bzw. 210 mm. Es dürfte sich bei diesen Niederschlägen um Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode von weit über 100 Jahren handeln (EAFV, 1980).

Im Laufe der zwei Monate September und Oktober fielen im Zentrum des Geschehens, in Camedo, 2136 mm Regen (im Mittel 1.5 mm pro Stunde!). Das Hauptniederschlagsgebiet erstreckte sich vom Centovalli über das Einzugsgebiet der Maggia und der Verzasca bis zur Leventina (Abb. 4c). Die räumliche Niederschlagsverteilung war allerdings nicht bei allen Niederschlagsepisoden gleich. So wurden z.B. am 22.-24.9.93 (Abb. 4a) zwei ausgeprägte Zentren beobachtet, eines im Gebiet des Simplonpass, das andere im Gebiet Centovalli/Valle Onsernone. Am 11.-14.10.92 (Abb. 4b) und am 12.10.93 lag das Zentrum mit über 400 mm bzw. 250 mm im oberen Verzascatal.

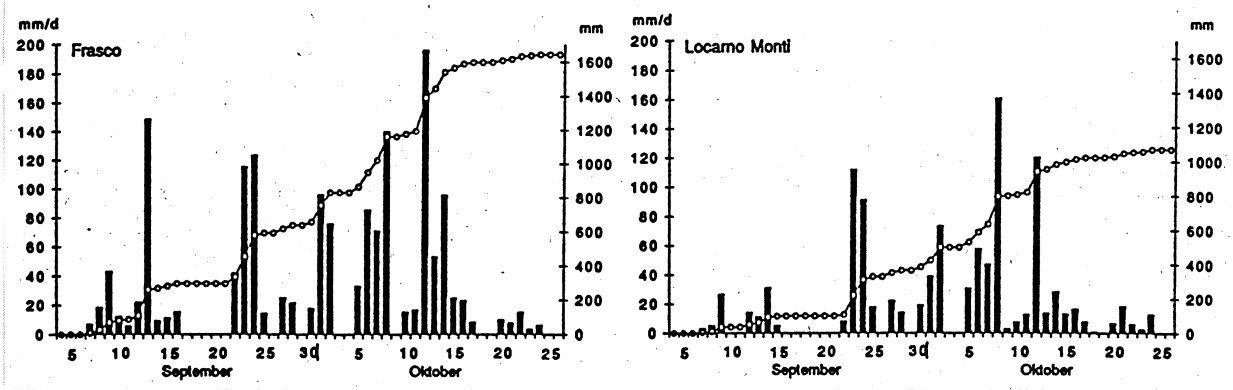


Abb. 1: Tägliche Niederschläge und aufsummierte Werte an den Stationen Frasco (Verzascatal) und Locarno-Monti (aus Grebner und Roesch, 1993).

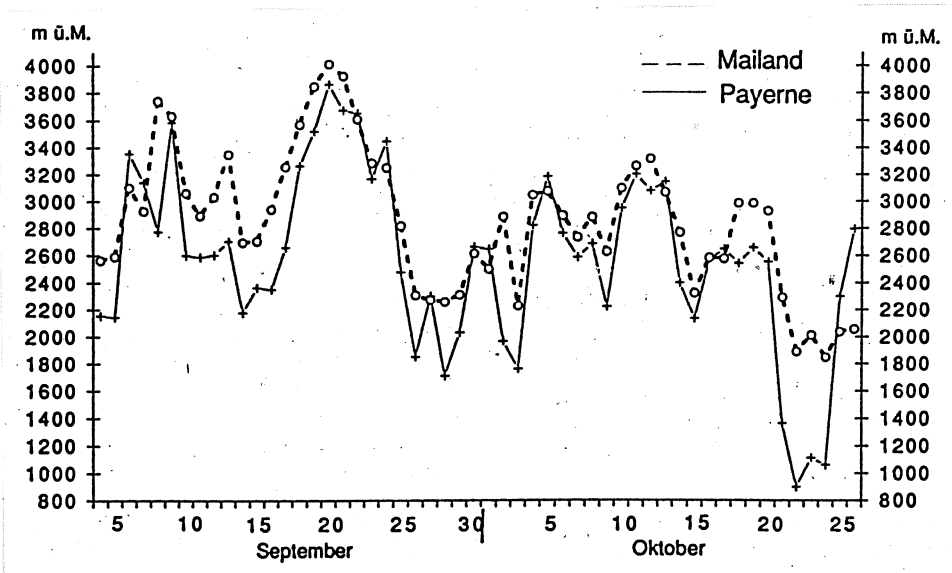


Abb. 2: Verlauf der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre gemessen mit den Radiosondenaufstiegen von Mailand und Payerne (aus Grebner und Roesch, 1993).

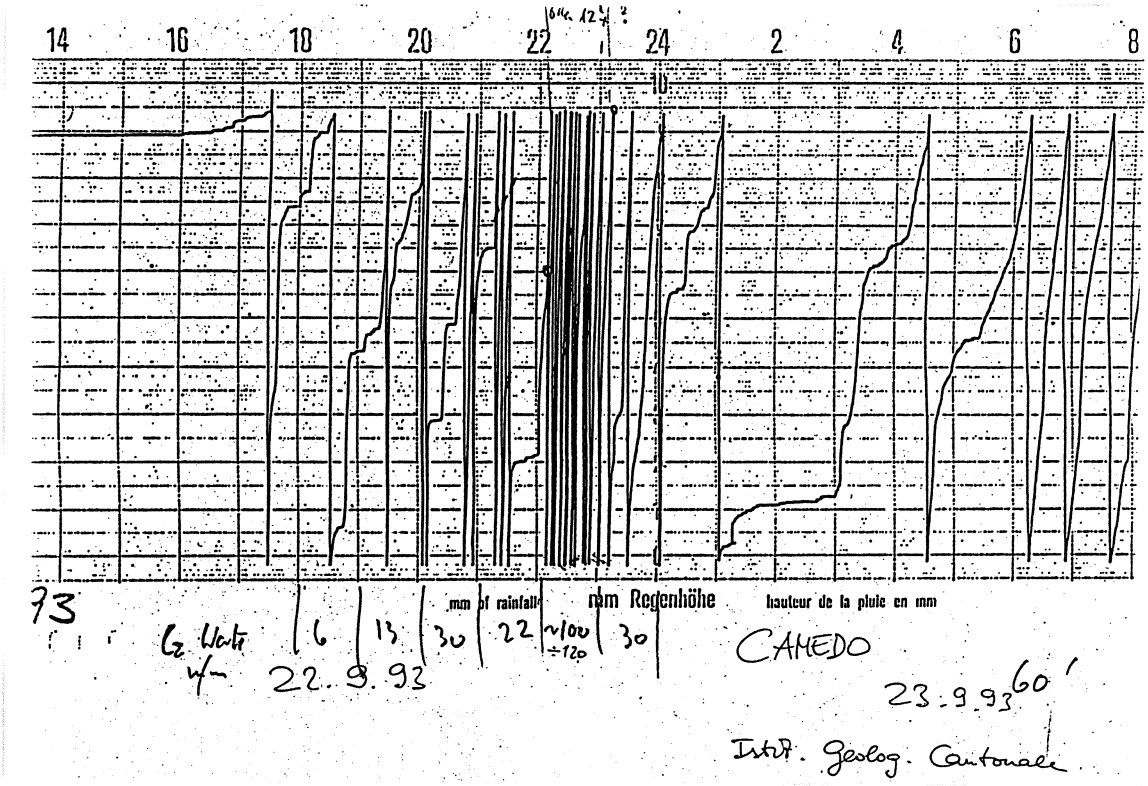


Abb. 3: Ausschnitt aus der Originalaufzeichnung des Pluviographen in Camedo vom 22.9.1993. Die genaue Niederschlagssumme in der Zeit zwischen 22 und 23 Uhr ist nicht feststellbar. Es dürfte sich um 100 bis 120 mm handeln (Quelle: Istituto Geologico Cantonale).

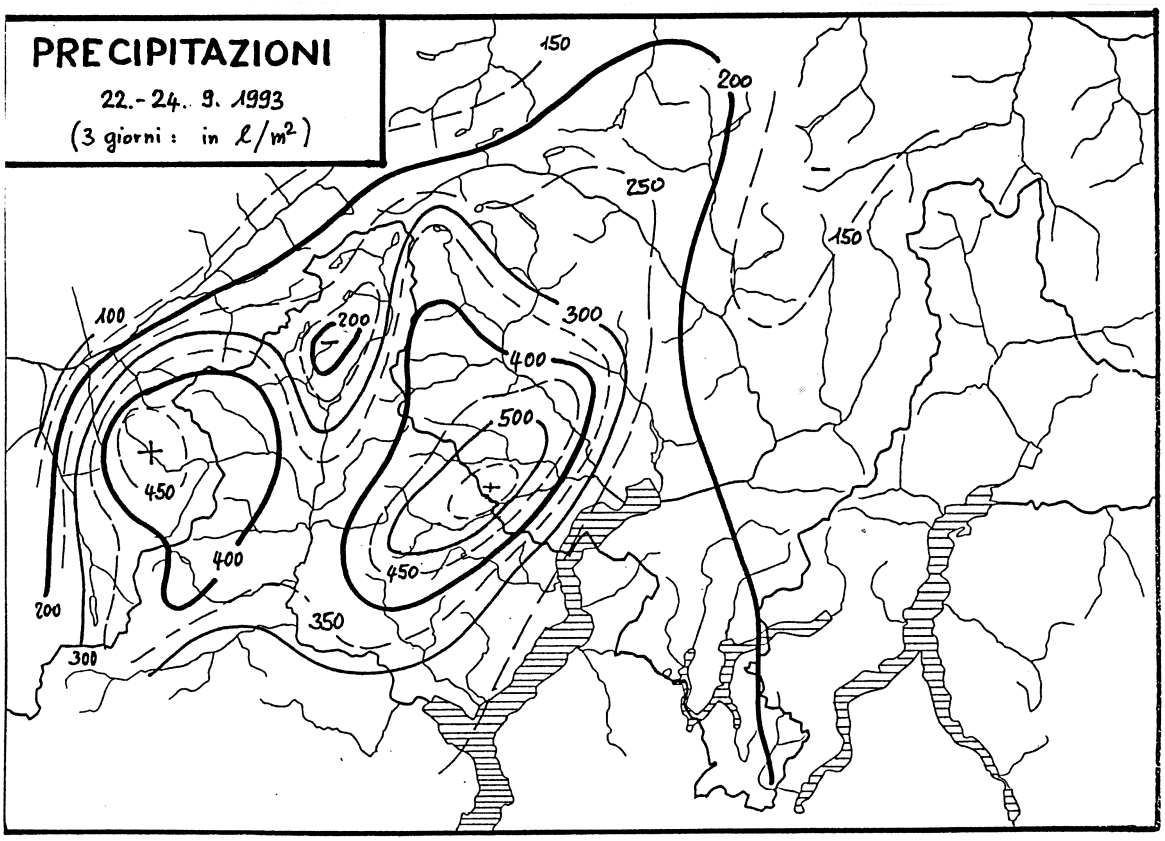
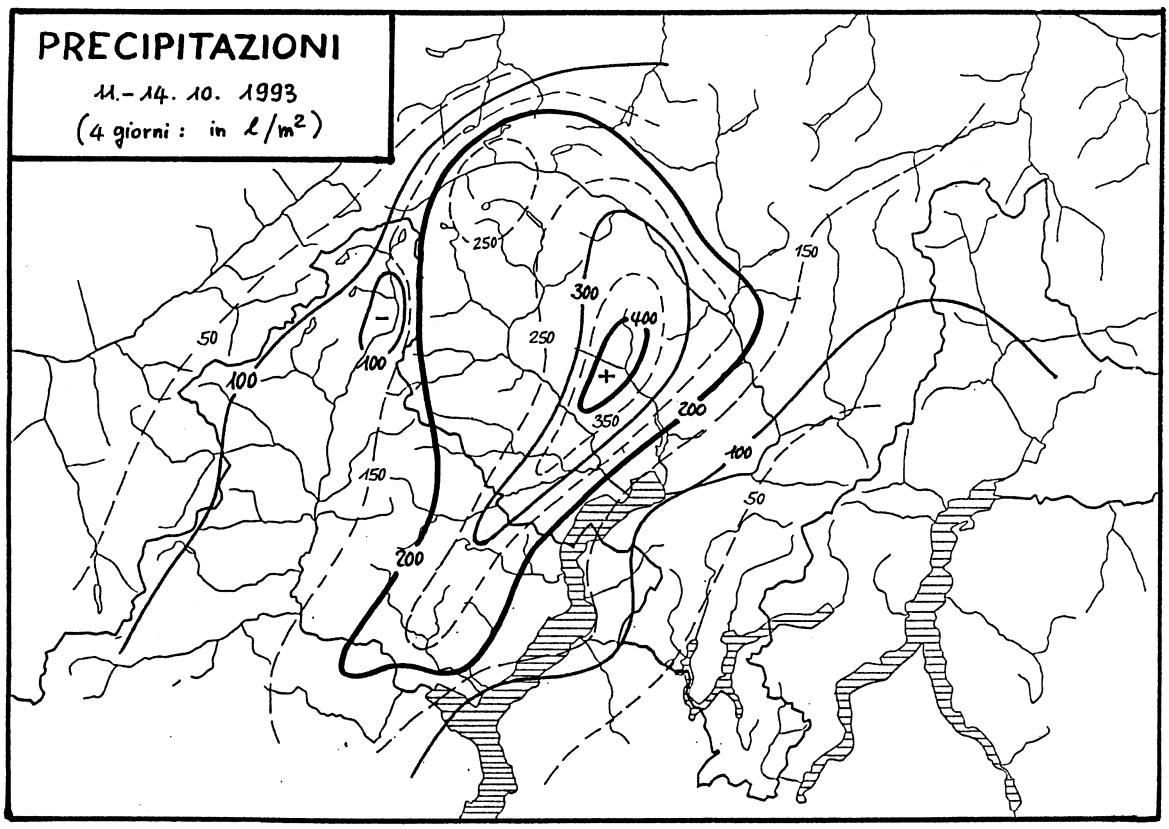
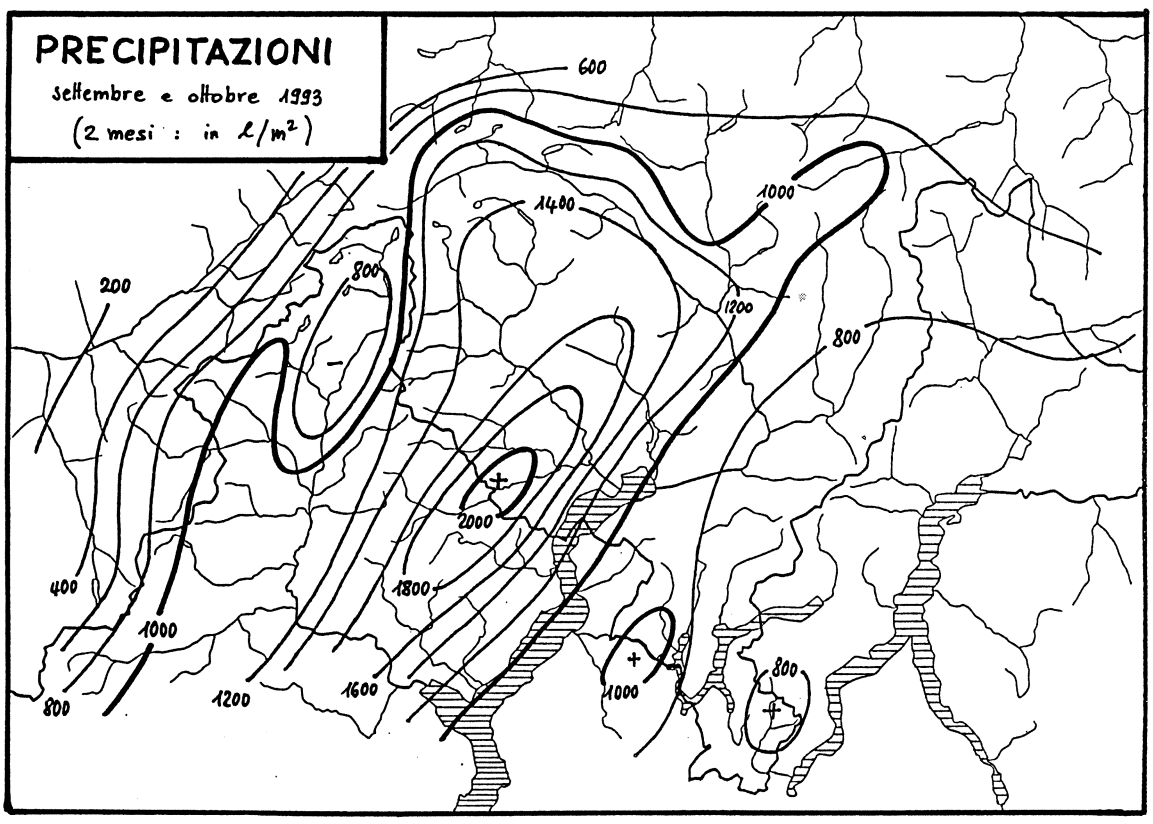


Abb. 4: Niederschlagsverteilung im Tessin für 3 Zeitperioden (Spinedi et al., 1993): a) 22.-24. 9.1993

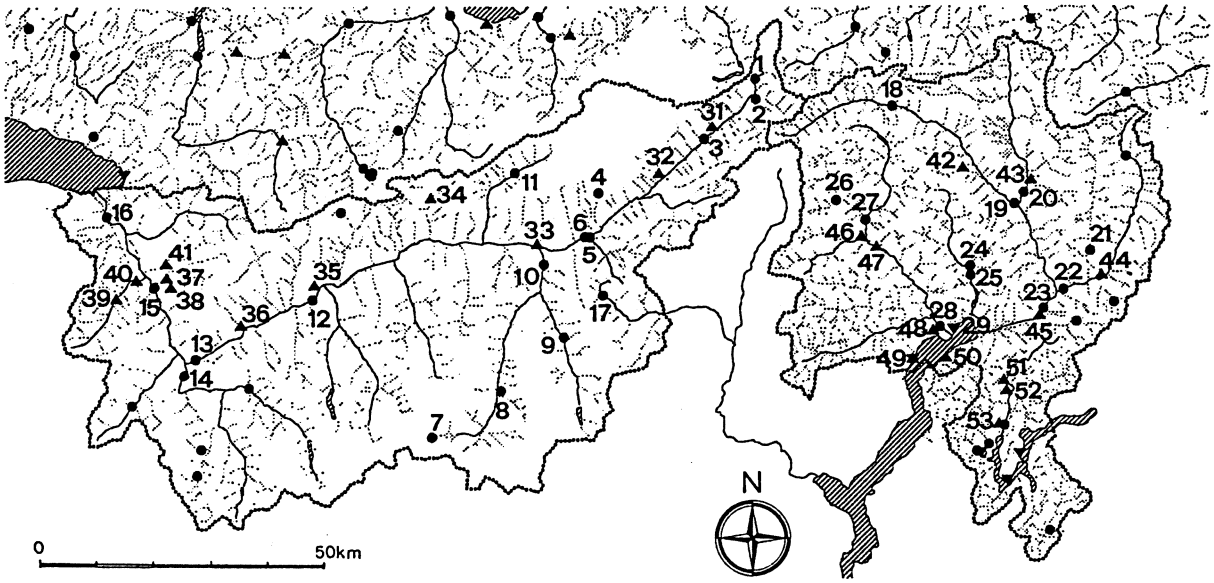


4. b) 11.-14.10.1993



4. c) 1.9.-31.10.1993

3. Das Stationsnetz der Landeshydrologie und -geologie



Abfluss - Messstationen ●

1	Rhone - Gletsch	11	Lonza - Blatten	21	Calancasca - Buseno
2	Goneri - Oberwald	12	Rhône - Sion	22	Moesa - Lumino
3	Rhone - Reckingen	13	Rhône - Branson	23	Ticino - Bellinzona
4	Massa - Blatten	14	Drance - Martigny	24	R.d.Pincascia-Lavertezzo
5	Saltina - Brig	15	Rhône - St. Maurice	25	Verzasca - Lavertezzo
6	Rhone - Brig	16	Rhône - Port du Scex	26	R.d.Calneggia - Cavergno
7	Hauptstollen Hohwäng	17	Krummbach - Klusmatten	27	Maggia - Bignasco
8	Matter Vispa - Randa	18	Ticino - Piotta	28	Maggia - Locarno
9	Saaser Vispa - Saas Balen	19	Ticino - Polleggio		
10	Vispa - Visp	20	Brenno - Loderio		

Wasserstand an Seen ▼

29	Lago Maggiore - Locarno

Hochwassergrenzwertpegel ▲

31	Minstigerbach - Münster	39	Vièze - Troistorrents	47	Riveo - Riveo
32	Wysswasser - Fiesch	40	Vièze - Montey	48	Brima - Losone
33	Baltschiederbach - Baltschieder	41	Gryonne - Bouillet	49	Sacro Monte - Brissago
34	Dala - Leukerbad	42	Ticinetto - Chironico	50	Ghirione - Gerra
35	Sionne - Sion	43	Riale di Brugaio - Brugaio	51	Riale di Cusella - Sigirino
36	Salentse - Saillon	44	Calancasca - Grono	52	Riale di Toricello - Toricello
37	Avançon - Bex	45	Sementina - Sementina	53	Riana -Bioggio
38	Croisette - Bex	46	Riale della Valte -Rovana		

Abb. 5: Messstellenkarte der Abfluss- und Wasserstandstationen sowie der Hochwassergrenzwertpegel der Landeshydrologie und -geologie in den betroffenen Einzugsgebieten.

4. Die Hochwasser im Wallis vom 24./25. September 1993

Die nachfolgenden Analysen der im Wallis aufgetretenen Hochwasser stützen sich hauptsächlich auf die Beobachtungen an den Abflussstationen der Landeshydrologie und -geologie. Zusätzlich zu diesen Beobachtungen stehen aber auch verschiedene Aufzeichnungen zu den Wasserstandsschwankungen der Speicherseen und zum Abflussgeschehen, insbesondere zu den abgeleiteten Wassermengen, bei den Kraftwerkgesellschaften zur Verfügung (vgl. Kap. 6). In der nachfolgenden Diskussion werden diese Daten so weit nötig berücksichtigt.

Die Karte in Abb. 5 gibt eine Uebersicht über die zur Verfügung stehenden Stationen. In Tabelle 1 werden zu den einzelnen Abflussstationen einige Einzugsgebietsparameter und Bemerkungen zur Beeinflussung durch Kraftwerke zusammengestellt.

Tab. 1: Einzugsgebietsparameter für die diskutierten Einzugsgebiete im Wallis. In der Spalte "Bemerkungen" finden sich Angaben zur Beeinflussung durch Kraftwerke (KW). Einzelne Einzugsgebiete gehören zum Netz der "Hydrologischen Untersuchungsgebiete" (HUG).

Name der Station	Einzugsgebiet km^2	Mittlere Höhe m ü.M.	Höchster Punkt m ü.M.	Tiefster Punkt m ü.M.	Vergletscherung %	Bemerkungen
Rhone - Gletsch	38.9	2719	3630	1761	52.2	
Goneri - Oberwald	40.0	2372	3192	1385	14.2	HUG
Rhone - Reckingen	215	2306	3633	1311	17.5	Ableitungen
Massa - Blatten	195	2945	4195	1446	65.9	HUG
Saltina - Brig	77.7	2050	3423	677	5.1	
Rhone - Brig	913	2370	4275	667	24.2	KW und Wasserrückgabe
Matter Vispa - Randa	315	2932	4634	1425	44.3	Ableitungen
Saaser Vispa - Saas Balen	202	2771	4545	1462	32.4	KW
Vispa - Visp	778	2660	4634	659	29.5	KW und Ableitungen
Lonza - Blatten	77.8	2630	3895	1520	36.5	
Rhône - Sion	3349	2310	4634	484	18.48	KW
Rhône - Branson	3728	2250	4634	457	16.8	KW
Drance - Martigny	678		3896	471	14.7	KW, Zu- und Ableitungen
Rhône - St.Maurice	4773		4634	401	15.3	
Rhône - Porte du Scex	5220	2130	4634	377	14.3	KW und Zuleitungen
Krummbach - Klusmatten	19.8	2276	3268	1792	2.9	HUG

4.1 Ganglinien der Hochwasser im Wallis

Ausgangsmaterial für die meisten Analysen des Abflussgeschehens sind die Limnigramme, d.h. die Wasserstandsganglinien, die an der Messstation aufgezeichnet werden. In Abb. 6 ist die Originalaufzeichnung des Hochwassers in der Rhone in Brig in verkleinerter Form reproduziert. Sehr schön ist der, abhängig vom Niederschlagsgeschehen, unregelmässige Anstieg des Wasserspiegels sichtbar. Bemerkenswert während des Hauptanstieges am 24. ist das kurzeitige Absinken des Wasserstandes zwischen etwa 16 und 17 Uhr. Da sich die Messstation flussabwärts der Einmündung der Saltina befindet, dürfte dieser Rückgang auf das Ausufern der Saltina und die nachfolgende vorübergehende Retention des Wassers im Raum Brig zurückzuführen sein.

Um die Beiträge der einzelnen Einzugsgebiete zum Gesamtabfluss der Rhone sichtbar zu machen, werden in Abb. 7 die Zeitreihen der Abflüsse von 11 Stationen präsentiert (leider fehlt dabei die Ganglinie der Saltina, die mit einem Spitzenabfluss von rund 100 m^3/s zum Hochwasser beigetragen hat). Die meisten Teileinzugsgebiete haben, absolut gesehen, etwa gleich grosse Beiträge geliefert. Ein wesentlich grösserer Beitrag stammt von der Vispa. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aus dem Einzugsgebiet der Vispa ein Anteil von rund 25 bis 35 m^3/s in Richtung Lac des Dix abgeleitet wird (Bonvin, 1993). Um etwa die gleiche Menge ist auch der Abfluss in Randa vermindert. Es wird deutlich, dass die Vispa einen ähnlich hohen Beitrag an Wasser zum Gesamtabfluss der Rhone beiträgt wie das obere Teileinzugsgebiet der Rhone bis Brig. Nach dem Zusammenfluss der Vispa mit der Rhone nimmt der Abfluss nicht mehr stark zu (Abb. 7b). Die Hochwasserwelle erreicht schliesslich, rund 7 Stunden nach Brig, Porte du Scex und damit den Genfersee.

Die relativen Beiträge der einzelnen Einzugsgebiete werden durch die Darstellung der Abflussspenden in Abb. 8 deutlich. Ganz klar wird, dass einerseits kleine Einzugsgebiete, anderseits die von den starken Niederschlägen (vgl. Abb. 4a) betroffenen Einzugsgebiete die höchsten Abflussspenden aufweisen. Die Saltina dürfte zusammen mit der Goneri in Oberwald eine Spitzenstellung einnehmen. Es folgen der Rotten bis Reckingen, der Rotten bis Gletsch, der Rotten bis Brig und erst dann die Vispa. Die Ableitung aus dem Mattertal kommt in Form von geringen Abflussspenden im Gebiet bis Randa sehr deutlich zum Ausdruck. Ohne Ableitung wären sie während des Hochwassers beinahe doppelt so hoch gewesen. Die Gebiete im unteren Wallis sowie die grossen Einzugsgebiete der Rhone bis Sion, Branson und Porte du Scex verzeichnen erwartungsgemäss die geringsten Abflussspenden.

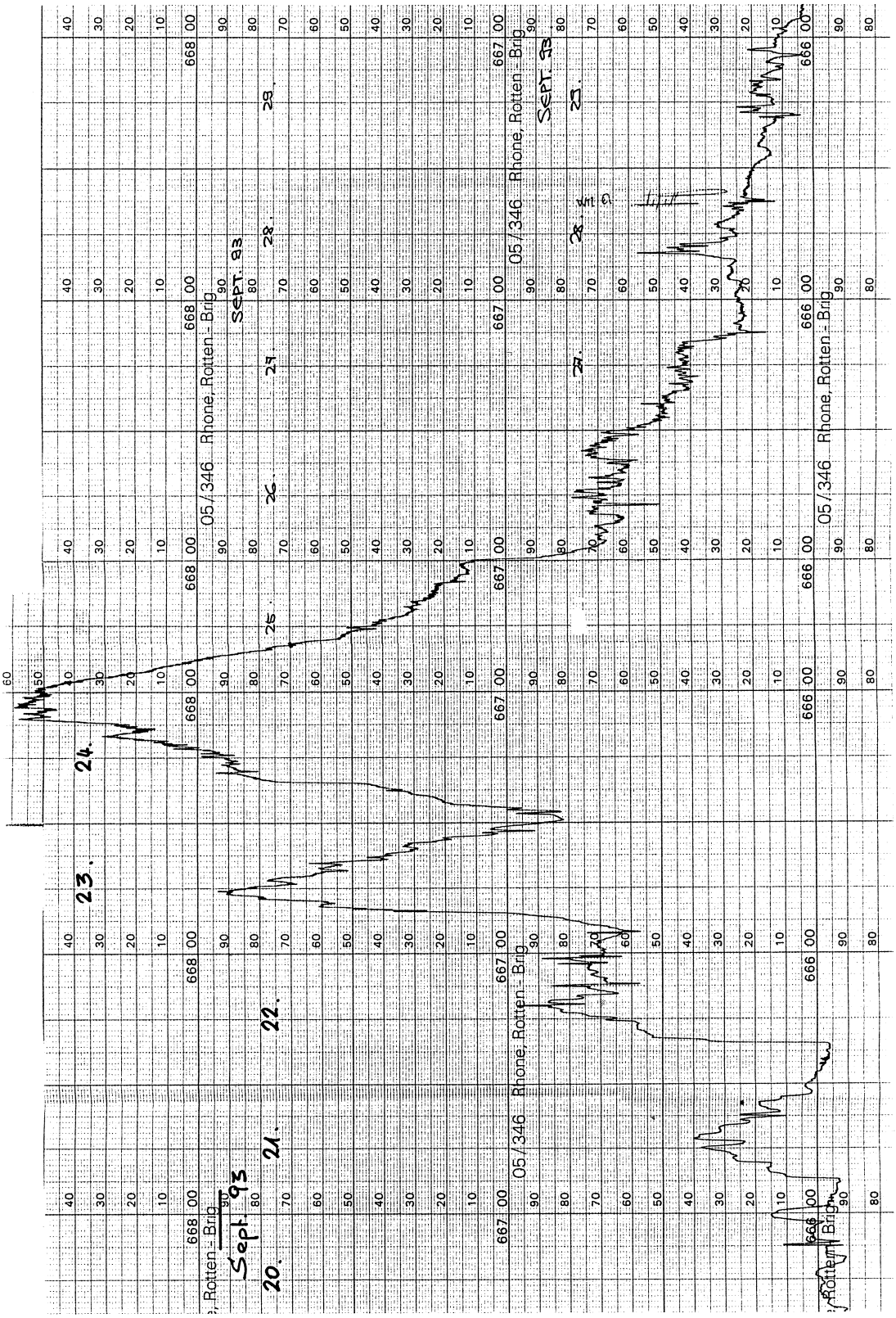
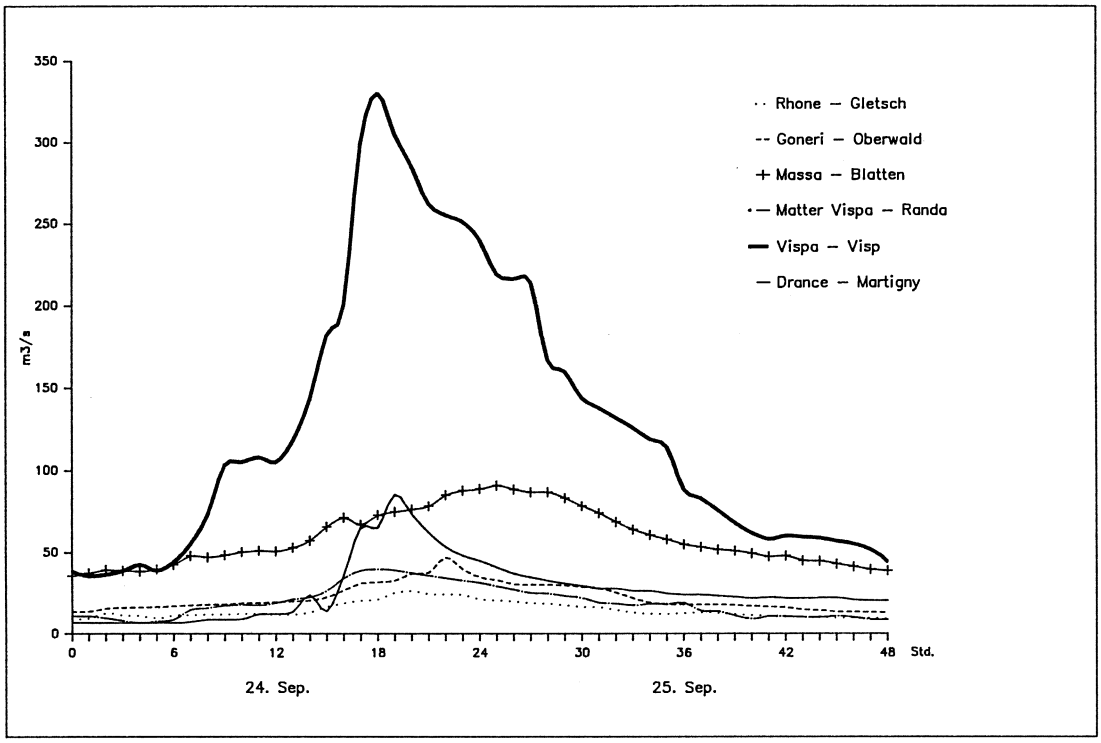


Abb. 6: Verkleinerte Reproduktion der Originalaufzeichnung der Hochwasserganglinie vom 23.-25. September 1993 an der Station Rotten - Brig der Landeshydrologie und -geologie.



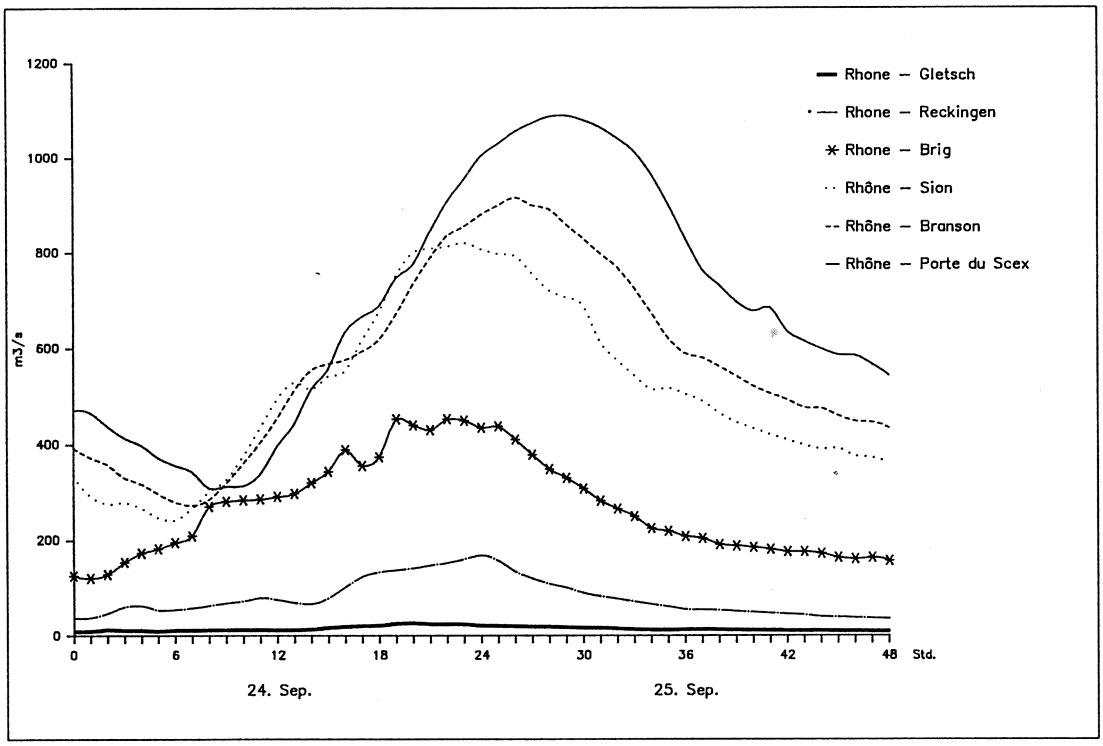
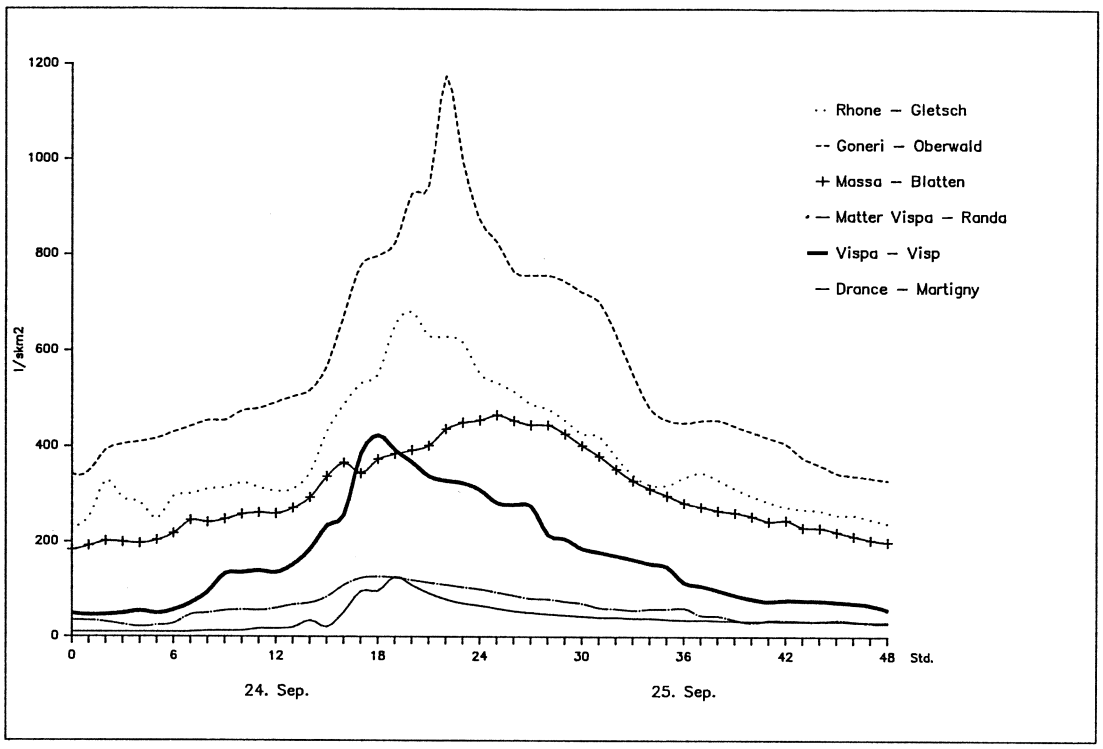


Abb. 7: Hochwasser-Abflussganglinien der Stationen an den Seitengewässern (oben) und entlang der Rhone (unten).



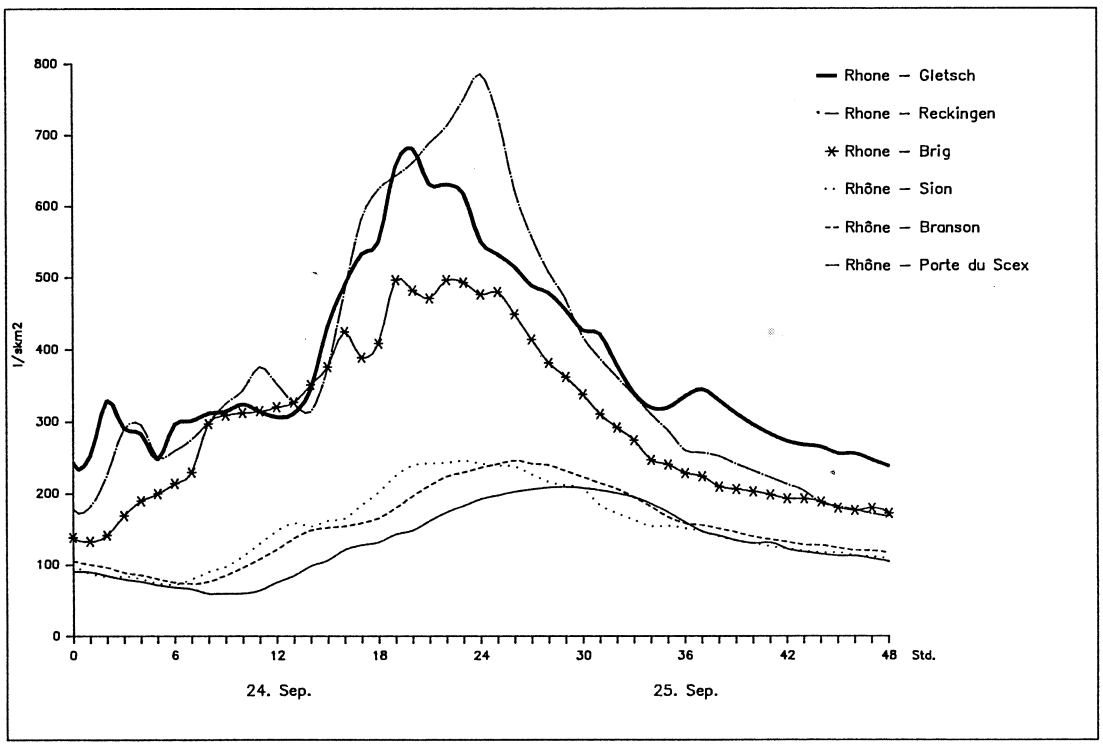


Abb. 8: Entwicklung der Abflussspenden während des Hochwassers vom 24./25.9.1993 in den Einzugsgebieten der Seitengewässer (oben) und in den Teileinzugsgebieten (unten) der Rhone.

4.2 Hochwasserspitzen

4.2.1 Messdaten

Vom extremen Hochwasser betroffen sind in erster Linie die Region Brig, das Simplongebiet und das Saastal. Da auch im Oberwallis sehr hohe Spitzenabflüsse zu verzeichnen sind, lässt sich das Hochwasser entlang der Rhone bis zum Genfersee verfolgen. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Abflussdaten des Hochwasserereignisses vom 24./25. Sept. 1993 zusammmenfassend dargestellt.

An 7 Stationen werden die in der Messreihe höchsten Abflüsse registriert. Besonders extrem mit entsprechend langer Wiederkehrperiode ist die Situation an der Saltina-Brig, an der Saaser Vispa-Saas Balen und am Klusbach-Klusmatten. Alle diese Stationen werden während des Hochwassers vollständig zerstört, mit Geschiebe überführt oder weggeschwemmt. Die Zerstörung der letzteren muss allerdings im Zusammenhang mit dem Ausbruch eines kleineren Sees gesehen werden (vgl. Kap. 4.2.2). Der Station Saaser Vispa-Saas Balen widerfährt nach 1987 innert kurzer Zeit dieses Schicksal bereits zum zweiten Mal.

Wegen des Fehlens von Messaufzeichnungen mussten die Abflusswerte und die Ganglinien dieser Stationen rekonstruiert werden (Kap. 4.2.2). Die Spitzenwerte liegen alle deutlich über den bisherigen Höchstwerten. In Brig führt die Verklausung einer Brücke wenig oberhalb der Messstation zur Überflutung grosser Teile der Altstadt mit Wasser und Geschiebe. Die Abflussspitze der Station Rhone-Brig wäre ohne die sich daraus ergebende Abflussverzögerung zweifelsfrei noch höher ausgefallen. Der Zeitpunkt und der abflussmindernde Effekt der Überflutung von Brig ist im Limnigramm durch einen temporären Wasserrückgang deutlich zu erkennen (vgl. Abb. 6). Die Abflussspitze an der Station Vispa-Visp ist mit 330 m^3/s zwar kleiner als 1948 (375 m^3/s), liegt aber dennoch deutlich über dem Ereignis von 1987 (270 m^3/s). Berücksichtigt man hingegen die Ableitungen aus dem Mattertal in den Lac des Dix von rund 35 m^3/s (Bonvin, 1993), so dürfte der Spitzenabfluss in der Grössenordnung des Hochwassers von 1948 gelegen sein. Eine etwas geringerere Niederschlagsmenge im Mattertal und die Ableitungen in den Lac des Dix haben hier Schlimmeres verhindert.

Auch im Oberwallis wurden Spitzenabflüsse registriert. Sie sind nicht ganz so gross wie 1987, allerdings ist die Differenz mit 5-10% nicht bedeutend. Nicht betroffen vom Hochwasser ist die Massa-Blatten. Die 91 m^3/s bedeuten im Vergleich zum bisherigen Spitzenwert von 137 m^3/s Spitzenabfluss (1992) einen Durchschnittswert. Rekordwerte hingegen werden am Unterlauf der Rhone verzeichnet. Die an den Stationen Branson und Porte du Scex festgestellten Hochwasser liegen ca. 5-15% über den bisher höchsten beobachteten Werten.

Eine Besonderheit der 1993-er Ereignisse liegt darin, dass innerhalb von nur sechs Jahren im Wallis praktisch die gleiche Region zum zweiten Mal von äusserst starken Hochwassern heimgesucht wird. Die Abbildung 9 zeigt die Zeitreihen der jährlichen Hochwasser ausgewählter Stationen in den betroffenen Gebieten. Auffallend ist dabei, dass - etwas weniger ausgeprägt bei der

Tab. 2: Übersicht über die Hochwasserabflüsse vom 24./25.9.1993 und die Hochwasserstatistik im Einzugsgebiet der Rhone.

Abfluss - Messstation	n [a]	HHQ [m3/s]	HQ1993 [m3/s]	P1993 [m]	Datum	Uhrzeit	r [r]	$HQ100_{bisher}$ [m3/s]	$HQ100_{neu}$ [m3/s]	T_{bisher} [a]	T_{neu} [a]
Rhone - Gletsch	57	1900: 31	26	6.71	24.09.	21.00	3	30	30	30	20
Goneri - Oberwald	3	1992: 33	47	7.21	24.09.	22.00	1				
Rhone - Reckingen	64	1987: 183	170	4.16	24.09.	23.00	2	175	180	100	70
Massa - Blatten	80	1992: 137	91	8.95	24.09.	24.00		135	135	5	5
Saltina - Brig*	28	1977:	(100)		24.09.	(18.00)	1				
Rhone - Brig	78	1987: 495	460	8.61	24.09.	20.00	3	490	510	70	60
Matter Vispa - Randa	24	1928: 125	38	2.37	24.09.	17.00		140			
Saaser Vispa - Saas Balen*	34	1957,58: 105	(125)	4.76	24.09.	(17.00)	1	170	190	50	35
Vispa - Visp	82	1948: 375	330	10.79	24.09.	(18.00)	2	360	370	90	60
Lonza - Blatten	38	1971: 81	52	3.60	24.09.	15.00	4	85	80	10	15
Rhône - Sion	78	1948: 910	820	7.99	24.09.	22.30	2	860	870	60	50
Rhône - Branson	36	1987: 820	920	11.41	24.09.	24.00	1	910	970	100	70
Drance - Martigny	3	1991: 81	86	4.25	24.09.	18.30	1				
Rhône - St. Maurice	59	1948: P= 14.28m		13.96	25.09.	02.00					
Rhône - Porte du Scex	89	1948: 1050	1090	8.75	25.09.	05.00	1	1070	1080	150	100
Krummbach - Klusmatten*	42	1972: 32	(50)		24.09.		1	30	40	1000	200

n	Länge der Datenreihe	[a]
HHQ	Höchsthochwasser der Beobachtungsperiode	[m3/s]
HQ1993	Hochwasserspitze vom 24./25.Sep.1993	[m3/s]
P1993	höchster Wasserstand vom 24./25.Sep.1993	[m]
Datum	Zeitpunkt der Abflussspitze: Tag	[-]
Uhrzeit	Zeitpunkt der Abflussspitze: Std.	[-]
r	Rangzahl von HQ1993 innerhalb der Beobachtungsperiode	[-]
$HQ100_{bisher}$	Hochwasser der Wiederkehrperiode von 100 Jahren vor HQ1993	[m3/s]
$HQ100_{neu}$	Hochwasser der Wiederkehrperiode von 100 Jahren nach HQ1993	[m3/s]
T_{bisher}	Jährlichkeit von HQ1993 aufgrund der Datenreihe vor HQ1993	[a]
T_{neu}	Jährlichkeit von HQ1993 aufgrund der Datenreihe mit HQ1993	[a]
*	Station während HQ-Ereignis stark beschädigt oder zerstört	
( )	Wert approximativ	

Rhone-Gletsch im vergletscherten Quellgebiet - die beiden Ereignisse 1987 und 1993 massiv über dem Durchschnitt der letzten 20 Jahre liegen. Besonders krass kommt dies bei der Saaser Vispa-Saas Balen zum Ausdruck, die seit dem Aufstau des Mattmarksees 1965 ein Restwasserregime aufweist. Typischerweise fehlen seither die mittleren bis starken Hochwasser, wie sie zuvor in der Periode 1956-62 noch zu beobachten sind. Aus der Sicht dieser unbeeinflussten Beobachtungsperiode erscheinen die beiden neueren Hochwasserereignisse nicht mehr derart extrem.

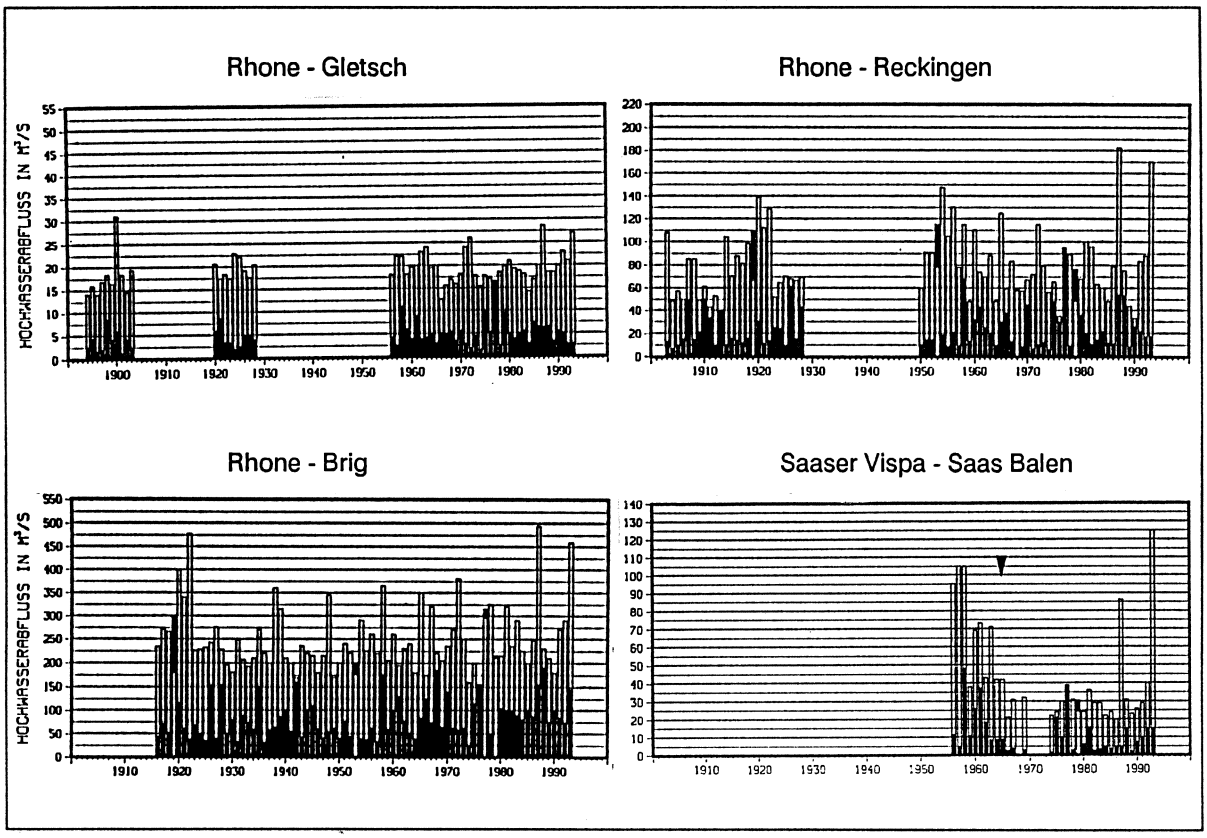


Abb. 9: Jahreshochwasser ausgewählter Stationen im Einzugsgebiet der Rhone (schwarze Säule: Hochwasser im Winterhalbjahr, weisse Säule: Hochwasser im Sommerhalbjahr).

Die Abbildung 10 aus früheren Mitteilungen der LHG (Spreafico u. Stadler,1988; Spreafico u. Aschwanden (1991)) stellt die bisher beobachteten höchsten Abflussspenden und diejenige des Hochwassers 1993 in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse dar. Sie zeigt in doppelt-logarithmischem Massstab die bekannte Abnahme der Abflussspende mit der Zunahme der Einzugsgebietsgrösse. Deutlich ist zu erkennen, dass sich die Hochwasser von 1993 sehr gut in das bestehende Verteilmuster der höchsten Hochwasser einordnen lassen. Mit Ausnahme der Stationen Matter Vispa-Randa (Nr. 7, mit Ableitungen) und Drance-Martigny (11) sowie Rhone-Gletsch (1) und Massa-Blatten (4), die dem Durchschnitt entsprechen, liegen die Spitzenwerte nahe der oberen Umhüllenden. Dies bedeutet, dass die 1993-er Ereignisse zwar extrem sind,

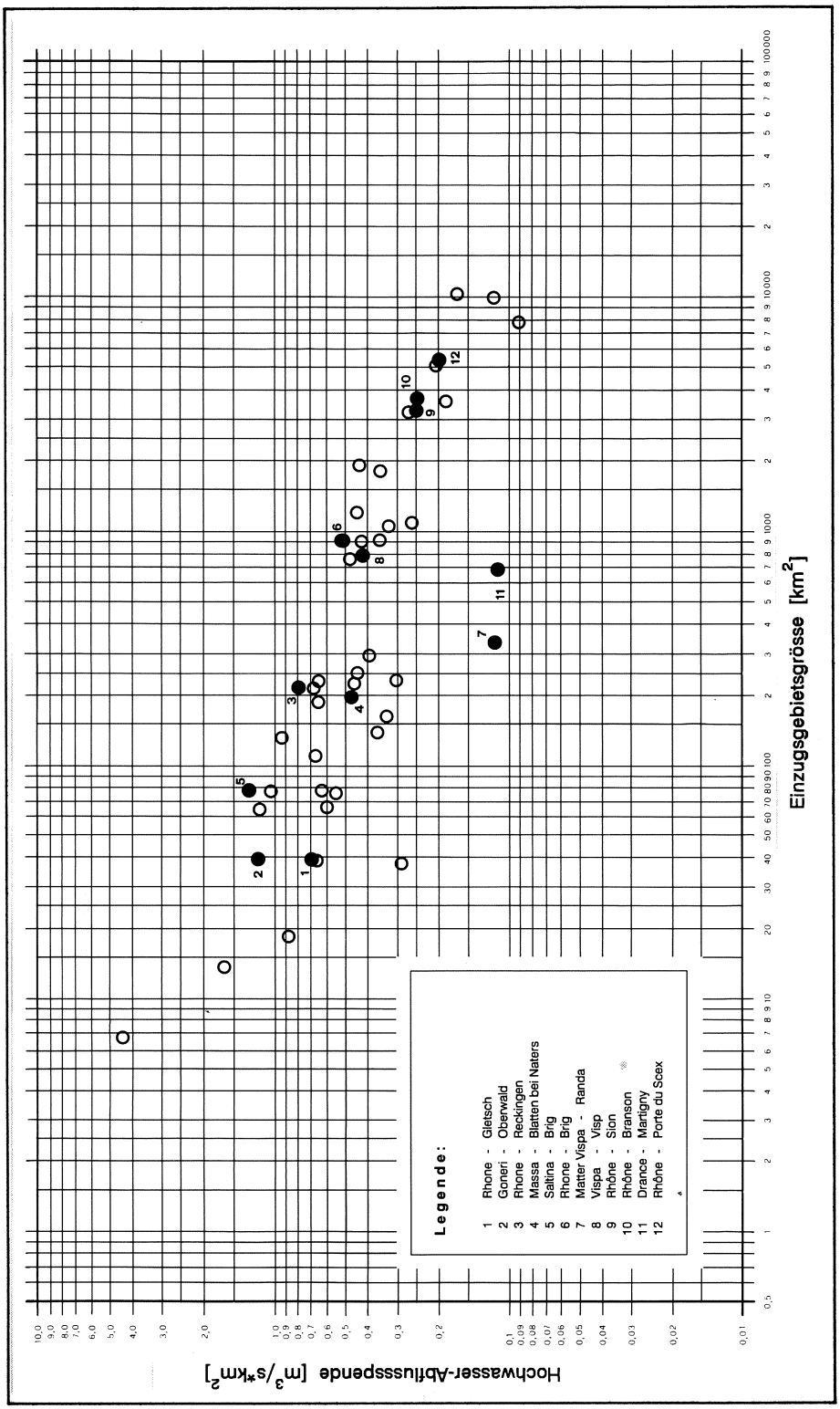


Abb. 10: Höchste beobachtete Abflussspenden im Rhoneeinzugsgebiet in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse (doppelt-logarithmische Darstellung).
● Abflussspenden des Hochwassers 1993

aber im Rahmen dessen liegen, was aufgrund der bisherigen Messdaten und der daraus gewonnenen Erkenntnisse erwartet werden muss.

Der Vollständigkeit halber finden sich in Tabelle 3 die Messergebnisse der Hochwassergrenzwertpegel im Einzugsgebiet der Rhone. Eine abschliessende Beurteilung der 1993-er Ereignisse aufgrund dieser Daten ist nicht möglich, sei es weil im Oberwallis die Messreihen zu kurz sind und das Jahr 1987 darin nicht enthalten ist, sei es weil die Messstationen ausserhalb der am stärksten betroffenen Regionen liegen. Immerhin ist aber auch hier erkenntlich, dass die Ereignisse 1993 einen starken lokalen Bezug hatten und dass weite Teile des Wallis zu einem früheren Zeitpunkt schon stärkere Hochwasser zu verzeichnen hatten.

Tab. 3: Berechnete Abflüsse aus Beobachtungen an den Hochwassergrenzwertpegeln im Einzugsgebiet der Rhone. Diese Abflussmengen können, abhängig von den getroffenen Berechnungsannahmen, mit erheblichen Fehlern behaftet sein.

Hochwassergrenzwertpegel im Rhone - Gebiet				
Name	in Betrieb seit	Gebiets-fläche km^2	bisher höchstes Q m^3/s	Q_{max} 1993 m^3/s
Minstigerbach - Münster	1990	15.2	13	10
Wysswasser - Fiesch	1990	74.5	60	19
Baltschieder Bach - Baltschieder	1990	43.0	10	12
Dala - Leukerbad	1990	19.9	8	2
Sionne - Sion	1985	19.9	40	6
Salentse - Saillon	1985	20.8	6	5
Avançon - Bex	1985	77.6	29	28
Croisette - Bex	1985	2.0	4	0.3
Vièze - Troistorrents	1985	97.2		
Vièze - Monthey	1985	139	110	60
Gryonne - Le Bouillet	1985	33.8	25	7

4.2.2 Datengüte

Im vorliegenden Abschnitt wird für jede Abflussmessstation ausgehend von einer Beurteilung der Wasserstandsaufzeichnung, des Messquerschnittes und der Wasserstand-Abfluss-Beziehung eine qualitative Aussage über die Güte der Hochwasserbestimmung gemacht.

In Bezug auf die Hochwassergrenzwertpegel muss darauf hingewiesen werden, dass die angegebenen Abflussmengen mit teilweise erheblichen Fehlern behaftet sein können, da keine Eichmessungen vorliegen und für die Berechnung Annahmen über Rauhigkeitsbeiwerte, Anströmgeschwindigkeiten etc. getroffen werden mussten.

Rhone-Gletsch

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle mit Messschwelle und Blockwurfböschung) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 65% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Goneri-Oberwald

Der Geschiebesammler flussaufwärts der Messstation ist komplett mit Geschiebe aufgefüllt worden, was dazu geführt hat, dass der Bach unterhalb des Sammlers (aber oberhalb der Messstation) beidseitig ausgebrochen ist. Die linksseitige Menge war unbedeutend, die rechtsseitige Menge wurde auf maximal 10 m^3/s geschätzt und die Aufzeichnung des Limnigraphen entsprechend korrigiert (wie wenn kein Ausbruch stattgefunden hätte). Das ausgebrochene Wasser ist grösstenteils direkt neben der Goneri in die Rhone geflossen. Das eigentliche Flussbett (gepflästerter Kanal mit Stahlmessrinne und Ueberfall) ist unverändert.

Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 20% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist ziemlich genau.

Rhone-Reckingen

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle und Blockwurfböschung) nur leicht verändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 30% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Massa-Blatten

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (betonierter Kanal mit Stahlmessrinne und Ueberfall) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 80% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Krummbach-Klusmatten

Die Station ist vollständig zerstört worden (Der Maximalwasserstand war 1 m höher als das Dach der Messkabine!). Es ist keine Limnigraphenaufzeichnung vorhanden und das Flussbett hat sich massiv eingetieft und ausgeweitet. Der Extremwasserstand ist aufgrund von Spuren rekonstruiert worden. Durch die Messkabine und Bäume ist es zu Rückstaueffekten gekommen! Durch das Auslaufen des Sirwoltesees (rechtsufriger Zufluss zum Krummbach kurz oberhalb der Messstelle) ist eine Schwallwelle verursacht worden. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 10% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist unsicher.

Saltina-Brig

Die Station ist zerstört worden (Messleitung und Registrierkabine weggerissen). Es ist keine Limnigraphenaufzeichnung vorhanden. Der Fluss ist nach einer Verklausung bei der Strassenbrücke ca. 100 m flussaufwärts der Messstation beidseitig massiv ausgebrochen. Das Flussbett im Bereich der Messstation (Messschwelle mit Stahlabdeckung, Natursteinmauern) ist unverändert, doch die Anströmung hat sich durch die reduzierte Höhendifferenz zur Vorschwelle geändert. Die Extremwasserstände sind aufgrund von Spuren und Videoaufnahmen rekonstruiert worden. Die Abflussmenge ist aufgrund von Modellversuchen und Berechnungen auf ca. 70-80 m^3/s bei der Messstation und ca. 100 m^3/s bei der Brücke festgelegt worden.

Rhone-Brig

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut. Das Querprofil ist nur leicht verändert, doch das Längenprofil hat sich erheblich verändert (Zunahme des Gefälles und damit Zunahme der Fliessgeschwindigkeit infolge starken Geschiebeeintrages aus der kurz oberhalb einmündenden Saltina; Rhone mit Natursohle und Blockwurfböschung sowie Messschwelle). Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 50% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Saaser Vispa-Saas Balen

Die Limnigraphenaufzeichnung ist unvollständig, da der Messbereich massiv überschritten worden ist. Das Flussbett ist massiv verändert worden (gepflästerte Messrinne eingekiest, Messüberfall teilweise eingestaut, Station beidseitig massiv umströmt). Der Extremwasserstand ist aufgrund von Spuren rekonstruiert worden (der Verlauf ist unbekannt, der Zeitpunkt geschätzt). Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 30% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert, doch haben sich die Abflussbedingungen während des Hochwassers stark verändert.

Die Hochwasserbestimmung ist unsicher.

Matter Vispa-Randa

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle und Blockwurfböschung) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 35% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Vispa-Visp

Der Messbereich der Limnigraphenanlage ist überschritten und das Flussbett (Natursohle und Blockwurfböschung) massiv eingetieft worden (ca. 70 cm). Die Wasserstandsaufzeichnung hat nach Spuren zuverlässig ergänzt werden können (Der Zeitpunkt ist geschätzt worden). Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 60% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist ziemlich genau.

Lonza-Blatten

Der Messbereich der Limnigraphenanlage ist überschritten und das Flussbett teilweise verändert worden (Stahlmessrinne teilweise eingekiest). Der Extremwasserstand ist nach Spuren zuverlässig ergänzt worden (Zeitpunkt geschätzt). Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 55% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Rhône-Sion

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle mit Blockwurfböschung) kaum eingetieft. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 45% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Rhône-Branson

Der Limnigraphen-Aufzeichnungsbereich ist überschritten worden, das Flussbett (Natursohle und Blockwurfböschung) sind praktisch unverändert. Die Wasserstandsganglinie hat aufgrund von Spuren vollständig rekonstruiert werden können. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 35% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Drance de Bagnes-Le Châble

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (gepflästerte Messrinne mit Ueberfall) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 250% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Drance-Martigny

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle und gemauerte Böschung) nur leicht verändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 45% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Rhône-Porte du Scex

Der Messbereich der Limnigraphenanlage ist überschritten worden, das Flussbett (Natursohle mit Blockwurfböschung) ist praktisch unverändert. Die Spitze der Wasserstandsganglinie ist aufgrund von Spuren rekonstruiert worden. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 45% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

4.2.3 Hochwasserstatistik

Neben dem Abflussspitzenwert interessiert im Zusammenhang mit Hochwasser immer auch die Frage nach der Wiederkehrperiode eines Ereignisses. Diesmal umsomehr, als seit dem letzten Grossereignis nur gerade sechs Jahre vergangen sind. Die Wiederkehrperiode oder Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses ist eine statistische Grösse, die angibt, wieviel mal im langjährigen Mittel eine bestimmte Abflussmenge zu erwarten ist. So ist beispielsweise ein 100-jährliches Hochwasser in tausend Jahren im Mittel nur zehn Mal zu beobachten. Mit dieser Formulierung soll angedeutet werden, dass mit einer Hochwasser-Wahrscheinlichkeitsanalyse nichts über das zeitliche Eintreffen ausgesagt wird und dass eine Häufung von grossen Hochwassereignissen durchaus möglich ist, ohne dass deswegen das zugrundegelegte Gedankenmodell falsch wäre. Eine Wahrscheinlichkeitsaussage ist eine statistische Aussage und keine Prognose, die den Zeitpunkt und die Grösse eines Ereignisses vorhersagt.

Die LHG hat in den letzten 10 Jahren für verschiedene Projekte die Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen berechnet: ein erstes Mal für die 1988 und 1991 erschienene Hochwasserstatistik (Mitt. LHG Nr. 7, 8, 16 und 17), im Rahmen der Hochwasseranalyse 1987 (Mitt. LHG Nr. 10, 14 und 15), für eine Tafel des Hydrologischen Atlasses (in Vorbereitung) und im Zusammenhang mit den Ereignissen von 1993. Zwangsläufig wurden bei diesen Analysen unterschiedliche Beobachtungsperioden als Datengrundlage verwendet und damit auch unterschiedliche Resultate gewonnen. Die Tabelle 4 fasst die Resultate in Form eines Vergleichs von HQ100-Werten für verschiedene Beobachtungsperioden zusammen. Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen basieren auf den Jahresmaxima der jeweiligen Beobachtungsperiode. Als Verteilungsfunktionen wurde die Log-Pearson-III-, die Pearson-III- und die Gammafunktion verwendet (DVWK 1979). Im Anhang befinden sich für alle von den Hochwassern 1993 betroffenen Stationen die Darstellung der jährlichen Hochwassermaxima und die entsprechenden Frequenzanalysen.

Die Voraussetzung für verlässliche Aussagen von Hochwasser-Wahrscheinlichkeitsberechnungen bildet das Vorhandensein von langen Beobachtungsreihen. Die Beispiele der Stationen Rhone-Brig (1916-1993) und Rhone-Reckingen (1903-28 und 1950-93) belegen dies. Obwohl 1987 und 1993 jeweils höchste Hochwasser registriert werden, verändert sich der HQ100-Wert nur wenig: von 460 auf 510 m^3/s bzw. 155 auf 180 m^3/s. Je kürzer die Messreihe, desto stärker reagiert die Wahrscheinlichkeitsverteilung auf extreme Hochwasser.

Schwerwiegend und bezüglich der Aussagekraft von Hochwasser-Wahrscheinlichkeitsanalysen mit vielen Unsicherheiten behaftet sind die Folgen der grossen Eingriffe in den Wasserhaushalt durch Ab- und Überleitungen sowie Speicherbau. Schon in Kap. 4.2.1 wurde auf das Fehlen der Hochwasser mittlerer Grösse bei stark beeinflussten Gewässern hingewiesen. Die Abbildung 11 veranschaulicht das Problem aus der Sicht der Wahrscheinlichkeitsanalyse. Bei starken wasserwirtschaftlichen Eingriffen wird das Datenkollektiv der Hochwasser zweigeteilt. Diese Zweiteilung ist für den Fall der Saaser Vispa-Saas Balen in der Graphik deutlich durch einen Knick in der empirischen Verteilungsfunktion zu erkennen. Die theoretische Verteilungsfunktion (ausgezogene Linie), aufgrund derer die Abflusswerte einer bestimmten Jährlichkeit berechnet werden, überschätzt als Folge davon die Hochwasser kleiner Jährlichkeit und unterschätzt diejenigen mit einer

Name der Station	HW - Analyse LHG Band I - IV		HW - Analyse 1987		HW - Analyse für den Hydrologischen Atlas		HW - Analyse 1993		Bemerkungen
	Periode	HQ_{100}	Periode	HQ_{100}	Periode	HQ_{100}	Periode	HQ_{100}	
Rhone - Gletsch	1894-1903 1920-28,56-84	30	1894-1903 1920-28,56-87	30			1894-1903 1920-28,56-93	30	
					1956-90	30			
Rhone - Reckingen	1903-28 1950-84	155	1903-28 1950-87	175			1903-28 1950-93	180	KW und Ableitungen
					1950-90	175			
Massa - Blatten	1904-13 1922-28,31-84	130	1922-28 1931-87	135	1904-13 1922-28,31-90	130	1904-13 1922-28,31-93	135	
Rhone - Brig	1916-84	460	1916-87	490	1916-90	490	1916-93	510	KW - Speicher und - Wasserrückgabe
Saaser Vispa - Saas Balen			1956-67,74-87	175	1956-67,74-90	170	1956-67,74-93	185	Restwasser ab 1963
Vispa - Visp	1903-12,22-84	330	1904-12,22-87	335			1922-93	370	Stausee Mattmark und Ableitung nach Lac des Dix
	1922-64	360			1922-64	360			
	1965-84	190			1965-90	285	1965-93	370	
Lonza - Blatten	1956-84	90	1956-87	85	1956-90	85	1956-93	80	
Rhône - Sion	1916-84	850	1916-87	860			1916-93	870	KW
	1916-56	910			1916-56	910			
	1957-84	700			1957-90	750	1957-93	820	
Rhône - Branson	1941-84	900	1941-87	910			1941-93	970	KW
	1941-57	1050			1941-57	1050			
	1958-84	710			1958-90	810	1958-93	920	
Rhône - Porte du Scex	1905-84	1060	1905-87	1070			1905-93	1080	KW
	1905-54	1090			1905-54	1090			
	1955-84	1020			1955-90	960	1955-93	1060	
Krummbach - Klusmatten	1952-84	30	1952-87	30	1952-90	30	1952-93	40	

Tab. 4: Vergleich von Abflusswerten mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren hergeleitet aus verschiedenen Beobachtungsperioden.

Für die Station Saltina-Brig können zur Zeit keine verlässlichen Aussagen über die Zeitreihe der jährlichen Hochwasser und deren Auftretenswahrscheinlichkeit gemacht werden. Modellversuche an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der ETH haben gezeigt, dass bei gewissen Abflussbedingungen ein Übergang von strömendem zu schiessendem Abfluss im Bereich der Messstation für instabile Wasserstand-Abfluss-Beziehungen verantwortlich ist. Weitere Abklärungen sind notwendig, um die Hochwasser der vergangenen Jahre genau quantifizieren zu können. Die bisherigen Daten und Analysen zur Hochwasserstatistik in Spreafico und Aschwanden (1991) sollten nicht mehr weiter verwendet werden.

grossen Jährlichkeit. Letzteres fällt noch akzentuierter aus, falls Abflussbeobachtungen aus einer unbeeinflussten Periode fehlen und die Analyse aufgrund eines Restwasserregimes erfolgen muss. Dies ist im Beispiel nicht der Fall und so ist unschwer zu erkennen, dass das Ereignis von 1993 mit Ereignissen aus der früheren unbeeinflussten Beobachtungsperiode durchaus vergleichbar ist.

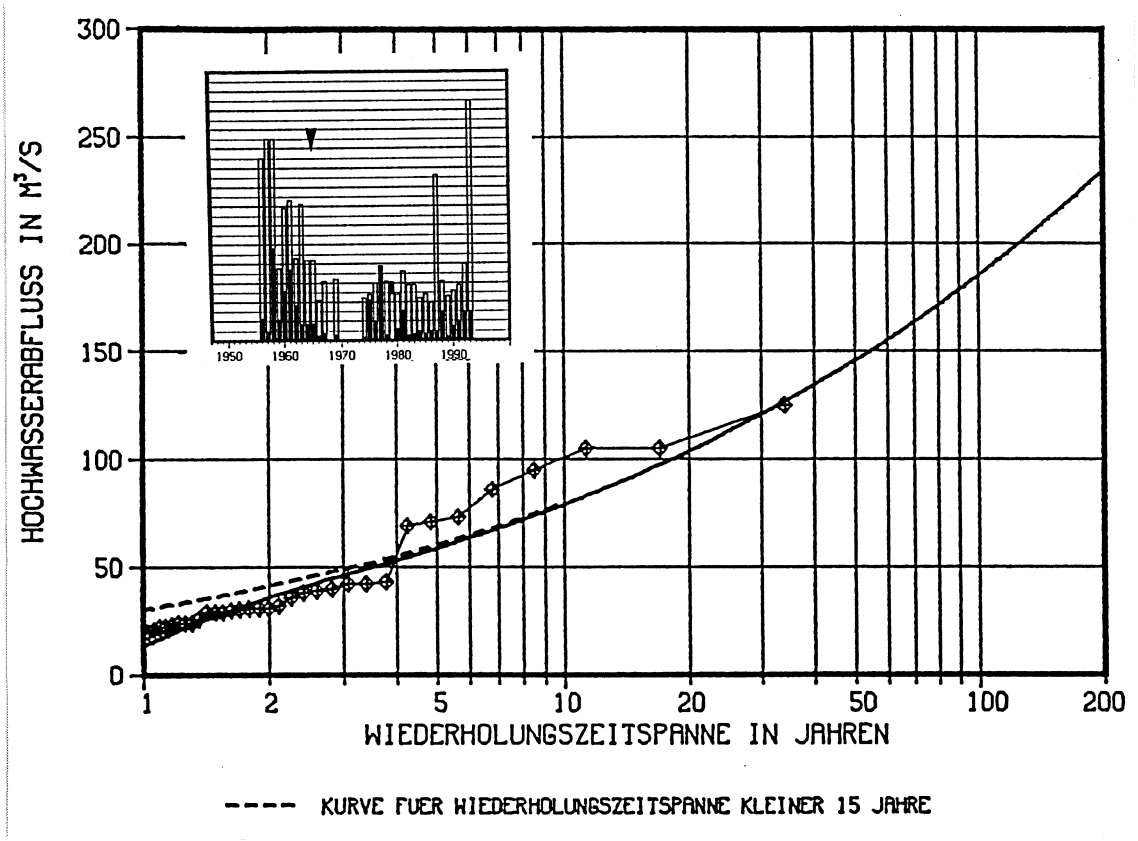


Abb. 11: Jahreshochwasser und Frequenzdiagamme an der Station Saaser Vispa-Saas Balen 1956-93 (Beeinflussung ab 1965 durch den Aufstau des Mattmarksees).

In Tabelle 4 lassen sich einige weitere Beispiele finden: die HQ100-Abflusswerte der Station Vispa-Visp mit 360 m^3/s für die unbeeinflusste bzw. 190 m^3/s für die beeinflusste Periode oder diejenigen der Rhone-Sion mit den entsprechenden Werten 910 m^3/s und 700 m^3/s. Die beiden Ereignisse 1987 und 1993 haben allerdings dazu geführt, dass Wahrscheinlichkeitsaussagen aufgrund von beeinflussten Beobachtungsperioden neueren Datums wieder etwas näher an die Realität herangerückt sind. Die LHG empfiehlt, für die Beurteilung von Extremereignissen wenn möglich die Gesamtperiode für eine Wahrscheinlichkeitsanalyse zu verwenden, da insbesondere bei vollen Speicherbecken die wasserwirtschaftlichen Eingriffe zugunsten der Elekrizitätserzeugung keinen Schutz vor den extremen Hochwasser bieten.

Den Sachverhalt der fehlenden Hochwasser mittlerer Grösse verdeutlicht Abbildung 12, die schon für die Hochwasseranalyse 1987 erstellt und für die vorliegende Publikation nachgeführt worden ist. Dargestellt sind die Zeitpunkte des Auftretens aller Hochwasser, welche das 10-jährliche Hochwasser der Beobachtungsperiode 1957-1987 (Schwellenwert) übertreffen. Die Messpe-

riode wird durch eine horizontale Linie angedeutet. Die senkrechten Striche zeigen das Auftreten von monatlichen Hochwassermaxima, welche grösser als der beschriebene Schwellenwert sind. Die Höhe der senkrechten Striche ist ein Mass für das Verhältnis des jeweiligen monatlichen Hochwassers zum Höchsthochwasser der Messreihe. Ein Kreuz (x) auf der Zeitachse gibt den Zeitpunkt der Inbetriebnahme von Speicheranlagen oder Ableitungen an, welche für die Messreihe eine gravierende Inkonsistenz bedeuten.

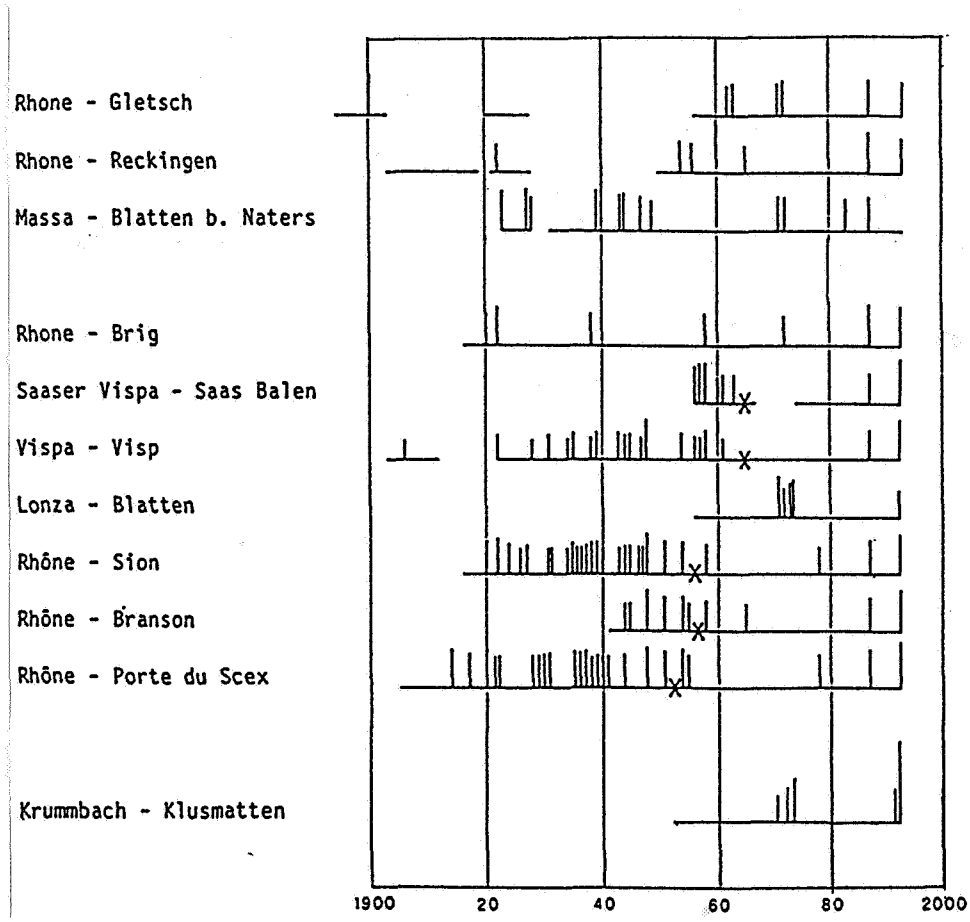


Abb. 12: Schwellenwertdarstellung monatlicher Hochwasser > HQ10 im Einzugsgebiet der Rhone.

Die Abbildung zeigt mit aller Deutlichkeit die schwerwiegenden Konsequenzen eines Eingriffs in den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes. Die Hochwasser unterhalb eines bestimmten und von den jeweiligen Verhältnissen abhängigen Schwellenwertes werden vollständig eliminiert. Daraus resultiert eine trügerische Sicherheit, denn es kann nicht verhindert werden, dass die wirklich extremen Hochwasser trotzdem auftreten. Dazu kommt, dass das Gefährdungspotential im Vergleich zu früheren Zeiten fallweise eher grösser sein dürfte, da sich das Flussbett als Folge der neuen Verhältnisse verändern kann (Akkumulation von Geschiebe, Einwachsen der Vegetation) und im Katastrophenfall nicht mehr in der Lage ist, die anfallenden Wasser- und Feststoffmassen zu bewältigen.

4.3 Abflussvolumen

Neben den Hochwasserspitzen sind die abgeflossenen Hochwasservolumen für verschiedene Fragestellungen wichtige Eingangsgrössen. Es werden deshalb in den Tabellen 5 und 6 entsprechende Grundlagendaten präsentiert. Das Hochwasser vom 24./25. September hat bereits mit Niederschlägen am 22. seinen Anfang genommen. Aufgrund der Ganglinie kann das Ende des Ereignisses auf den 27.9. gelegt werden. Ausgehend von den Daten in Tabelle 5 wurden die Gesamtabflussvolumen in Tabelle 6 berechnet. Mit einer linearen Basisabflusstrennung über die gesamte Hochwasserperiode vom 22.-27.9. wurde das Basisabflussvolumen und das Direktabflussvolumen berechnet.

In Tabelle 6 wird die Bedeutung der Ableitung aus dem Mattertal zum Lac des Dix deutlich. Da es sich um ein Hochwasserereignis handelt, kann man davon ausgehen, dass die abgeleitete Wassermenge von rund 14.5 Mio. m^3 ein Teil des Direktabflussvolumens darstellt und in den entsprechenden Mengen der untenliegenden Stationen fehlt. Das rekonstruierte (natürliche) Direktabflussvolumen vervielfacht sich für die Station Randa von 2.9 Mio m^3 auf 17.4 Mio. m^3 (entsprechend 55 mm), für die Station Visp erhöht es sich von 27,6 Mio. m^3 auf 42 Mio. m^3 (54 mm). Zusätzlich muss in bezug auf die Station Vispa-Visp das im Speicher Mattmark über diese Zeitperiode zurückgehaltene Volumen von rund 8 Mio. m^3 (EGL, 1993) berücksichtigt werden. Damit steigt für Vispa-Visp das rekonstruierte (natürliche) Direktabflussvolumen auf rund 50 Mio. m^3 (entsprechend 64 mm).

Auch die in Tabelle 6 aufgeführten Direktabflussvolumen an Stationen, welche unterhalb von Visp an der Rhone liegen, sind durch den Rückhalt in den Speichern vermindert. So wurden im Zeitraum vom 22.-27.9.93 beispielsweise sowohl im Lac des Dix als auch im Lac de Mauvoisin auch je rund 8 Mio. m^3 zurückgehalten (Bonvin, 1993; EGL, 1993).

Mit den rekonstruierten Daten wird deutlich, dass im Oberwallis und in den oberen südlichen Seitentälern grosse Wassermengen abgeflossen sind: innerhalb des 6 Tage dauernden Ereignisses zwischen 55 und 120 Liter/m^2 (mm).

Tab. 5: Gemessene mittlere Tagesabflüsse während des Hochwassers vom 22.-27.9.1993 im Wallis. Bemerkung: Die Abflüsse aller Stationen unterhalb von Brig sind zum Teil stark durch Ueberleitungen und Rückhalt in Speichern beeinflusst.

Mittlerer Tagesabfluss in m^3/s						
Name der Station	22.09.	23.09.	24.09.	25.09.	26.09.	27.09.
Rhone - Gletsch	6.26	11.8	15.9	13.9	6.69	4.23
Goneri - Oberwald	4.96	14.8	24.1	21.3	9.22	6.38
Rhone - Reckingen	21.0	52.8	88.7	72.8	27.7	18.9
Massa - Blatten bei Naters	21.2	30.5	57.6	60.6	27.0	14.9
Rhone - Brig	85.4	184	304	233	102	70.0
Hauptstollen - Hohwäng	30.0	29.0	22.9	22.8	39.9	22.6
Matter Vispa - Randa*	5.22	10.5	22.7	16.3	7.12	6.78
Vispa - Visp*	20.1	36.7	203	130	34.2	30.4
Rhône - Sion	139	308	507	516	246	182
Rhône - Branson	145	323	522	626	313	232
Drance - Martigny	8.21	8.48	27.9	26.9	18.4	14.2
Rhône - Porte du Scex	182	347	550	819	402	300

* beeinflusst durch die Ableitung Hauptstollen Grande Dixence - Hohwäng

Tab. 6: Gemessene Gesamtabflussvolumen sowie berechnete Basisabfluss- und Direktabflussvolumen während des Hochwasserereignisses vom 22.-27.9.1993 im Wallis. Bemerkung: Die Volumen aller Stationen unterhalb von Brig sind zum Teil stark durch Ueberleitungen und Rückhalt in Speichern beeinflusst.

Abflussvolumen Rhonegebiet 22. - 27.9.1993				
Name der Station	Abfluss-volumen m^3	Basis-abfluss m^3	Direkt-abfluss m^3	Direkt-abfluss mm
Rhone - Gletsch	5'079'000	1'985'000	3'094'000	80
Goneri - Oberwald	6'978'000	2'265'000	4'713'000	118
Rhone - Reckingen	24'356'000	7'284'000	17'072'000	79
Massa - Blatten bei Naters	18'299'000	8'087'000	10'212'000	52
Rhone - Brig	84'534'000	24'909'000	59'625'000	65
Hauptstollen - Hohwäng	14'446'000			
Matter Vispa - Randa*	5'927'000	2'945'000	2'982'000	9
Vispa - Visp**	39'260'000	11'685'000	27'575'000	35
Rhône - Sion	163'987'000	69'984'000	94'003'000	28
Rhône - Branson	186'710'000	83'462'000	103'248'000	28
Drance - Martigny	8'993'000	5'205'000	3'788'000	6
Rhône - Porte du Scex	224'640'000	131'414'000	93'226'000	18

* beeinflusst durch die Ableitung Hauptstollen Grande Dixence - Hohwäng

** zusätzlich beeinflusst durch Rückhalt von 7'740'000 m^3 im Speicher Mattmark (EGL, 1993)

4.4 Feststoffe

Die Ereignisse vom 24. September 1993 im Wallis führten zu teilweise massiven Schäden. Wie in alpinen Einzugsgebieten häufig feststellbar, waren vor allem die durch die Fliessgewässer transportierten Geschiebemengen ein wichtiger schadenbringender Faktor. Interessant ist die Feststellung, dass viele der Bäche fast gleichzeitig, am 24. 9. 1993 am späteren Nachmittag um ca. 16 Uhr, ausgebrochen sind (z. B. Saltina bei Brig, Dorfbach Randa).

Die für die Ereignisse vom 24. September massgebenden Abflüsse ergaben sich aus einer mehrtägigen Niederschlagsperiode, welche die Schweiz von Süden her erfasste. Der Beginn des Niederschlags setzte am 22. 9. 1993 ein und dauerte im Bereich der geschädigten Gebiete im Oberwallis bis in die Nacht zum 25. September. Somit waren die geschiebeführenden Ereignisse im Wallis nicht das Resultat eines kurzen, heftigen Niederschlages, sondern wurden durch einen längerdauernden Regen ausgelöst, dessen Bedeutung vor allem in der mehrtägigen Niederschlagssumme zu suchen ist: so lag z.B. die geschätzte 1-Tages-Wiederkehrperiode für Simplon-Dorf bei 35 Jahren, die Wiederkehrperiode für 2 Tage bei 70 Jahren (Grebner, 1993).

4.4.1 Datengrundlage

Daten von abgelagerten Kubaturen in Geschiebesammlern sind für den Kanton Wallis nur in zwei Fällen (Dorfbach Randa, Tummigbach, beide im Mattertal) erhältlich gewesen. Die untenstehenden Daten entstammen somit in erster Linie den Schätzungen von Ablagerungen auf Kegeln oder andern dafür prädestinierten Stellen. Die Daten wurden von Fachleuten vor Ort erhoben. Zur Zeit wird der Feststofftransport in der Saltina durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich detaillierter untersucht. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 31 werden überdies die Geschiebeverhältnisse im Wallis, speziell Murgänge, von der Firma GEO 7 erfasst.

4.4.2 Schätzungen aus Einzugsgebieten

Im Wallis sind folgende Gebiete von den Ereignissen des Septembers 1993 betroffen gewesen:

- Mattertal
- Saastal
- Region Simplon
- Binntal
- Obergoms
- Uebriges Wallis

Die in den einzelnen Seiteneinzugsgebieten verlagerten Feststoffkubaturen sind, soweit heute bekannt, in Tab. 7 zusammengestellt. Die Daten beinhalten vor allem die grösseren Ereignisse und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab. 7: Feststoffkubaturen der Ereignisse vom 24. September 1993 im Wallis.

Einzugsgebiet	Einzugs-gebiet km^2	Name des Vorfluters	Feststoff-kubatur m^3	Feststoff-eintrag in Vorfluter
Ritigraben	1.4	Matter Vispa	30'000-50'000	praktisch alles
Schparruzug	1.3	Matter Vispa	'einige tausend'	praktisch nichts
Blattbach	7.9	Matter Vispa	'einige tausend'	praktisch nichts
Grosse Grabe	1.1	Matter Vispa	ca 10'000	ein Grossteil
Tummigbach	6.7	Matter Vispa	2'000 - 3'000	praktisch nichts
Fallzug	1.8	Matter Vispa	'wenig'	wenig
Geisstriftbach	4.9	Matter Vispa	1'000-2'000	wenig
Dorfbach	5.6	Matter Vispa	8'000	praktisch nichts
Leidbach	4.8	Saaser Vispa	1000-5'000	wenig
Gamsa	38.5	Rhone	110'000-150'000	wenig
Saltina	77.7	Rhone	250'000	wenig
Gerental	40.0	Rhone	30'000	wenig

Quellen: Geo 7(1994), ausgenommen Gamsa (Ingenieurbüro Bodenmann - Schmidt-Andenmatten & Partner 1994), Saltina und Gerental (Baudepartement Wallis, 1994)

Mattertal

Die Matter Vispa führte Hochwasser, welches jedoch keine bedeutenden Geschiebeverlagerungen bzw. Schäden zur Folge hatte. In verschiedenen Seiteneinzugsgebieten wurden durch Murgänge teilweise grössere Geschiebebeträge talwärts verlagert (Abb. 13). Oberhalb von Täsch erreichte ein aus dem Gebiet des Mettelhornes stammender Murgang die Galerie der Brig-Visp-Zermatt-Bahn (BVZ). Kleinere Geschiebeverlagerungen ereigneten sich zudem in mehreren Seitengerinnen, ohne jedoch Schäden zu bewirken (Geo 7, 1993).

Der grösste Murgang im Mattertal war derjenige aus dem Ritigraben, welcher die Matter Vispa aufstaute. Die Strasse und am gegenüberliegenden Ufer die Geleise der BVZ wurden unterbrochen. Der durch den Aufstau entstandene See überflutete die Abwasserreinigungsanlage St. Niklaus.

Unterhalb der Bacheinmündungen des "Grosse Grabe" und des Blattbaches wurden grössere Auflandungen festgestellt, deren Material grösstenteils diesen beiden Bächen entstammte. Infolge Mäandrierens der Vispa kam es unterhalb der besagten Stelle zu Ufererosionen (Geo7, 1993) und damit zu weiteren Geschiebeeinträgen in den Vorfluter.

Im Dorfbach bei Randa haben sich bereits 1991 (grösseres Ereignis als 1993) und 1992 Murgänge ereignet (Ingenieurgemeinschaft Umleitung Vispa, 1993). Diesmal wurden Ablagerungen an zwei Stellen festgestellt: bei der erst kürzlich erstellten 'Murbremse' (Gitterrost zur Trennung von Geschiebe und Feinmaterial/Wasser) auf ca. 1530 m ü.M. lagerten sich ca. 1500 - 2000 m^3 Murgangmaterial ab; der Rest von ca. 5000 - 6000 m^3 erreichte den Geschiebesammler bei der Vispa. Die vorhandenen Bauwerke verhinderten einen möglichen Aufstau der Vispa.

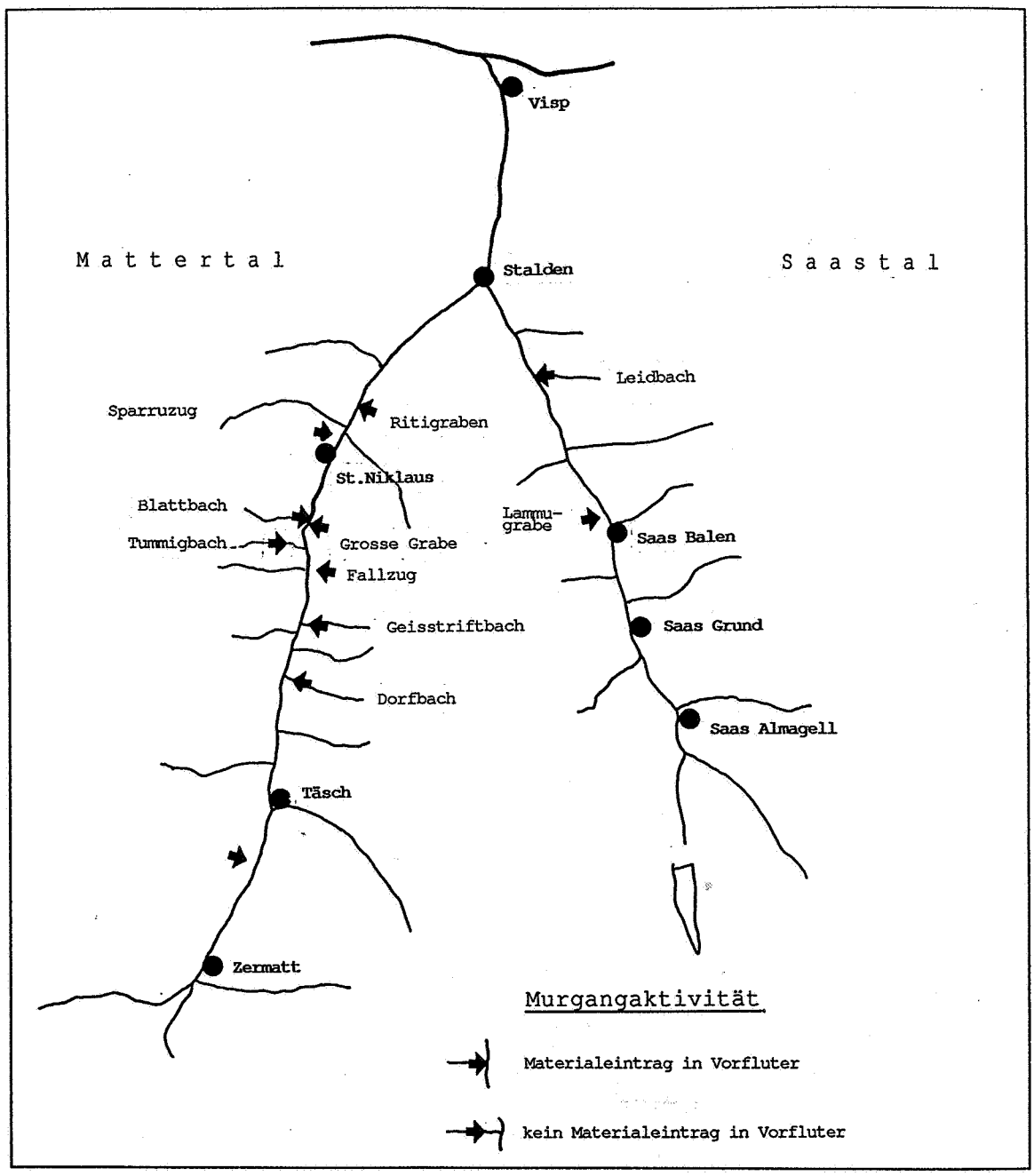


Abb. 13: Murgangaktivität (nur grössere Ereignisse) und der dadurch verursachte Materialeintrag in die Matter und Saaser Vispa (ergänzt nach Geo 7, 1993)

Saastal

Im Saastal fiel die geringe Aktivität der Seitengerinne auf. Murgänge ereigneten sich im Lammugrabe nördlich Saas Balen und im Leidbach bei Eisten (Abb. 13). Der grösste Teil der Geschiebeumlagerung jedoch fand in der Saaser Vispa statt. Oberhalb Saas Almagell verliess die Vispa zum Teil ihr Bett und zerstörte die Strasse nach Mattmark. Ein Geschiebeanteil wurde bis nach Saas Almagell verfrachtet und dort abgelagert.

Der Feststofftransport während des Ereignisses in der Saaser Vispa konnte für den Abschnitt Saas Almagell bis Saas Balen teilweise quantifiziert werden. So wurden über 100'000 m^3 Material auf Lastwagen weggeführt (Baudepartement Wallis, 1994).

Interessant waren die unterschiedlichen Auswirkungen der Septemberniederschläge auf den Geschiebehaushalt der beiden Haupttäler des Matter- und Saastals: bei vergleichbarer Disposition war im Saastal vor allem der Hauptbach aktiv, im Mattertal vor allem die Seitengerinne. Von der Niederschlagsseite her betrachtet erscheint eine derartige Ausprägung nicht logisch und bedürfte einer näheren Untersuchung.

Simplongebiet

Die grössten Schäden wurden durch die Saltina in Brig verursacht. Die spezielle Konfiguration Kanal/Strassenbrücke führte zum Ausbruch der Saltina, welche vor allem in das rechts vom Kanal gelegenen Quartier Geschiebe entlang der Strassen führte und verheerende Schäden anrichtete. Strassen und Gebäude wurden meterhoch mit Feststoffen überdeckt. Die von verschiedenen Stellen geschätzte Feststoffkubatur in Brig dürfte gegen 250'000 m^3 betragen haben. Davon wurden ca. 30'000 m^3 als Geschiebe, der Rest als Feinmaterial ermittelt. Von den drei Teileinzugsgebieten der Saltina führte der Nesselbach nur wenig, die Taferna hingegen in bedeutendem Masse Geschiebe. Am meisten Feststoffe wurden aus dem Ganterbach registriert.

Die Feststoffverlagerung in der Gamsa wurde auf ca. 110'000 - 150'000 m^3 geschätzt und die Wasser- und Geschiebeverhältnisse während des Ereignisses rekonstruiert (Ingenieurbüro Bodenmann-Schmidt-Andenmatten & Partner, 1994). Hier waren neben dem Hauptgerinne besonders auch die Seitengerinne und Runsen im südlichen Teil des Einzugsgebietes aktiv. Der Grossteil des schliesslich abgelagerten Materials stammte aus der relativ steilen Schluchtstrecke, in welcher die Sohle deutlich erodiert worden ist.

Weitere vom Unwetter beeinträchtigte Gebiete waren das südliche Simplongebiet mit den beiden Bächen Zwischbergenbach und Doveria. Quantitative Abschätzungen waren im Rahmen der bisherigen Untersuchungen nicht möglich.

Im Zwischbergenbach waren die Feststoffumlagerungen nicht sehr bedeutend. Einzelne Strassenschäden waren allerdings zu verzeichnen. Weit grössere Erosionen fanden in der Doveria statt (Baudepartement Wallis, 1994). Auch wenn diese nicht beziffert werden konnten, müssen die Feststoffumsätze viel höher als im Zwischbergenbach gewesen sein. Die Schäden an der Strasse waren beträchtlich. Beispielsweise wurde die Simplonstrasse zwischen Gondo und Gabi an

einer Stelle auf ca. 70 m komplett weggespült und in Gondo waren einige Gebäude durch drohende Unterspülungen gefährdet.

Binntal

Die Binna erodierte sich gegen Heiligkreuz teilweise ein neues Bachbett. Der Feststoffumsatz dürfte jedoch insgesamt etwas geringer ausgefallen sein als in der Doveria.

Obergoms

Im Obergoms war vor allem die Rotte aktiv und verursachte kleinere Schäden. Aus dem Gerental wurde ebenfalls Geschiebe verlagert. Der Sammler bei Oberwald füllte sich, was grob geschätzt einer Kubatur von ca. 30'000 m^3 entsprechen dürfte (Baudepartement Wallis, 1994).

Uebriges Wallis

Neben den erwähnten Ereignissen gab es zusätzlich in weiteren Einzugsgebieten unbedeutende Feststoffverlagerungen. Im Raum Pfynwald beispielsweise entstanden einige Schäden durch die Rhone, wobei hier die Feststoffe eine eher untergeordnete Rolle gespielt haben dürften.

Fazit

Aus Tab. 7 ist zu ersehen, dass der grösste Teil der Feststoffverlagerung eine insgesamt geringe Relevanz für den Vorfluter aufwies, weil das Material diesen meistens nur partiell erreichte. Dies ist einerseits den natürlichen Bedingungen (Kegel), andererseits baulichen Massnahmen (Geschiebesammler, Murbremse) zuzuschreiben. Das in den Hauptflüssen insbesondere des Matter- und Saastales verlagerte Feststoffvolumen stammte deshalb hauptsächlich aus dem eigenen Gerinne. Als besonderer Fall muss das Ereignis bei Brig bezeichnet werden, dessen Feststoffverlagerung in die Stadt das Resultat einer speziellen Konfiguration von Abflusskanal und Strassenbrücke war.

Die Ereignisse von 1993 im Oberwallis waren - was die Geschiebeverlagerung betrifft und soweit dies anhand der Datenlage beurteilt werden kann - mit Ausnahme des Ritigrabens, der Gamsa und der Saltina nicht sehr ungewöhnlich. Die spezifischen Feststoffkubaturen in Abb. 14 zeigen einen Vergleich mit früheren Ereignissen in der Schweiz. Daraus ist zu ersehen, dass die Feststoffkubaturen der Ereignisse von 1993 in vier Fällen (Riale Vallone aus dem Kanton Tessin zusätzlich zu den drei walliser Bächen; vgl. Kap. 5. 4) nahe der Obergrenze bisheriger Beobachtungen einzuordnen sind. Die Feststoffverlagerungen in den übrigen Bächen weisen aufgrund von Abb. 14 keine extremen Werte auf. Die Wiederkehrperioden der abgelagerten Feststofffrachten dürften deshalb in diesen Bächen relativ klein sein.

Wo grosse Schäden entstanden, waren nicht ausschliesslich die Geschiebemengen, sondern in erster Linie unglückliche Umstände (Brig) oder ungeeignete Standorte von Gebäuden (v. a. Saaser Vispa) verantwortlich.

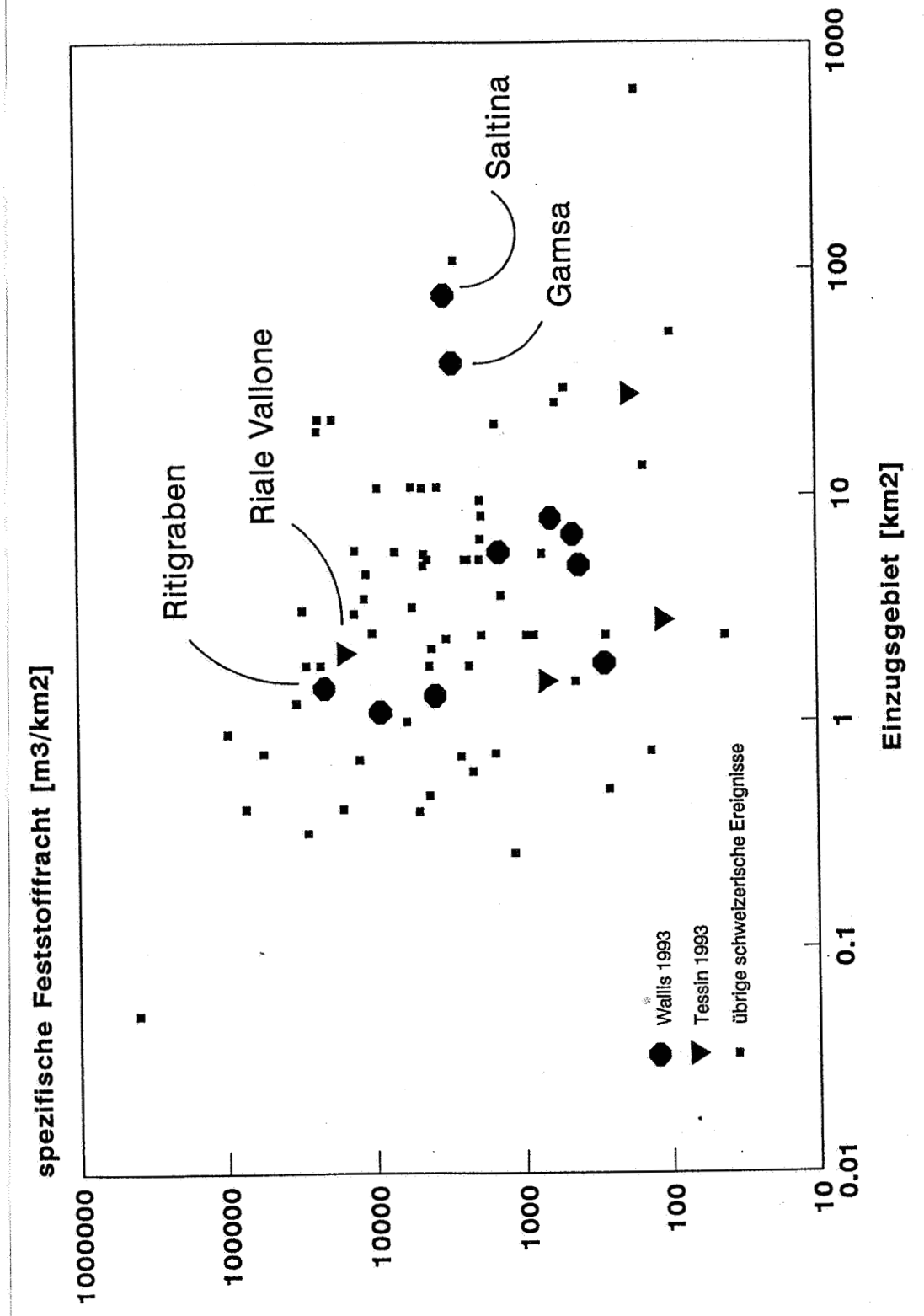


Abb. 14: Spezifische Feststofffrachten der Ereignisse 1993 in den Einzugsgebieten im Wallis und Tessin. Vergleich mit früheren schweizerischen Ereignissen.

5. Die Hochwasser im Tessin im September und Oktober

Die nachfolgenden Analysen der im Tessin aufgetretenen Hochwasser stützen sich hauptsächlich auf die Beobachtungen der Landeshydrologie und -geologie. Zusätzlich zu diesen Beobachtungen stehen durch Vermittlung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft die Seeausflussdaten am Ende des Lago Maggiore, in Sesto Calende, zur Verfügung (vgl. Kap. 5.3).

Die Karte in Abb. 5 (Kap. 3) gibt eine Uebersicht über die zur Verfügung stehenden Stationen. In Tabelle 8 sind zu den einzelnen Messstationen einige Einzugsgebietsparameter und Bemerkungen zur Beeinflussung durch Kraftwerke zusammengestellt.

Tab. 8: Einzugsgebietsparameter für die diskutierten Einzugsgebiete im Tessin. In der Spalte "Bemerkungen" finden sich Angaben zur Beeinflussung durch Kraftwerke (KW). Einzelne Einzugsgebiete gehören zum Netz der "Hydrologischen Untersuchungsgebiete" (HUG).

Name der Station	Einzugsgebiet km^2	Mittlere Höhe m ü.M.	Höchster Punkt m ü.M.	Tiefster Punkt m ü.M.	Vergletscherung %	Bemerkungen
Ticino - Piotta	158	2060	3192	1007	1.8	KW und Ableitungen
Ticino - Polleglo	444	1794	3192	298	0.96	KW und Ableitungen
Brenno - Loderio	397	1820	3402	348	1.1	KW und Ableitungen
Calancasca - Buseno	120	1915	3152	746	1.1	Ableitungen
Moesa - Lumino	471	1662	3152	249	0.41	KW
Ticino - Bellinzona	1515	1680	3402	220	0.7	KW und Ableitungen
Verzasca - Lavertezzo	185	1661	2864	490	0	HUG
Riale di Pincascia - Lavertezzo	44.4	1708	2521	536	0	HUG
Riale di Calneggia - Cavergno	24.0	1996	2921	885	0	HUG
Maggia - Bignasco	315	1890	3274	432	1.9	KW und Ableitungen
Maggia - Locarno	926	1530	3274	202	0.9	KW und Ableitungen
Lago Maggiore - Locarno	6562	1293	3402	193	0.25	

5.1 Lago Maggiore: Ganglinien der Zuflüsse, des Abflusses und des Seestandes

Eine Uebersicht über den Ablauf des Hochwassers rund um den Lago Maggiore geben Abb. 15 in hoher zeitlicher Auflösung von Stundenwerten für das gesamte Hochwasserereignis und Abb. 16 in Tagesschritten über den gesamten Zeitraum von 2 Monaten. Als Messdaten liegen den Graphiken zugrunde: Abflussmessungen an der Maggia, der Verzasca, des Ticino und der Tresa (die Summe dieser Messungen wird in Abb. 16 als "Zuflüsse aus der Schweiz" bezeichnet); Seeausflussdaten von Sesto Calende; Wasserstandmessungen in Locarno und Brissago.

Ausgehend von einer konstanten Seefläche kann die Aenderung des Seevolumens und, zusammen mit dem bekannten Abfluss aus dem See, der gesamte Zufluss zum See, (Niederschlag auf die Seefläche inbegriffen) leicht berechnet werden.

Der Verlauf der Niederschläge ist in Abb. 1 (Kapitel 2) dargestellt.

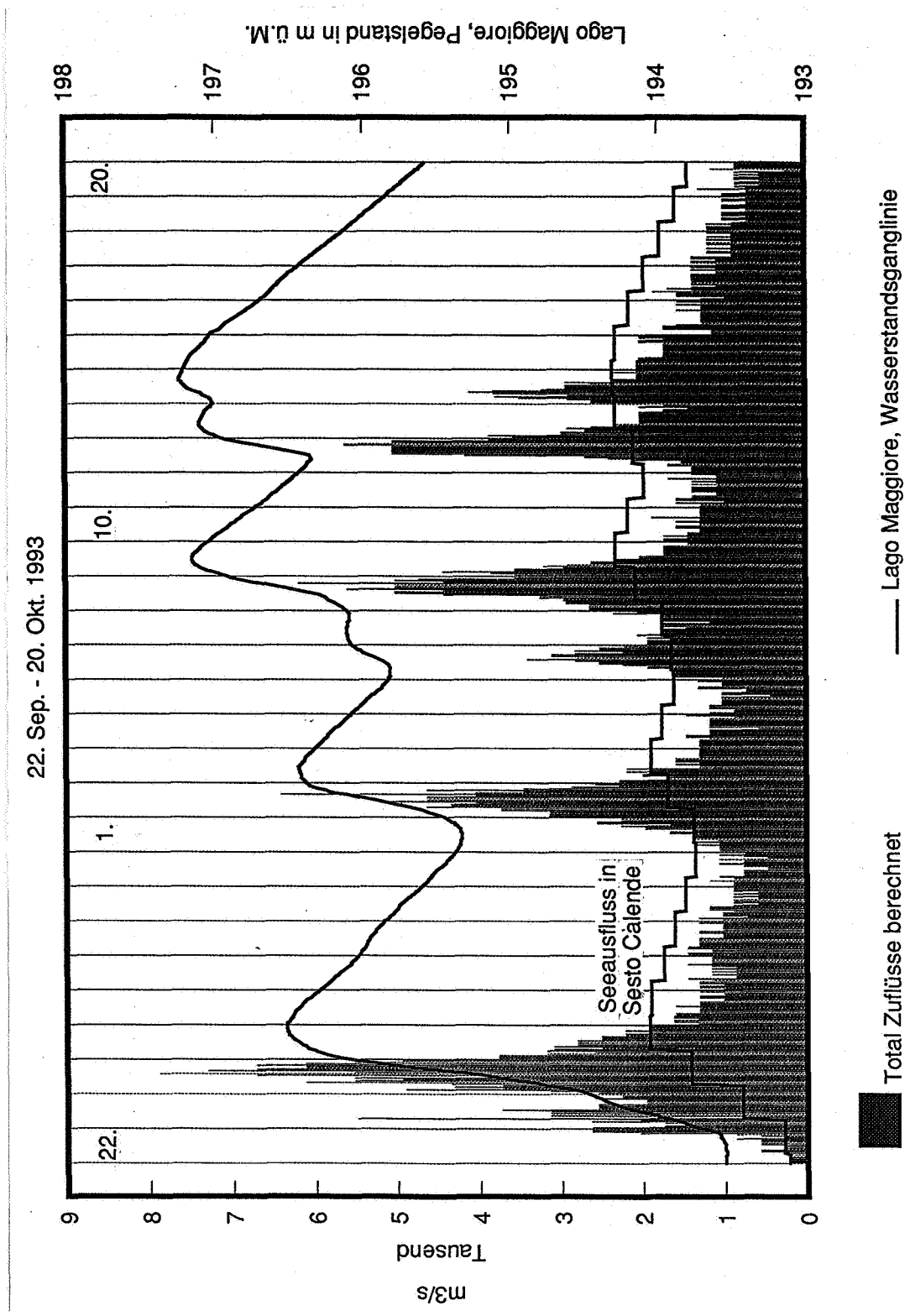


Abb. 15: Hochwasser im Lago Maggiore: Verlauf des See-Wasserstandes (Stundenwerte), der berechneten Summe aller Zuflüsse (inklusive Niederschlag auf die Seefläche) und des Seeabflusses.

Abb. 16: Lago Maggiore: See-Wasserstand, Summe der wichtigsten gemessenen Zuflüsse aus der Schweiz (Maggia, Verzasca, Ticino, Tresa), berechnete Summe aller übrigen Zuflüsse und Seeabfluss. Verlauf der Tagesmittelwerte der Monate September und Oktober 1993.

5.2 Hochwasserspitzen

5.2.1 Messdaten

Die Hochwasser 1993 im Tessin haben einen anderen Charakter als diejenigen im Wallis. Hier ist es die langandauernde, niederschlagsreiche Witterung, die zum Anschwellen der Flüsse und zur Ausuferung des Lago Maggiore führt. Dieser erreicht einen neuen Jahrhundert-Höchstwasserstand. Die Zusammenstellung der wichtigsten Werte in Tabelle 9 zeigt, dass mit Ausnahme des Brenno-Loderio alle beobachteten Messstationen im Einzugsgebiet des Ticino nur durchschnittliche bis leicht erhöhte Hochwasserspitzen (Wiederkehrperiode 2-6 Jahre) aufweisen. Die Jahreshöchstwerte 1993 wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen dem 13. September und dem 25. Oktober erreicht.

Tab. 9: Übersicht der Hochwasserabflüsse bzw. Wasserstände 1993 und der Hochwasserstatistik im Einzugsgebiet des Ticino.
(Legende siehe Tab. 2, Seite 29)

Abfluss - Messstation	n [a]	HHQ [m3/s]		HQ1993 [m3/s]	P1993 [m]	Datum	HQ100 [m3/s]	T [a]
Ticino - Piotta	69	1987:	213	77	8.80	24.09.	170	3
Ticino - Pollegio	7	1992:	640	500	3.18	12.10.		
Brenno - Loderio	64	1987:	515	470	7.60	12.10.	420	200
Calancasca - Buseno	42	1983:	420	130	8.45	12.10.	455	< 2
Moesa - Lumino	81	1951:	900	260	11.52	25.09.	890	< 2
Ticino - Bellinzona	80	1927:	1500	1210	13.91	12.10.	1770	6
R. d. Pincascia - Lavertezzo	1			205	4.06	12.10.		
Verzasca - Lavertezzo	4	1992:	720	560	9.25	12.10.		
R. d. Calneggia - Cavergno	27	1987:	105	66	2.28	24.09.	120	5
Maggia - Bignasco	12	1992:	650	480	4.01	13.09.		
Maggia - Locarno	18	1978:	4500	1730	14.80	23.00.	6250	< 2
Lago Maggiore	127	1868: P= 10.23m			7.23	14.10.	P= 8.15	40

Extreme Abflusswerte werden bei der Station Brenno-Loderio verzeichnet. Die Abflussspitze ist mit 470 m^3/s nicht mehr ganz so gross wie 1987 (515 m^3/s). Nach wie vor sind diese beiden Ereignisse aber einmalig in der Stationsgeschichte. Die nächstgrösseren Hochwasser sind um 150-200 m^3/s kleiner. Aufgrund der Wahrscheinlichkeitsanalyse kann das Ereignis von 1993 als ca. 200-jährliches Hochwasser eingestuft werden. Die Messreihe der Jahresmaxima und das entsprechende Frequenzdiagramm ist im Anhang dargestellt.

Die Darstellung der höchsten beobachteten Abflussspenden in Abhängigkeit der Einzugsgebietsfläche (Abbildung 17) bestätigt das generelle Bild der nur durchschnittlichen Wasserführung der Fliessgewässer im Tessin. Die Hochwasserspitzen liegen unter den bisher registrierten Abflusshöchstwerten. Der hohe Wert für die Station Riale di Pincascia-Lavertezzo muss wegen der kurzen Betriebsdauer der Station relativiert werden.

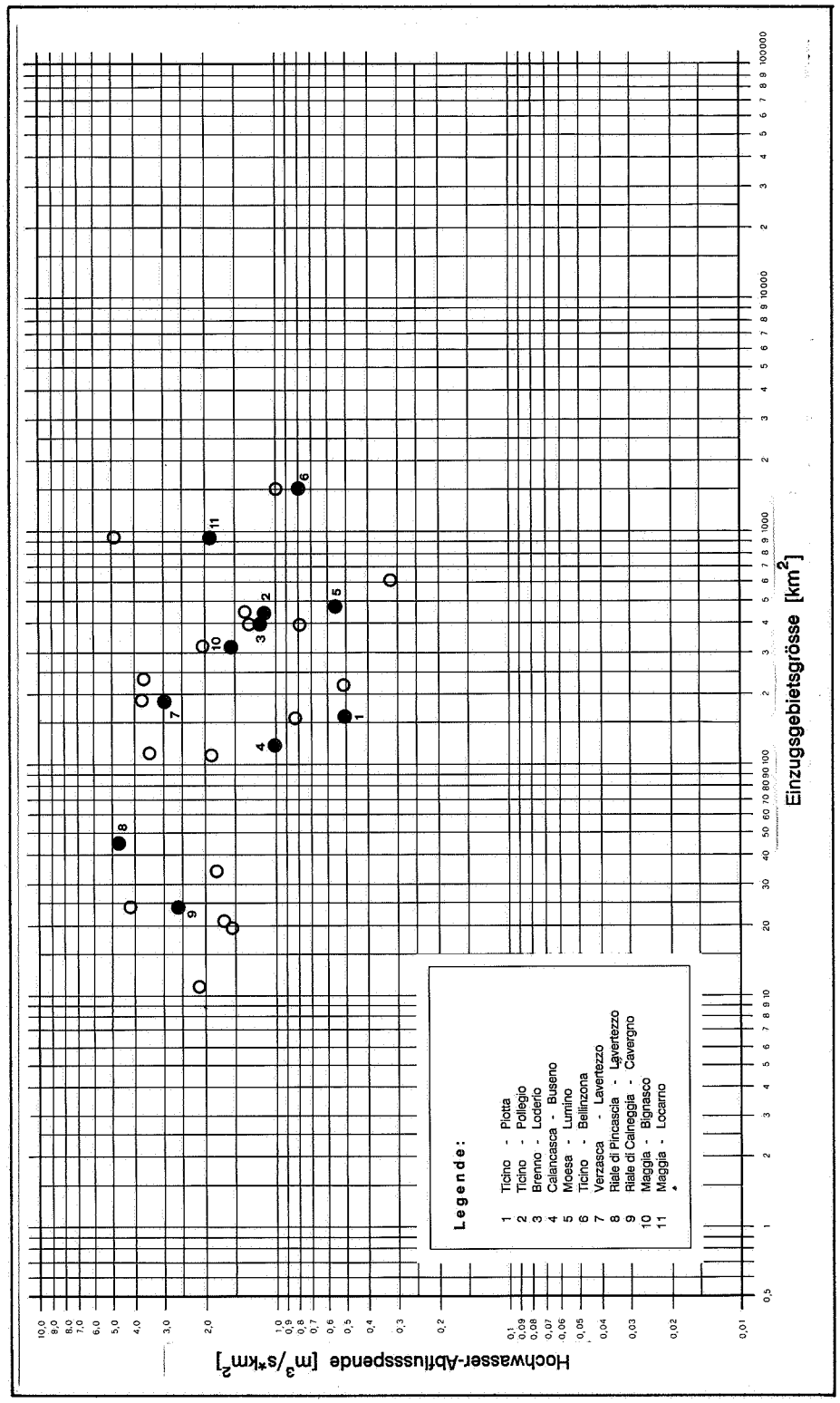


Abb. 17: Höchste beobachtete Abflussspenden im Einzugsgebiet des Ticino in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse (doppelt-logarithmische Darstellung).
● Abflussspenden des Hochwassers 1993

Die Hochwassergrenzwertpegel im Einzugsgebiet des Tessin sind mit einer Ausnahme erst seit 1988 in Betrieb (Tabelle 10). Dadurch fehlt das Hochwasserjahr 1987 in den Datenreihen und die Werte für 1993 lassen sich nur schlecht einordnen. Immerhin zeigt die Station Calancasca-Grono, seit 1986 in Betrieb, dass die Hochwasser von 1993 mit 110 m^3/s deutlich kleiner als 1987 (230 m^3/s) sind. Dies passt ins Bild, das sich von den Daten des konventionellen Abflussmessnetzes gewinnen lässt.

Tab. 10: Berechnete Abflüsse aus Beobachtungen an den Hochwassergrenzwertpegeln im Tessin. Diese Abflussmengen können, abhängig von den getroffenen Berechnungsannahmen, mit erheblichen Fehlern behaftet sein.

Hochwassergrenzwertpegel im Tessin - Gebiet				
Name	in Betrieb seit	Gebiets - fläche km^2	bisher höchstes Q m^3/s	Q_{max} 1993 m^3/s
Ticinetto - Chironico	1988	26.2	65	67
Riale di Brugaio - Brugaio	1988	1.84	1	3
Calancasca - Grono	1986	141	230	110
Sementina - Sementina	1988	10.2	37	18
Riale della Valte - Rovana	1988	1.07	10	
Riveo - Riveo	1988	0.41	3	2
Brima - Losone	1988	2.79	9	10
Sacro Monte - Brissago	1988	4.86	19	<16
Ghigirone - Gerra	1988	1.84	14	2
Riale di Toricella - Toricella	1988	0.27		
Riale di Cusella - Sigirino	1988	8.19	21	16
Riana - Bioggio	1988	1.15	5	2

Lago Maggiore

Ausserordentlich sind die Verhältnisse am Lago Maggiore. Der See erreicht am 14.Oktober 1993 mit 197.23 m ü.M. einen Jahrhundert-Höchststand. Dies ist der dritthöchste Wasserstand seit Beginn der systematischen Beobachtung (1867) durch das damalige Hydrometrische Zentralbüro der Abt. Bauwesen des Schweizerischen Departementes des Innern. Der Höchststand der Beobachtungsreihe stammt aus dem Jahr 1868. Damals stieg der Seespiegel noch um volle drei Meter höher auf 200.23 m ü.M (Abb. 18). Aus alten Jahrbüchern sind uns zusätzlich Angaben über Höchststände aus historischer Zeit überliefert. Die Messreihe von 1867-1993 lässt sich im Bereich der höchsten Wasserstände wie folgt ergänzen:

1.	Oktober	1868	200.23	m ü.M.
2.		1705	199.05	
3.		1640	198.85	
4.		1777	198.62	
5.		1755	197.80	
6.		1840	197.74	
7.	Mai	1872	197.32	
8.	Oktober	1993	197.23	
9.	Oktober	1907	197.21	

Die übrigen Höchststände liegen unterhalb der Kote 197.00 m ü.M. Unter Einbezug der historischen Quellen würde das Hochwasser von 1993 Rang 8 einnehmen. Die Wiederkehrperiode, berechnet aufgrund der Datenreihe 1867-1993, liegt bei nur ca. 40 Jahren. Dies hängt damit zusammen, dass der Höchstwert so stark von der übrigen Datenreihe abweicht (vgl. Anhang).

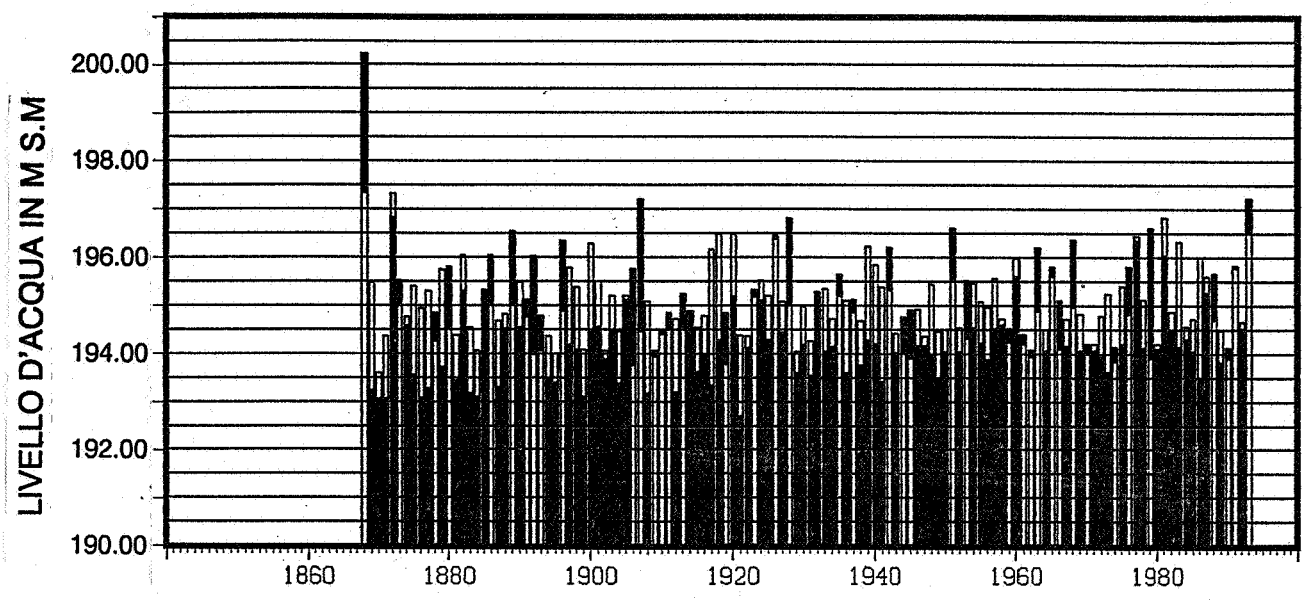


Abb. 18: Zeitreihe der Jahreshochwasser am Pegel Lago Maggiore-Locarno (schwarze Säule: Hochwasser im Winterhalbjahr weisse Säule: Hochwasser im Sommerhalbjahr)

5.2.2 Datengüte

Im vorliegenden Abschnitt wird für jede Abflussmessstation, ausgehend von einer Beurteilung der Wasserstandsaufzeichnung, des Messquerschnittes und der Wasserstand-Abfluss-Beziehung eine qualitative Aussage über die Güte der Hochwasserbestimmung gemacht.

In Bezug auf die Hochwassergrenzwertpegel muss darauf hingewiesen werden, dass die angegebenen Abflussmengen mit teilweise erheblichen Fehlern behaftet sein können, da keine Eichmessungen vorliegen und für die Berechnung Annahmen über Rauhigkeitsbeiwerte, Anströmgeschwindigkeiten etc. getroffen werden mussten.

Ticino-Piotta

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle mit Messschwelle und Blockwurfböschung) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 45% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Ticino-Pollegio

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle mit Messschwelle und Blockwurfböschung) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 30 % des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Brenno-Loderio

Der Messbereich der Limnigraphenanlage ist überschritten und die Apparatekabine teilweise überflutet worden.

Möglicherweise ist der Brenno durch den flussabwärts einmündenden linken Seitenbach zeitweise etwas eingestaut worden. Das Flussbett (Natursohle, Blockwurfböschung) hat sich im Stationsbereich leicht verbreitert. Der Extremwasserstand ist aufgrund von Spuren zuverlässig ergänzt worden. Der Verlauf der Wasserstandsganglinie im Spitzenbereich ist unsicher. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 6%(!) des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist unsicher.

Calancasca-Buseno

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (befestigte Messrinne mit Ueberfall) praktisch unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 25% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist ziemlich genau.

Moesa-Lumino

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut. Im Bereich der Messstation (Natursohle und Blockwurfböschung) hat sich eine grosse Kiesbank gebildet, die aber für die Hochwasserbestimmung von

untergeordneter Bedeutung ist. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 85% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Ticino-Bellinzona

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle und Blockwurfböschung) unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 85% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Riale di Pincascia-Lavertezzo

Die Limnigraphenaufzeichnung ist unvollständig, da die Messleitung kurz nach Erreichen des Maximalwasserstandes weggerissen worden ist. Die Aufzeichnung des Maximalwasserstandes ist durch enorme Schwankungen gestört. Das Flussbett (natürliches Gerinne im Fels) ist nur leichtverändert. Der Verlauf der Wasserstandsganglinie ist nach der Verzasca ergänzt worden.

Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 6% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist unsicher.

Verzasca-Lavertezzo

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (natürliches Gerinne im Fels) ist unverändert. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 15% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist ziemlich genau.

Riale di Calneggia-Cavergno

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (natürliches Gerinne im Fels) unverändert. Der störende Einfluss von stehenden Wellen auf die Wasserstandsregistrierung muss noch untersucht werden. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 70% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Maggia-Bignasco

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und die Flussbettveränderung (Auflandung vor Messschwelle mit Stahlmessrinne) für die Hochwasserbestimmung nicht von Belang. Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 60% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist genau.

Maggia-Locarno

Die Limnigraphenaufzeichnung ist gut und das Flussbett (Natursohle mit Blockwurfböschung) ziemlich stabil. Die Strömungsverhältnisse sind für die Abflussmessung immer noch sehr ungünstig (starke Schrägströmung). Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist bis zu 10% des Spitzenabflusswertes 1993 durch Eichmessungen gesichert.

Die Hochwasserbestimmung ist ziemlich genau.

Lago Maggiore-Locarno

Das Telefon und die Stromzufuhr sind unterbrochen worden, so dass die Station zeitweise ausgefallen ist. Für die Registrierung der Maximalwasserstände ist eine provisorische Station installiert worden. Mithilfe der Station Lago Maggiore-Brissago hat eine zuverlässige, durchgehende Seestandsganglinie erstellt werden können.

Lago Maggiore-Brissago

Der Messbereich des Limnigraphen ist überschritten worden und der Limnigraph ist zeitweise ausgefallen. Mithilfe der Station Lago Maggiore-Locarno hat eine zuverlässige, durchgehende Seestandsganglinie erstellt werden können.

5.3 Wasserhaushalt des Lago Maggiore und seiner Einzugsgebiete

Die Ursachen für das jeweils starke Ansteigen des Lago Maggiore sind die grossen Wasservolumen, welche dem See zugeführt werden, und das ungünstige Verhältnis von Einzugsgebietsfläche zur Seefläche. Dieses Verhältnis beträgt 6562 km^2 zu 212 km^2, dh. die Seefläche ist 31 mal kleiner wie die Einzugsgebietsfläche. Dies bedeutet, dass bei einem Niederschlagsereignis von 200 mm, von dem vorerst nur 50% zum Abfluss kommt, der See potentiell um 3.1 m ansteigt. Natürlich sorgt der Ausfluss aus dem See dafür, dass nur ein Teil dieses Anstiegs sich direkt auf den Seestand auswirkt.

Die Tabellen 11a und 11b geben einen detaillierten Ueberblick über die von den verschiedenen Einzugsgebieten zugeflossenen Volumen, über den Seeabfluss und über die Wasserstands- und Volumenänderungen des Sees. Die Gesamtzuflüsse sind als Summe von Volumenänderung des Sees und Seeabfluss berechnet worden; die Verdunstung aus dem See wird dabei vernachlässigt.

In den beiden Monaten September und Oktober sind zusmmen rund 5.8 km^3 (1 km^3 = 1 Milliarde m^3) Wasser dem See zugeflossen. Verglichen mit dem Gesamtvolumen des Sees von 37.1 km^3 sind dies rund 15%. Ein beinahe gleich grosses Volumen (5.5 km^3) hat in dieser Zeit den See in Sesto Calende auch wieder verlassen. Das zugeflossene Wasservolumen entspricht, verteilt auf die normale Seefläche, einer Schicht von rund 27 m Höhe.

Tab. 11a und b: Tägliche Werte von Zufluss, Abfluss und Volumenänderungen des Lago Maggiore in den Monaten September und Oktober. Die Zuflüsse im Ticino in Bellinzona, in der Verzasca in Lavertezzo, in der Maggia in Locarno und in der Tresa in Ponte Tresa sowie der Abfluss in Sesto Calende wie auch der Wasserstand des Lago Maggiore sind gemessen. Die übrigen Zuflüsse sind aus der Wasserbilanz des Sees berechnet.

	Ticino		Verzasca		Maggia		Tresa		Zuflüsse CH (gemessen)		übrige Zuflüsse (berechnet)		Zuflüsse total (berechnet)		Sesto Calende		Lago Maggiore	
Sep.	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio m3	m3/s	Mio m3	m3/s	Mio. m3	m ü.M.	Mio.m3
1	51.9	4.5	5.8	0.5	13.2	1.1	7.8	0.7	79	6.8	117	10.1	195	16.9	159	13.7	192.61	3.2
2	48.6	4.2	5.0	0.4	13.0	1.1	7.5	0.6	74	6.4	61	5.3	135	11.7	160	13.8	192.61	-2.1
3	46.6	4.0	4.5	0.4	12.6	1.1	7.3	0.6	71	6.1	49	4.2	120	10.4	157	13.6	192.59	-3.2
4	39.1	3.4	4.2	0.4	11.0	1.0	7.3	0.6	62	5.3	10	0.8	71	6.1	157	13.6	192.56	-7.4
5	35.8	3.1	3.7	0.3	11.3	1.0	7.0	0.6	58	5.0	11	1.0	69	6.0	155	13.4	192.52	-7.4
6	38.6	3.3	3.5	0.3	11.2	1.0	6.8	0.5	60	5.2	65	5.6	124	10.7	161	13.9	192.50	-3.2
7	33.9	2.9	3.3	0.3	11.3	1.0	6.2	0.5	55	4.7	100	8.6	155	13.4	167	14.4	192.50	-1.1
8	30.4	2.6	3.8	0.3	11.5	1.0	6.5	0.6	52	4.5	86	7.5	138	12.0	163	14.1	192.48	-2.1
9	35.8	3.1	9.0	0.8	14.9	1.3	7.2	0.6	67	5.8	104	9.0	171	14.8	159	13.7	192.49	1.1
10	102.0	8.8	46.8	4.0	74.3	6.4	8.1	0.7	231	20.0	73	6.3	304	26.3	157	13.6	192.52	12.7
11	59.6	5.1	21.9	1.9	26.8	2.3	8.3	0.7	117	10.1	16	1.4	132	11.4	157	13.6	192.55	-2.1
12	56.4	4.9	14.8	1.3	21.7	1.9	9.0	0.8	102	8.8	18	1.6	120	10.4	157	13.6	192.54	-3.2
13	176.0	15.2	65.5	5.7	389.0	33.6	10.1	0.9	641	55.3	470	40.6	1110	95.9	129	11.1	192.60	84.8
14	212.0	18.3	67.2	5.8	365.0	31.5	10.8	0.9	655	56.6	244	21.1	899	77.7	126	10.9	193.12	66.8
15	127.0	11.0	34.4	3.0	84.1	7.3	14.2	1.2	260	22.4	142	12.3	402	34.7	132	11.4	193.30	23.3
16	111.0	9.6	27.2	2.4	65.6	5.7	13.3	1.1	217	18.8	191	16.5	408	35.3	139	12.0	193.41	23.3
17	103.0	8.9	17.3	1.5	39.4	3.4	13.1	1.1	173	14.9	156	13.5	329	28.4	170	14.6	193.50	13.8
18	79.8	6.9	12.9	1.1	30.1	2.6	12.9	1.1	136	11.7	141	12.2	277	23.9	215	18.6	193.55	5.3
19	67.0	5.8	10.4	0.9	23.1	2.0	12.7	1.1	113	9.8	30	2.6	143	12.4	217	18.7	193.54	-6.4
20	70.6	6.1	8.9	0.8	18.4	1.6	12.4	1.1	110	9.5	130	11.2	240	20.7	216	18.6	193.53	2.1
21	72.0	6.2	7.7	0.7	17.3	1.5	12.2	1.1	109	9.4	155	13.4	264	22.8	215	18.6	193.54	4.2
22	79.7	6.9	7.1	0.6	68.2	5.9	12.2	1.1	167	14.4	400	34.5	567	49.0	272	23.5	193.57	25.4
23	245.0	21.2	76.4	6.6	1021.0	88.2	24.3	2.1	1367	118.1	1346	116.3	2713	234.4	787	68.0	194.06	166.4
24	565.0	48.8	173.0	14.9	1159.0	100.1	80.4	6.9	1977	170.8	3327	287.4	5304	458.3	1415	122.3	195.07	336.0
25	636.0	55.0	136.0	11.8	790.0	68.3	124.0	10.7	1686	145.7	1422	122.9	3108	268.5	1918	165.7	196.37	102.8
26	278.0	24.0	53.3	4.6	300.0	25.9	127.0	11.0	758	65.5	626	54.1	1384	119.6	1900	164.1	196.44	-44.5
27	202.0	17.5	29.1	2.5	161.0	13.9	114.0	9.8	506	43.7	589	50.9	1095	94.6	1746	150.8	196.19	-56.2
28	209.0	18.1	41.9	3.6	186.0	16.1	107.0	9.2	544	47.0	622	53.8	1166	100.8	1608	138.9	195.97	-38.2
29	179.0	15.5	27.2	2.4	113.0	9.8	108.0	9.3	427	36.9	436	37.7	864	74.6	1477	127.6	195.75	-53.0
30	159.0	13.7	19.5	1.7	80.3	6.9	100.0	8.6	359	31.0	429	37.1	788	68.1	1353	116.9	195.51	-48.8
Qmittel	138.3		31.4		171.4		33.2		374		386		760		531			
Summe		358.5		81.3		444.4		86.1		970.4		999.5		1969.8		1377.3		

Tab. 11b:

	Ticino		Verzasca		Maggia		Tresa		Zuflüsse CH (gemessen)		übrige Zuflüsse (berechnet)		Zuflüsse total (berechnet)		Sesto Calende		Lago Maggiore	
Okt.	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio. m3	m3/s	Mio m3	m3/s	Mio m3	m3/s	Mio. m3	m ü.M.	Mio.m3
1	178.0	15.4	53.4	4.6	235.0	20.3	96.5	8.3	563	48.6	945	81.7	1508	130.3	1373	118.6	195.36	11.7
2	474.0	41.0	166.0	14.3	918.0	79.3	106.0	9.2	1664	143.8	2324	200.8	3988	344.5	1694	146.3	195.87	198.2
3	320.0	27.6	67.3	5.8	292.0	25.2	137.0	11.8	816	70.5	975	84.2	1791	154.7	1889	163.2	196.40	-8.5
4	210.0	18.1	35.2	3.0	132.0	11.4	141.0	12.2	518	44.8	639	55.2	1157	100.0	1758	151.9	196.22	-51.9
5	186.0	16.1	23.8	2.1	93.6	8.1	132.0	11.4	435	37.6	553	47.8	988	85.4	1614	139.4	195.97	-54.1
6	427.0	36.9	130.0	11.2	403.0	34.8	134.0	11.6	1094	94.5	1106	95.6	2200	190.1	1636	141.4	195.88	48.8
7	434.0	37.5	95.9	8.3	343.0	29.6	145.0	12.5	1018	87.9	835	72.2	1853	160.1	1755	151.6	196.09	8.5
8	603.0	52.1	202.0	17.5	900.0	77.8	154.0	13.3	1859	160.6	2142	185.1	4001	345.7	2075	179.3	196.39	166.4
9	553.0	47.8	101.0	8.7	429.0	37.1	177.0	15.3	1260	108.9	1450	125.3	2710	234.2	2318	200.2	197.08	33.9
10	309.0	26.7	51.7	4.5	178.0	15.4	175.0	15.1	714	61.7	680	58.7	1394	120.4	2167	187.2	196.90	-66.8
11	260.0	22.5	44.7	3.9	135.0	11.7	166.0	14.3	606	52.3	623	53.8	1229	106.2	1965	169.8	196.58	-63.6
12	561.0	48.5	217.0	18.7	705.0	60.9	156.0	13.5	1639	141.6	1637	141.5	3276	283.1	2099	181.3	196.51	101.8
13	616.0	53.2	132.0	11.4	509.0	44.0	147.0	12.7	1404	121.3	1156	99.9	2560	221.2	2315	200.0	197.06	21.2
14	574.0	49.6	140.0	12.1	689.0	59.5	139.0	12.0	1542	133.2	1267	109.4	2809	242.7	2343	202.4	197.14	40.3
15	436.0	37.7	99.3	8.6	394.0	34.0	127.0	11.0	1056	91.3	825	71.3	1882	162.6	2311	199.7	197.14	-37.1
16	317.0	27.4	53.6	4.6	206.0	17.8	114.0	9.8	691	59.7	646	55.8	1337	115.5	2147	185.5	196.88	-70.0
17	292.0	25.2	52.6	4.5	183.0	15.8	106.0	9.2	634	54.7	678	58.6	1312	113.3	1962	169.5	196.58	-56.2
18	246.0	21.3	38.6	3.3	124.0	10.7	103.0	8.9	512	44.2	536	46.3	1047	90.5	1771	153.0	196.31	-62.5
19	207.0	17.9	28.1	2.4	86.7	7.5	95.5	8.3	417	36.1	470	40.6	887	76.7	1587	137.1	195.99	-60.4
20	188.0	16.2	22.3	1.9	64.5	5.6	84.5	7.3	359	31.0	383	33.1	742	64.1	1429	123.5	195.71	-59.4
21	182.0	15.7	26.4	2.3	52.7	4.6	81.2	7.0	342	29.6	379	32.7	721	62.3	1298	112.1	195.45	-49.8
22	170.0	14.7	19.7	1.7	43.6	3.8	81.8	7.1	315	27.2	387	33.4	702	60.6	1193	103.0	195.23	-42.4
23	156.0	13.5	16.4	1.4	36.2	3.1	81.1	7.0	290	25.0	353	30.5	643	55.6	1097	94.8	195.05	-39.2
24	133.0	11.5	17.1	1.5	32.3	2.8	81.2	7.0	264	22.8	334	28.9	598	51.7	1015	87.7	194.86	-36.0
25	140.0	12.1	15.4	1.3	33.1	2.9	79.6	6.9	268	23.2	314	27.2	582	50.3	951	82.1	194.71	-31.8
26	128.0	11.1	12.6	1.1	23.9	2.1	73.0	6.3	238	20.5	270	23.3	507	43.8	888	76.7	194.56	-32.9
27	124.0	10.7	10.9	0.9	20.0	1.7	62.3	5.4	217	18.8	251	21.7	468	40.5	824	71.2	194.41	-30.7
28	118.0	10.2	9.9	0.9	17.5	1.5	59.9	5.2	205	17.7	241	20.8	447	38.6	766	66.1	194.27	-27.6
29	113.0	9.8	9.3	0.8	17.3	1.5	57.4	5.0	197	17.0	248	21.4	445	38.5	715	61.8	194.14	-23.3
30	92.3	8.0	8.7	0.7	15.6	1.3	52.2	4.5	169	14.6	79	6.9	248	21.4	592	51.1	194.04	-29.7
31	78.7	6.8	8.1	0.7	13.2	1.1	44.8	3.9	145	12.5	207	17.9	352	30.4	573	49.5	193.91	-19.1
Qmittel	284.7		61.6		236.3		109.4		692		740		1432		1552			
Summe		762.57		164.94		632.9		292.9		1853.3		1981.4		3834.7		4157		
September und Oktober																		
Qmittel	212.7		46.7		204.4		71.9		536		566		1101		1050			
Summe		1121.1		246.3		1077.3		379.0		2823.7		2980.9		5804.6		5534.3		

Ursache der grossen zugeflossenen Wassermengen sind die langanhaltenden intensiven Niederschläge (vgl. Kapitel 2). Ausgehend von Niederschlagskarten (Abb. 4) von Spinedi et al. (1993) sind für die drei wichtigsten schweizerischen Einzugsgebiete des Lago Maggiore die Gebietsniederschläge für drei Zeitperioden bestimmt worden (Tab. 12). Die Niederschlagsmengen für alle Gebiete und alle Zeitabschnitte sind ausserordentlich gross. Der Abflussfaktor (Verhältnis von Abfluss zu Niederschlag) ist im ersten Ereignis am 22.-24.9. mit 0.27 bis 0.54 in allen Gebieten deutlich kleiner als im Ereignis von Mitte Oktober (0.66-0.79). Dies ist offensichtlich eine Folge der langen Regenperiode, welche den Untergrund langsam aufgesättigt hat. Erstaunlich sind die grossen Mengen von Wasser, die verteilt über die Einzugsgebiete zumindest kurzfristig im Untergrund gespeichert worden sind: 140 bis 180 mm. Auffällig ist auch, dass bei beiden Ereignissen die Maggia den höchsten Abflussfaktor aufweist (0.54 bzw. 0.79). Ueber die gesamte zweimonatige Periode ist ein hoher Anteil des Niederschlags abgeflossen: 74 bis 83 %. Dies bedeutet gleichzeitig, dass am 31.Oktober rund 300 mm mehr Wasser als am 1. September in den Einzugsgebieten im Boden, im Untergrund und wenig auch als Schnee gespeichert sind.

Tab. 12: Wasserbilanz in den Einzugsgebieten Ticino bis Bellinzona, Verzasca bis Lavertezzo und Maggia bis Locarno für 3 Zeitperioden. Die Abflusshöhe basiert auf dem Gesamtabfluss der jeweiligen Perioden, die Niederschlagshöhe auf den Karten in Abb. 4 (Spinedi et al. 1993). Der Abflussfaktor ist das Verhältnis von Abflusshöhe zur Niederschlagshöhe.

Datum	Gebiets-name	Abflusshöhe [mm]	Niederschlags-höhe [mm]	Abfluss-faktor
22. - 24.09.	Ticino	51	190	0.27
	Verzasca	119	330	0.36
	Maggia	215	402	0.54
11. - 14.10.	Ticino	115	170	0.68
	Verzasca	248	377	0.66
	Maggia	195	248	0.79
1.09. - 31.10.	Ticino	740	1006	0.74
	Verzasca	1324	1604	0.83
	Maggia	1194	1543	0.77

5.4 Feststoffe

Die im Tessin betrachteten Feststoffereignisse stammen durchwegs aus der Niederschlagsperiode von Mitte Oktober. Aehnlich wie dies bereits im Jahre 1987 der Fall gewesen ist, sind die Hochwasserabflüsse und damit die Feststoffbewegungen nicht primär das Resultat eines einzigen kurzen Starkregens. Sie sind vielmehr auf eine mehrtägige intensive Niederschlagsperiode zurückzuführen. Dabei sind - wie sechs Jahre zuvor - kaum Tagesspitzenwerte zu verzeichnen. Die Bedeutung des Niederschlagsereignisses ergibt sich somit vornehmlich aus den mehrtägigen Niederschlagssummen. Rekordwerte wurden grösstenteils für 10 bis 30-tägige Niederschlagswerte registriert (Grebner und Roesch 1993). Das Zentrum des Niederschlags lag dabei bei Sonogno und Frasco im Verzascatal. Die Niederschläge konzentrierten sich auf das Sopraceneri, wo am Abend und in der Nacht vom 13./14. Oktober fast alle feststoffrelevanten Abflussereignisse auftraten.

Tab. 13: Feststoffkubaturen in den betroffenen Einzugsgebieten des Tessin.

Einzugsgebiet	Kubatur m^3	Koord. der Deponie	Ablagerungsplatz	Erhebungs-methode
Riale Tiglia, Leontica	300	714650/146200	Geschiebesammler	Schätzung
Riale di Sementina [1]	800	719800/116350	Geschiebesammler	Zählung Lastw.
Riale Cusello, Sigirino [2]	1'000	714200/104700	Geschiebesammler	Schätzung
Leggiona, Malvaglia	5'000	718250/138400	nat. Ablagerung	Zählung Lastw.
Riale Vallone, Biasca	30'000	717650/137050	nat. Ablagerung	Schätzung
Brenno, Olivone	3'000	715130/152800	nat. Ablagerung	Schätzung
Brenno, Motto-Dongio	20'000	717600/142900	nat. Ablagerung	Zählung Lastw.
Brenno, Malvaglia	20'000	718250/138400	nat. Ablagerung	Schätzung
Brenno, Biasca, Mündung	8'000	716600/135100	Delta	Profilvermessung
Ticino, Airolo	2'000	689100/153400	nat. Ablagerung	Schätzung
Ticino, Lavorgo-Presa	3'000	707700/144050	nat. Ablagerung	Schätzung
Maggia, Avegno	15'000	700450/118500	nat. Ablagerung	Schätzung
Riale Brima, Losone	1'000	701850/113300	Geschiebesammler	Zählung Lastw.

[1] Davon 200 m^3 Schwemmaterial wie Holz etc. Das Material stammt auch aus dem Jahr 1992 (u. a. Ereignis vom 30. 8. / 1. 9. 1992)

[2] Davon 200 m^3 Schwemmaterial wie Holz etc. Das Material stammt auch aus den Jahren 1990 bis 1993.

Quelle: Dipartimento del Territorio 1994

Die feststoffführenden Fliessgewässer konzentrieren sich auf das Bleniotal (Abb. 19). Interessant ist, festzustellen, dass unmittelbar beim Niederschlagszentrum im Verzascatal offenbar keine nennenswerten Schäden aufgetreten sind, obwohl die Position der maximalen Niederschlagszone während der gesamten Niederschlagsdauer weitgehend stabil blieb. Die - hier hypothetisch formulierten - Gründe dafür können allenfalls in der speziellen Situation im oberen Verzascatal gesucht werden. Im dünn besiedelten Gebiet ist die Wahrscheinlichkeit grösserer Schäden auch geringer, und in den teilweise unverbauten Fliessgewässern können Hochwasser praktisch schadlos abfliessen (Platz für Ablagerungen usw.).

Im Gegensatz zu den Daten im Kanton Wallis entstammen diejenigen aus dem Tessin vermehrt aus Ablagerungen in Geschiebesammlern. Die in Tab. 13 zusammengefassten Geschiebedaten der Oktoberereignisse im Tessin sind vermutlich nicht ganz vollständig, die wichtigeren Ereignisse dürften aber darin enthalten sein (Dipartimento del Territorio 1994).

Die Feststoffumsätze in den Fliessgewässern der betroffenen Seiteneinzugsgebiete sind, verglichen mit denjenigen im Wallis, mit einer Ausnahme nicht gross. Die spezifischen Feststofffrachten liegen, soweit eruierbar, unter denjenigen der Walliser Wildbäche (Abb. 14, Kap. 4.4).

Ein Ereignis von grösserer morphologischer Relevanz war dasjenige im Riale Vallone nördlich Biasca. Der den östlichen Hängen des Pizzo Magn entstammende Wildbach drängte den Brenno an die rechte Talflanke, was dort grössere Ufererosionen mit entsprechender Feststoffaufnahme zur Folge hatte. Ein beträchtlicher Anteil des im Mündungsbereich des Brenno abgelagerten Materials dürfte vermutlich von dieser Stelle stammen.

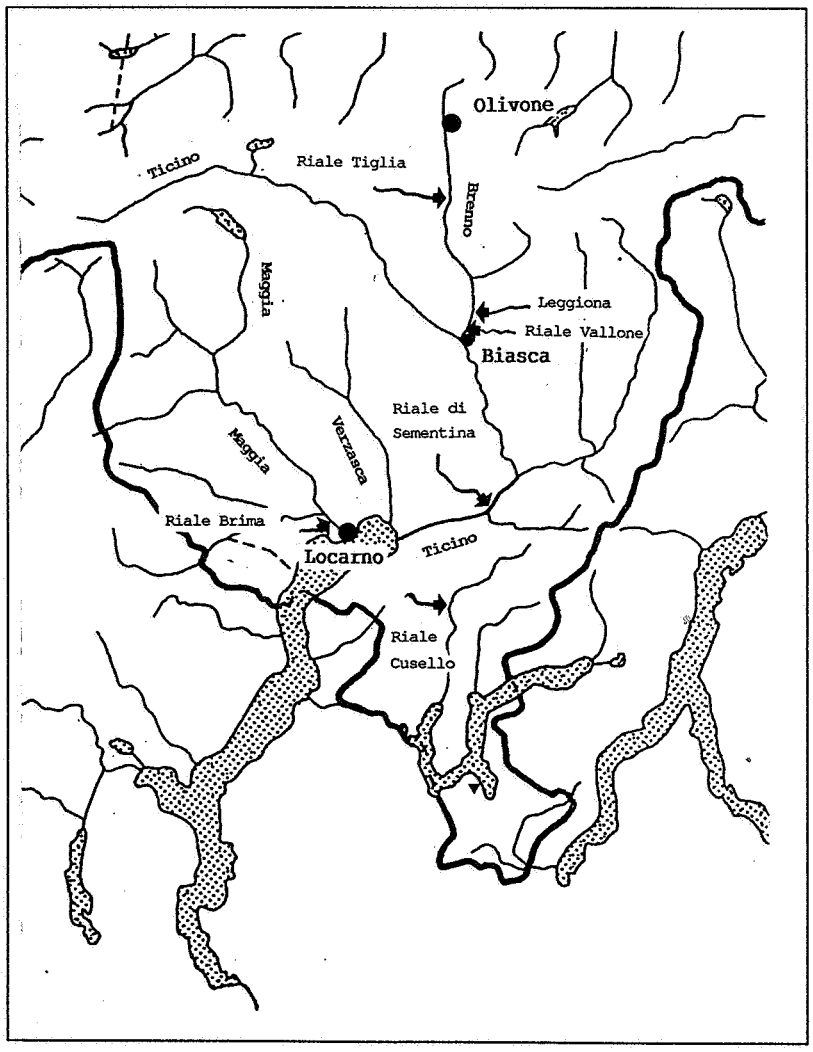


Abb. 19: Feststofführende Wildbäche im Tessin

6. Quellenangaben

Alusuisse-Lonza Energie AG (1993): Hochwasserereignis vom 24./25. September 1993 - Feststellungen an den Anlagen der ALETSCH AG, (unveröffentlicht).

Aschwanden, H. und Schädler, B.(1988): Hochwasserereignisse im Jahre 1987 in der Schweiz - Messdaten und ausgesuchte Auswertungen. Mitteilung Nr. 10 und 10a (französische Fassung) der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Aschwanden, H. und Spreafico, M.: Hochwasserkennwerte - Analyse langer Messreihen. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, 2. Lieferung, Tafel 5.6 (in Vorbereitung), Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Baudepartement Wallis (1994): mdl. Mitteilung Büro Brig.

Bonvin, J.-M. (1993): Crues du 24 septembre 1993. Rapport de Grande Dixence SA, Sion, (unveröffentlicht).

CRSFA (1993): Intempéries du Haut-Valais - Les précipitations des 22-25 septembre 1993 sur le massif du Simplon. Centre de recherches Scientifiques fondamentales et appliquées de Sion, (unveröffentlicht).

CRSFA (1994): Intempéries du Haut-Valais - Précipitations du vendredi 24 septembre 1993. Analyse fréquentielle des valeurs enregistrées aux stations de Simplon Dorf et Binn. Centre de recherches Scientifiques fondamentales et appliquées de Sion, (unveröffentlicht).

Dipartimento del Territorio (1994): Mitteilungen von Ing. Malé, Ufficio Arginature, Bellinzona.

DVWK (1979): Empfehlungen zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 101, Verlag Paul Parey, Hamburg.

EAFV (1980): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Band 5 Wallis/Tessin.

EGL (1993): Kurzbericht der Kraftwerke Mattmark und Mauvoisin zu den Hochwassern 1993 an das Bau-, Umwelt- und Raumplanungsamt des Kt. Wallis. Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG, (unveröffentlicht).

Geo 7 (1994): mdl. Mitt. M. Zimmermann

Geo 7 (1993): Unwetter vom 24. September 1993 im Oberwallis. Rekognoszierungsbericht zuhanden des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Bern.

Grebner, D. (1993): Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993. Unveröff. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Geographisches Institut ETH Zürich.

Grebner, D., Roesch, Th. (1993): Analyse der Niederschläge während des Unwetters im Tessin, September / Okober 1993. Unveröff. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Geographisches Institut ETH Zürich.

Ingenieurgemeinschaft Umleitung Vispa, Randa, (1993): Murgang vom 24. September 1993 im Dorfbach Randa. Unveröff. Bericht Ing. Büro Lauber und Kronig, Zermatt.

Ingenieurbüro Bodenmann - Schmidt - Andenmatten & Partner (1994): mdl. Mitteilung.

Koch, Ch. (1993): Die Hochwasser vom Herbst 1993 im Vergleich mit früheren Ereignissen. Wasser-Energie-Luft, Heft 10, 85. Jg. pp. 301-302.

LHG und BWW (1991a): Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 - Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilung Nr. 14 der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

LHG und BWW (1991b): Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 - Schlussbericht. Mitteilung Nr. 15 und 15a (französische Fassung) der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Spinedi, F., Kappenberger, G., Sartori, S., (1993): Le alluvioni del settembre - ottobre 1993 sul versante sudalpino. Rapporto preliminare. Centro meteorologico dell'Istituto svizzero di meteorologia, Locarno- Monti.

Spreafico, M. und Stadler, K. (1986): Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern. Band I. Mitteilung Nr. 7 der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Spreafico, M. und Stadler, K. (1988): Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern. Band II. Mitteilung Nr. 8 der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

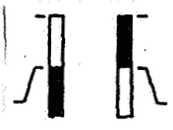
Spreafico, M. und Aschwanden, H. (1991): Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern. Band III und IV. Mitteilung Nr. 16 und 17 der Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Jahreshochwasser und Frequenzdiagramme ausgewählter Messstationen

Legende:

Jahresmax.
≙ Sommermax.

Wintermax.

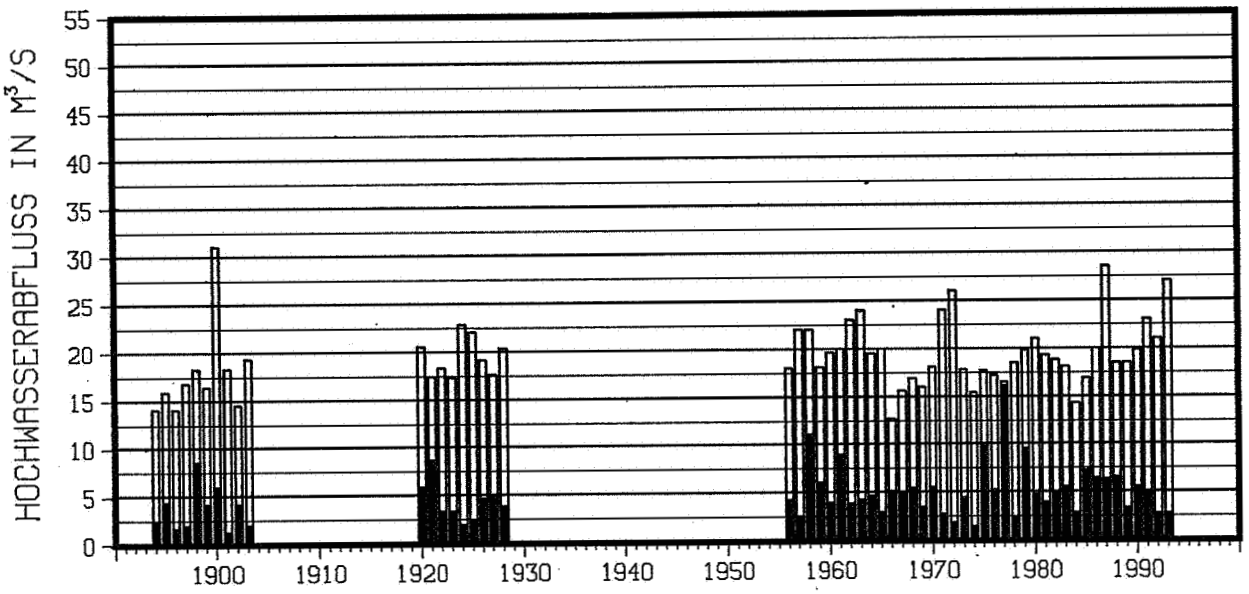


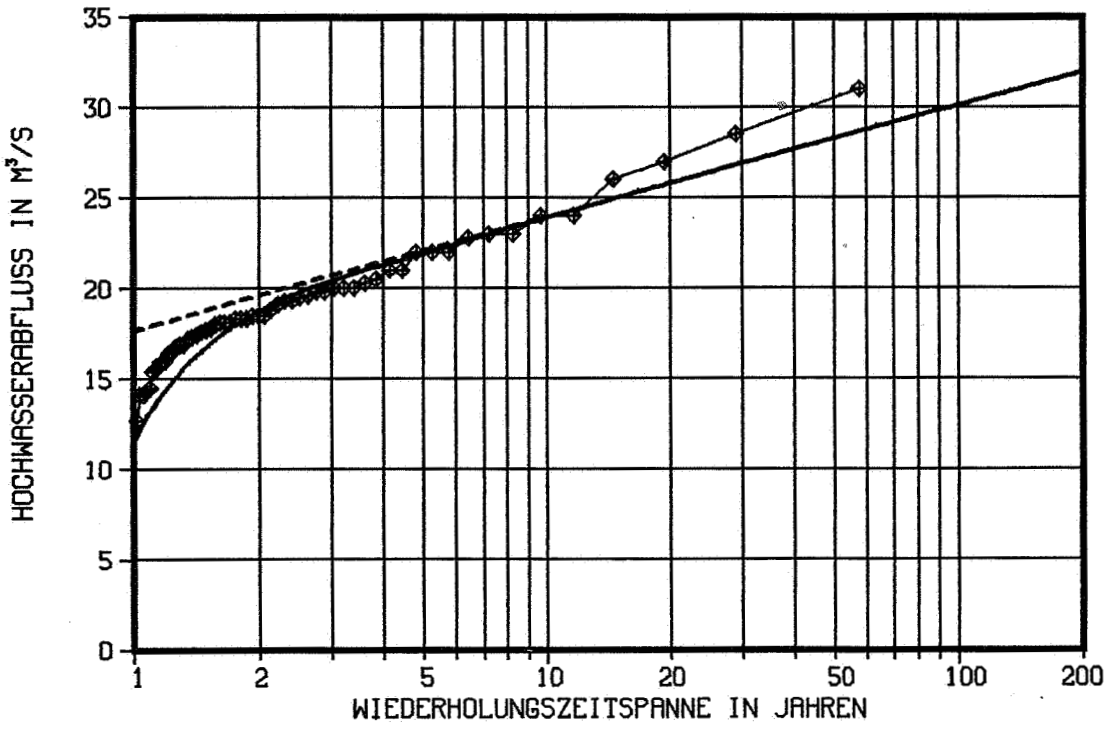
Jahresmax.
≙ Wintermax.

Sommermax.

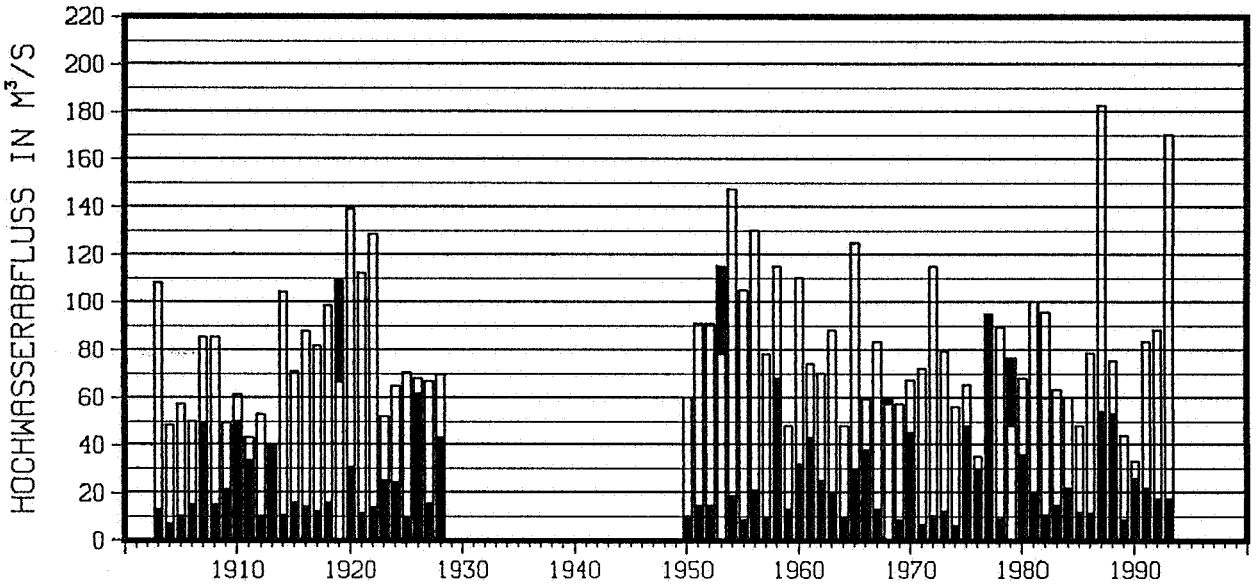
▼ Beginn der Beeinflussung der Messreihen

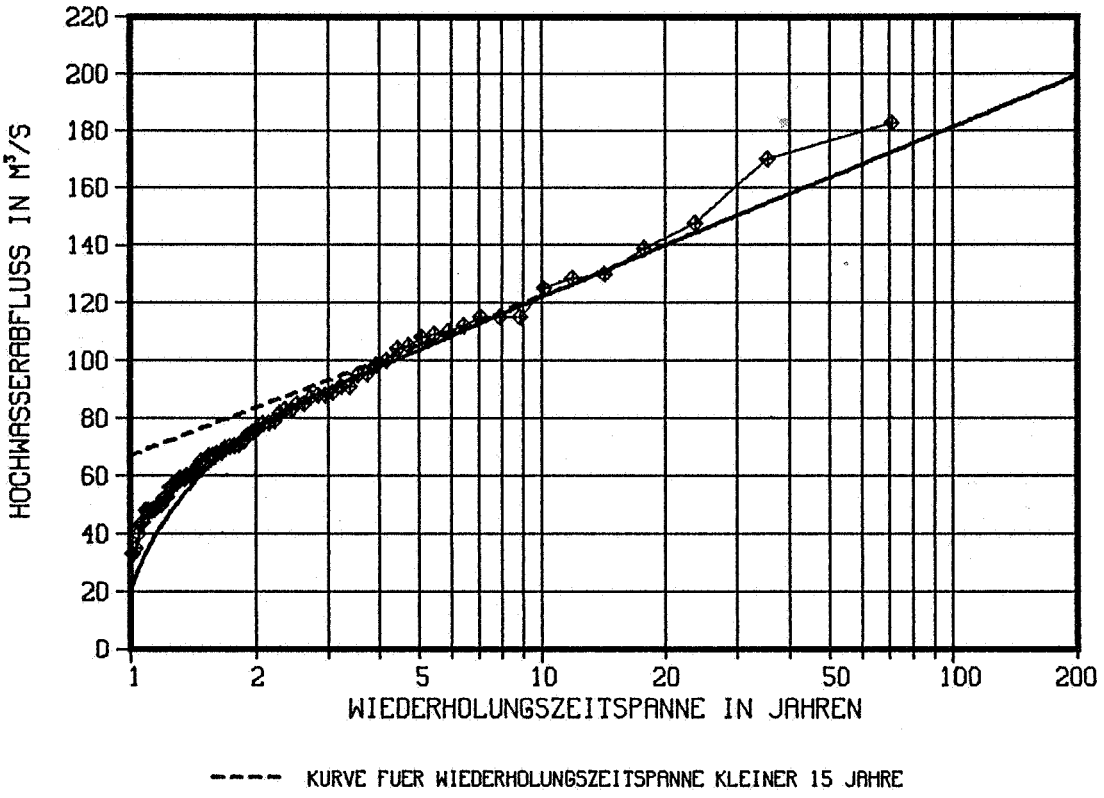
RHONE - GLETSCH



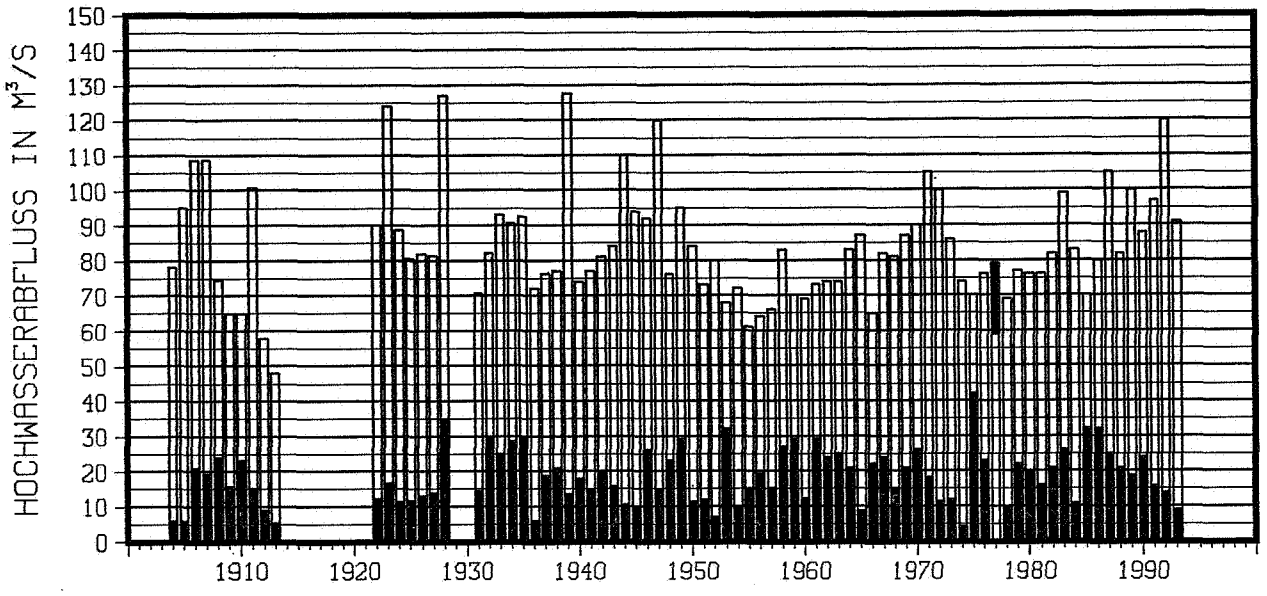


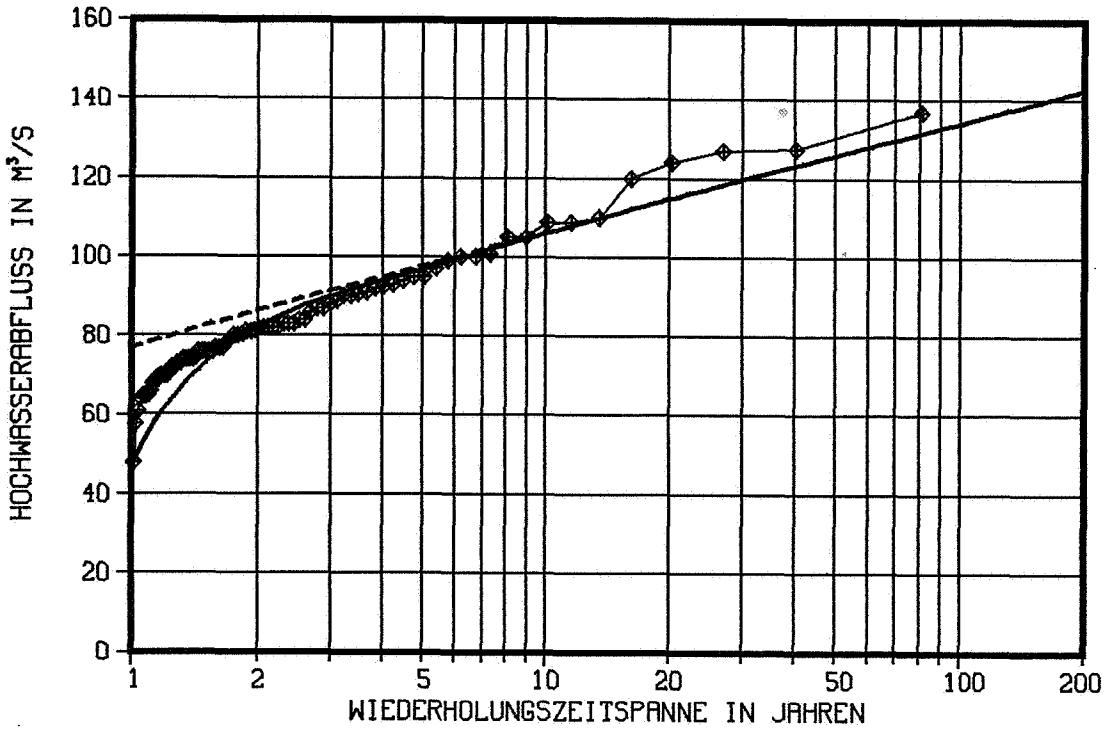
RHONE - RECKINGEN





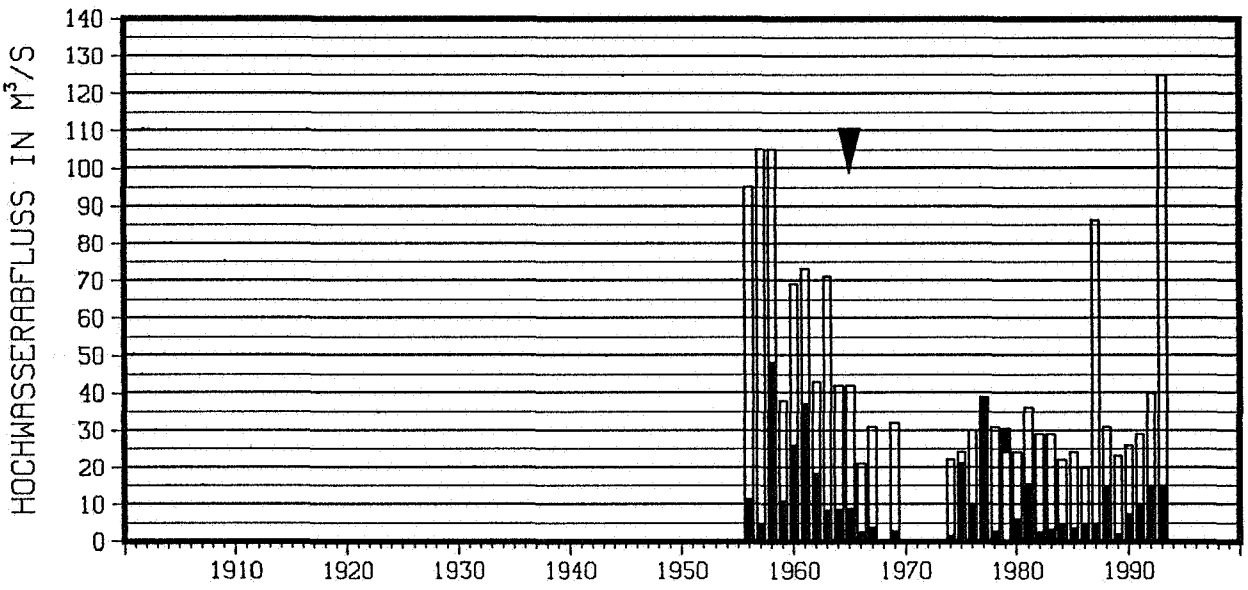
MASSA - BLATTEN BEI NATERS

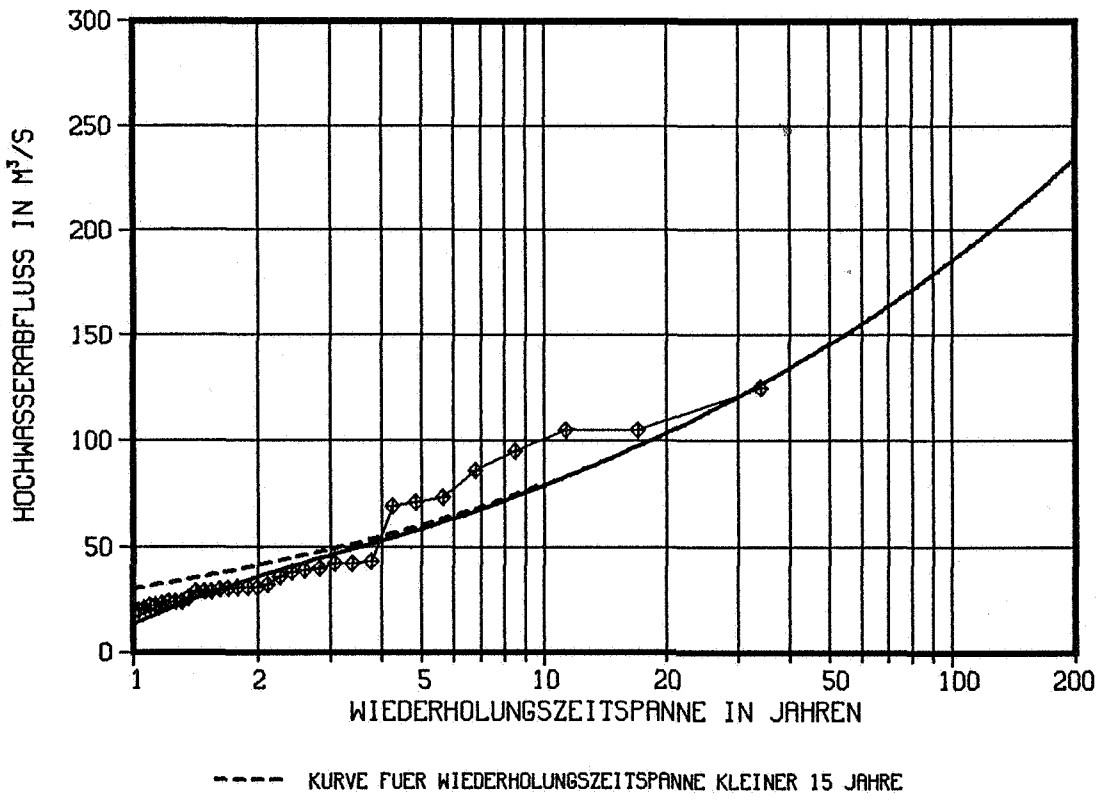




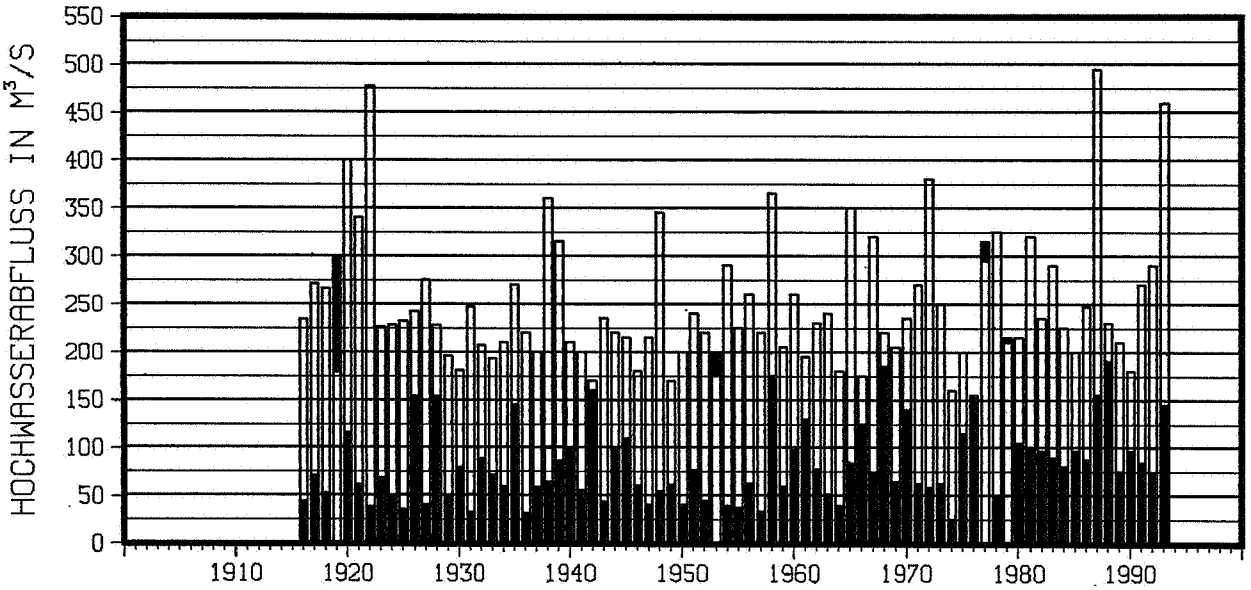
---- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

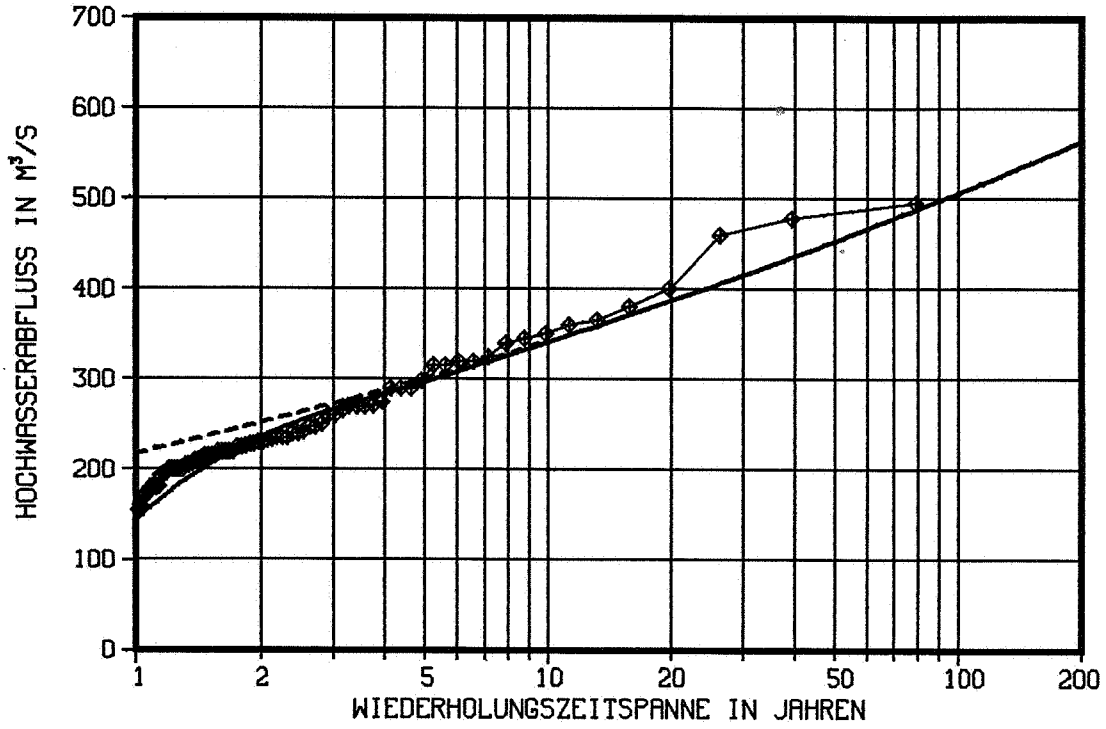
SAASER VISPA - SAAS BALEN





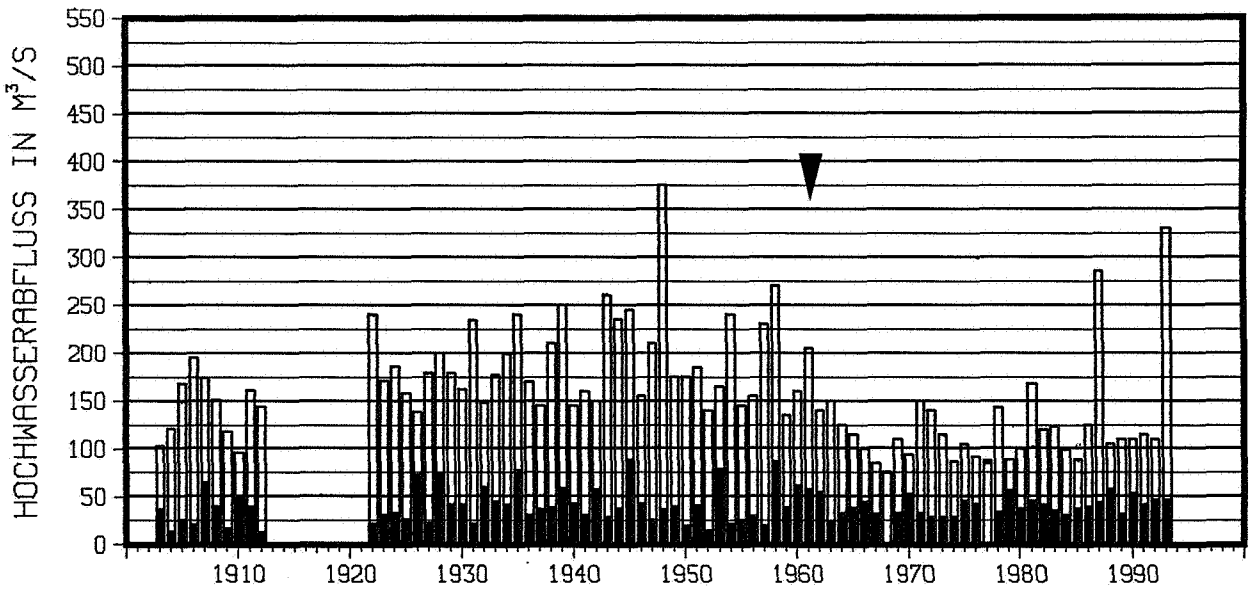
RHONE - BRIG

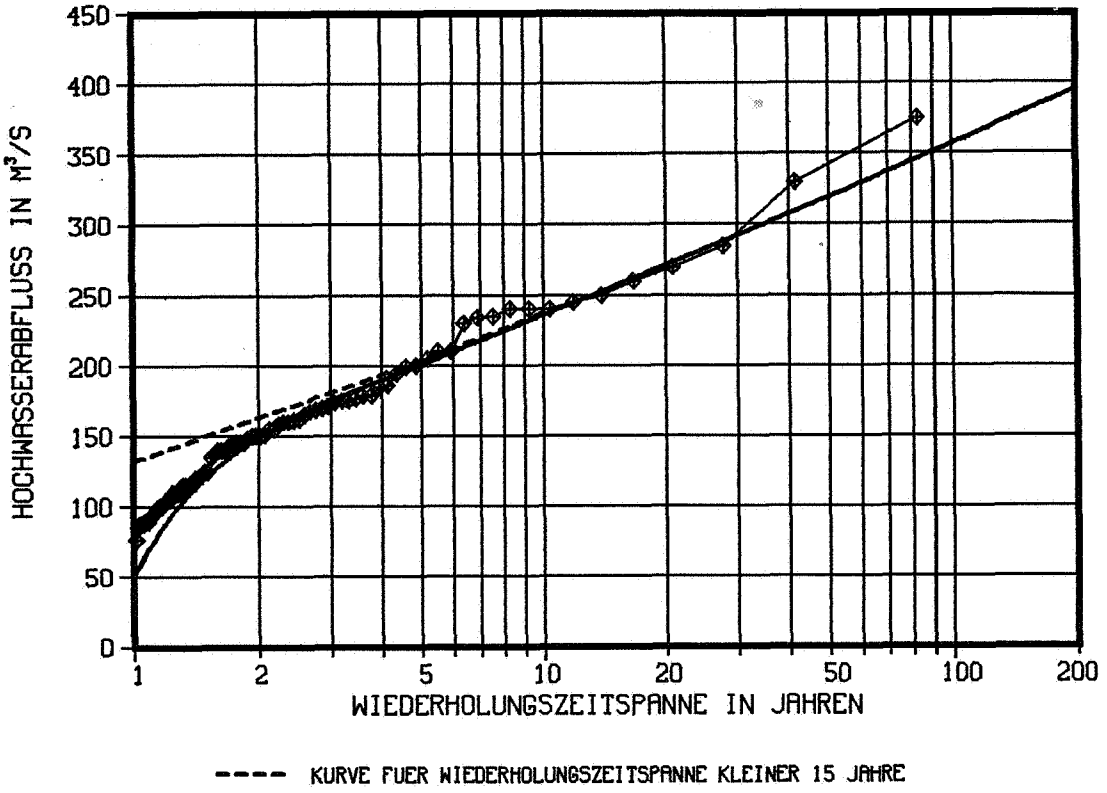




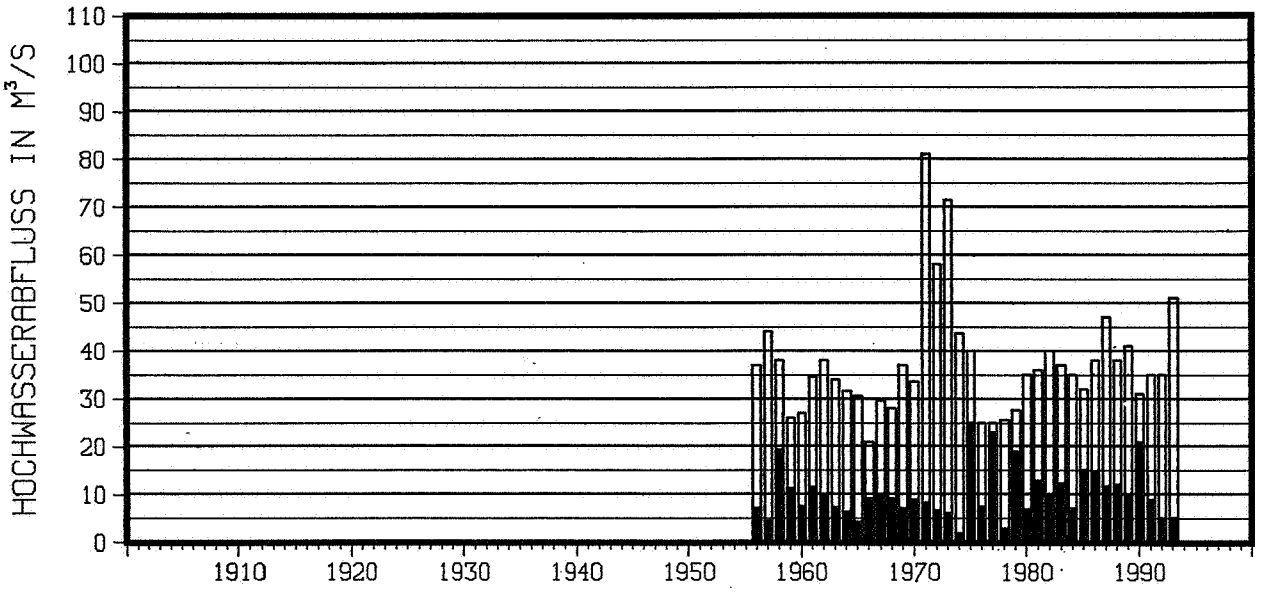
---- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

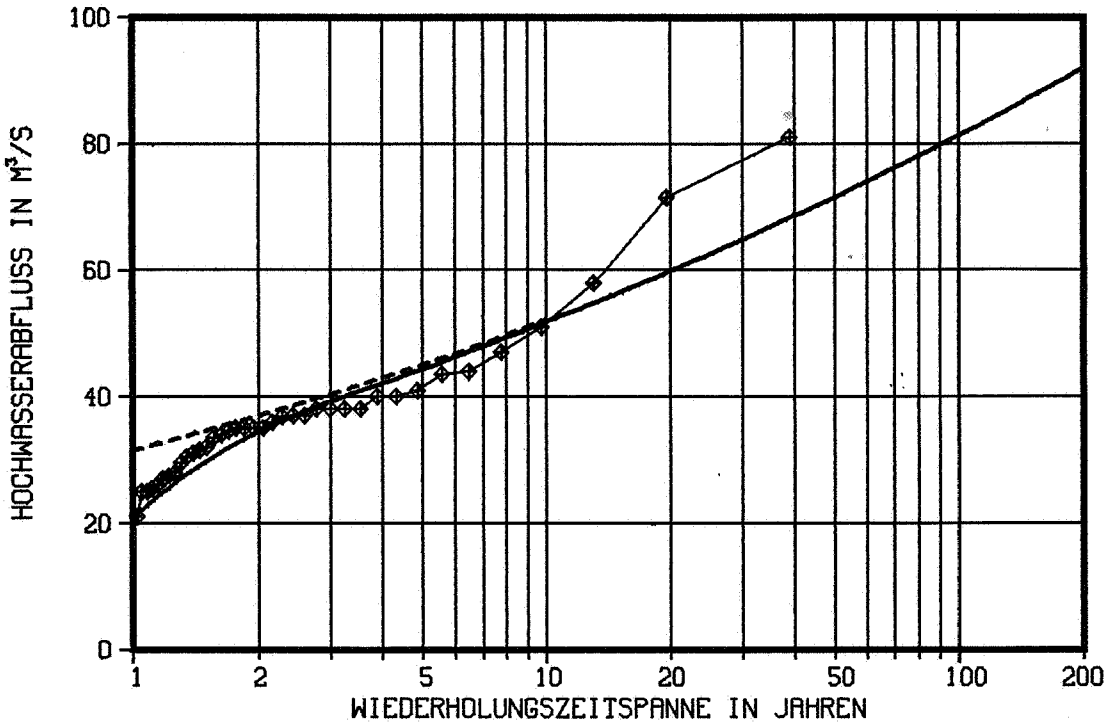
VISPA - VISP


HOCHWASSERABFLUSS IN M³/S
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990

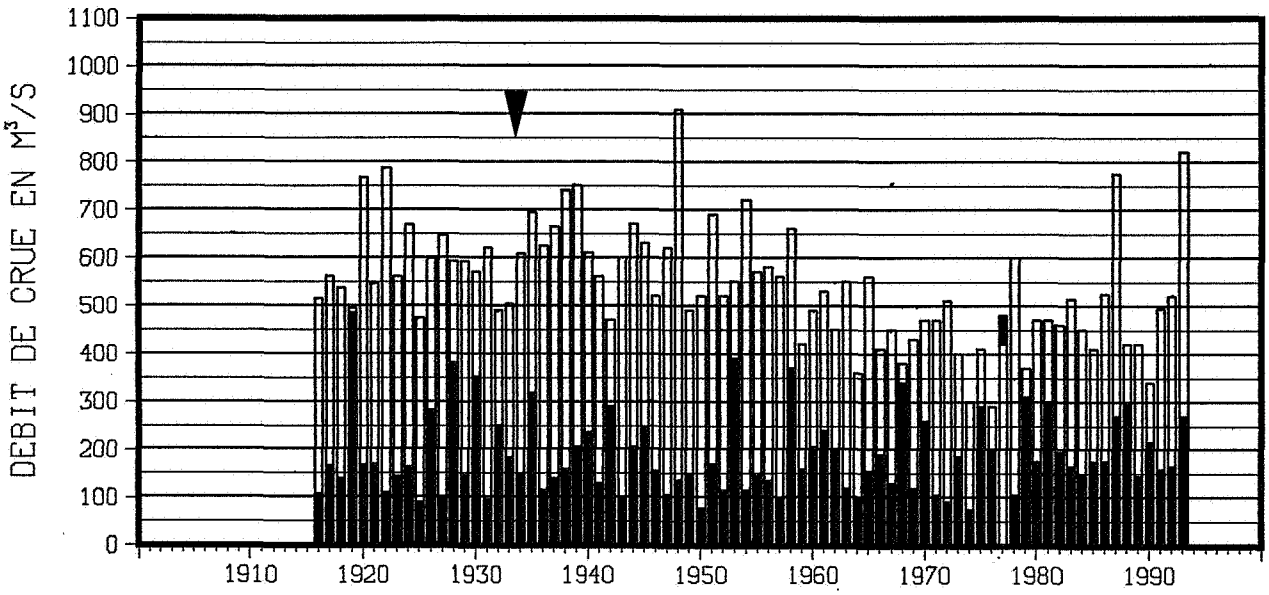

HOCHWASSERABFLUSS IN M³/S
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1
2
5
10
20
50
100
200
WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE IN JAHREN
---- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

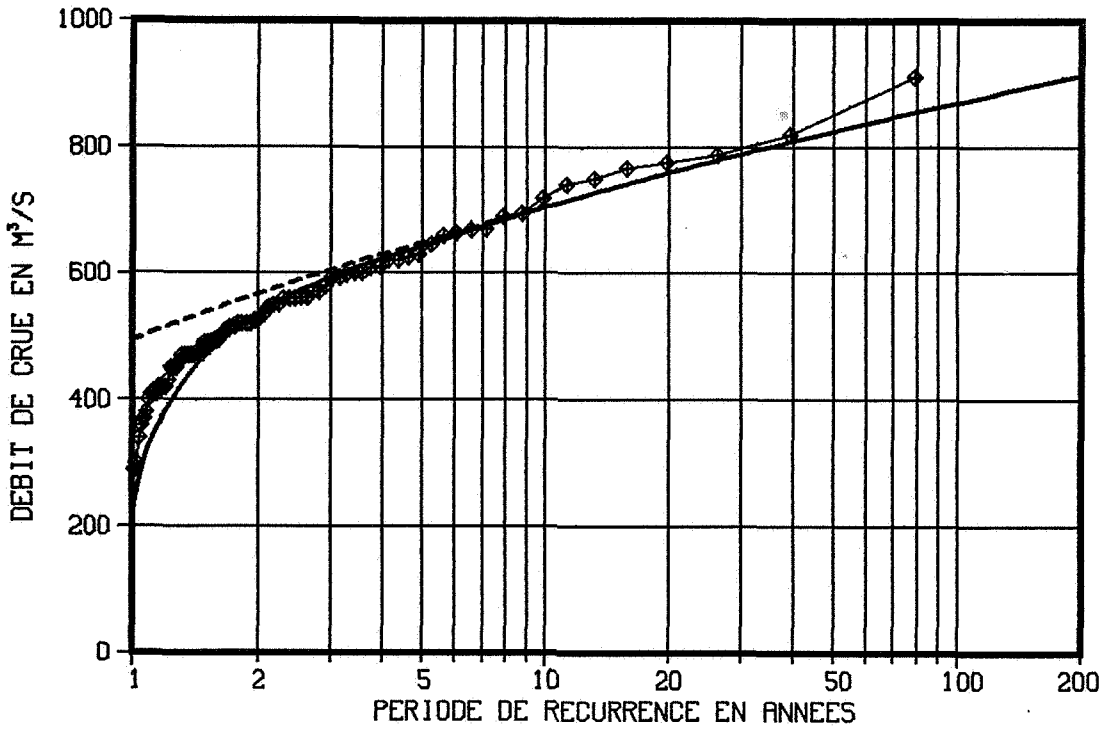
LONZA - BLATTEN





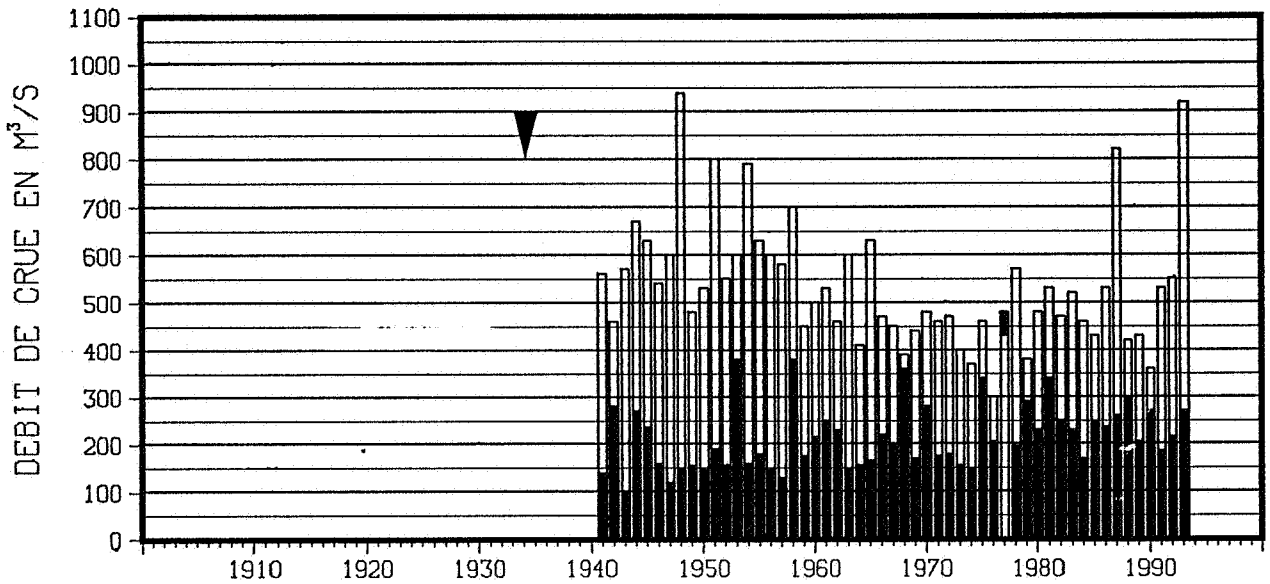
RHôNE - SION

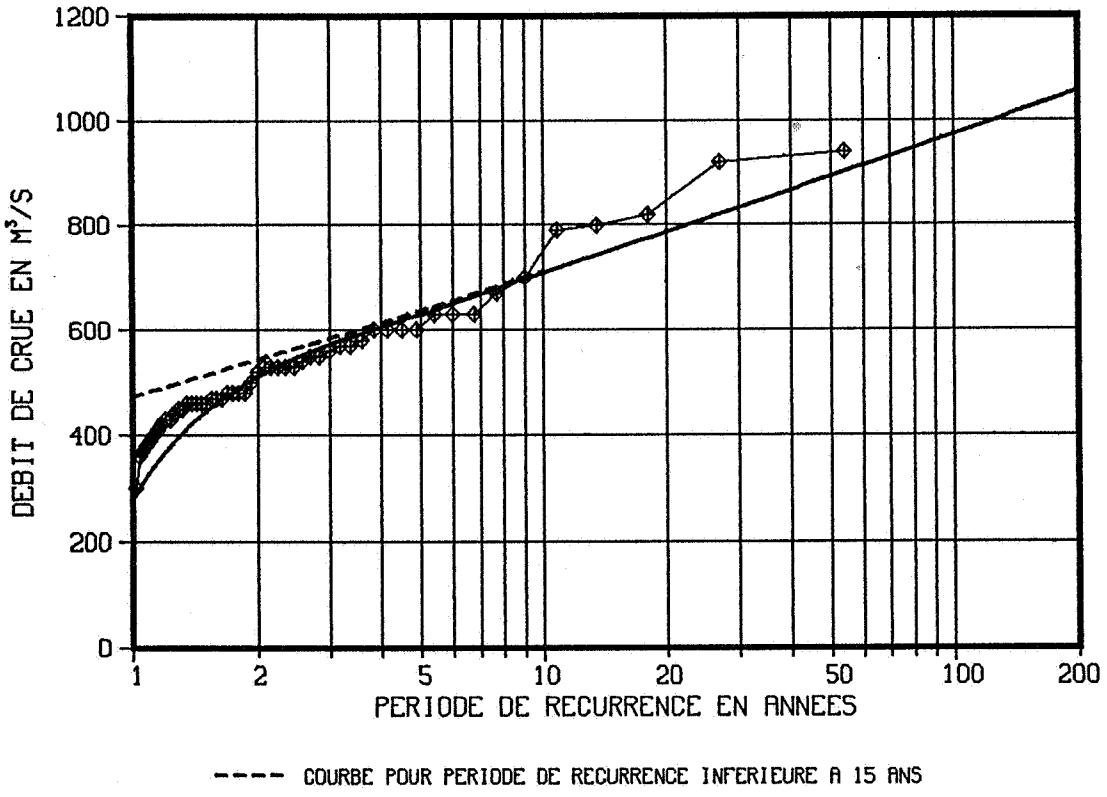




---- COURBE POUR PERIODE DE RECURRENCE INFERIEURE A 15 ANS

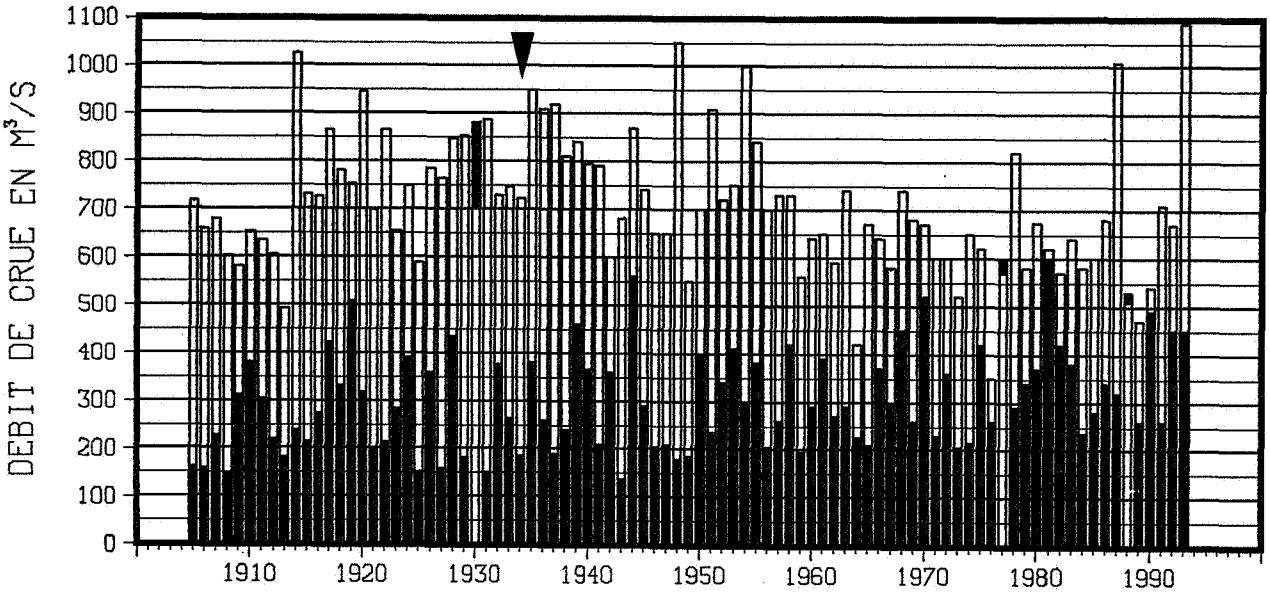
RHôNE - BRANSON

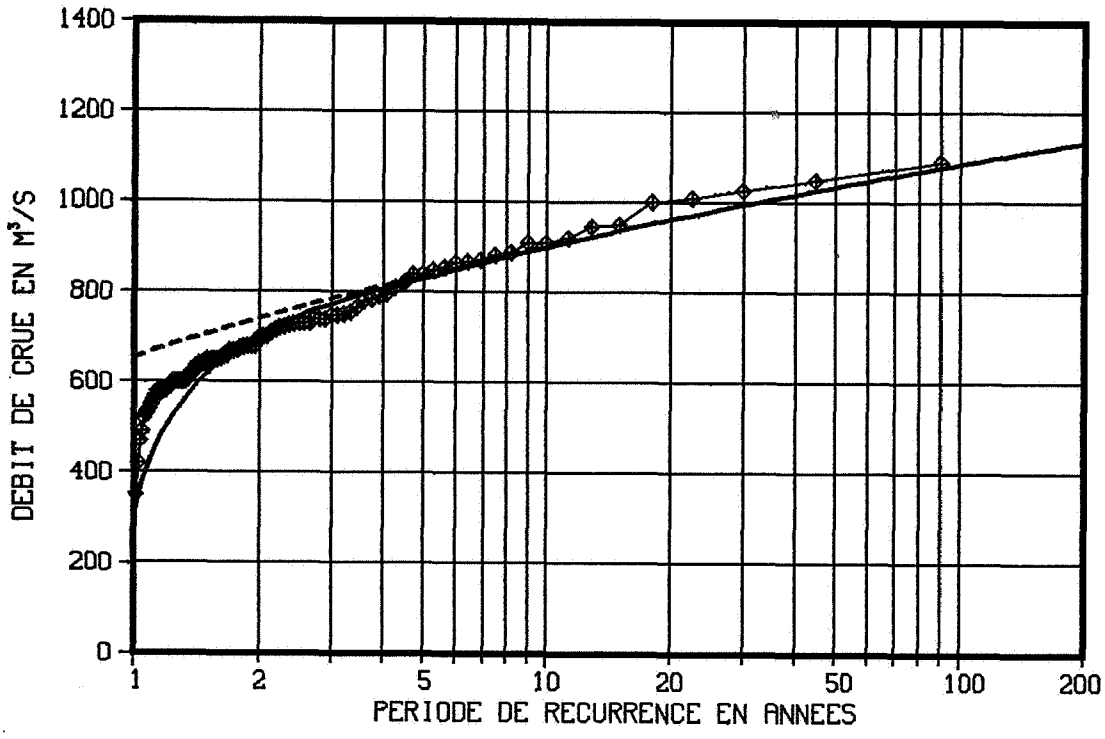




---- COURBE POUR PERIODE DE RECURRENCE INFERIEURE A 15 ANS

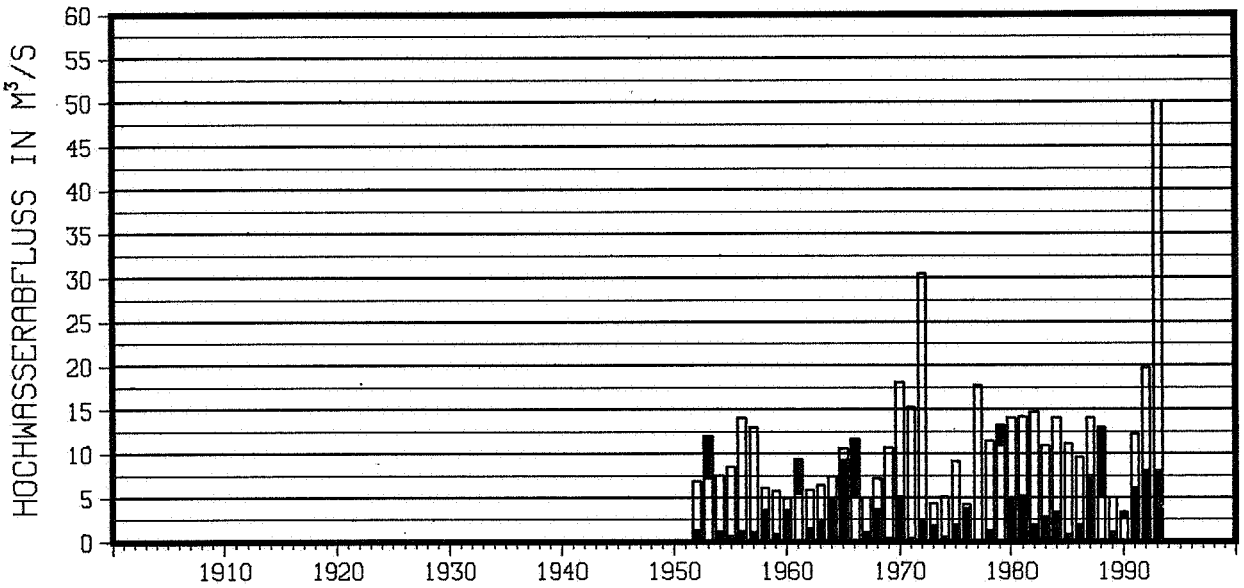
RHôNE - PORTE DU SCEX

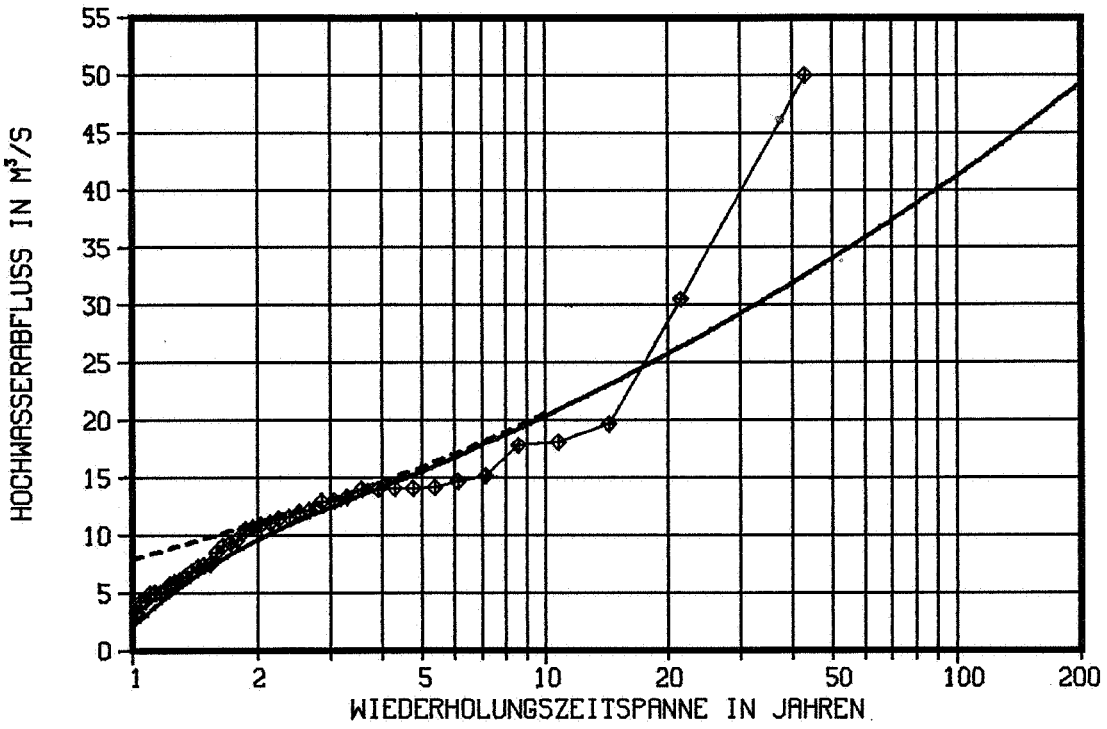




---- COURBE POUR PERIODE DE RECURRENCE INFERIEURE A 15 ANS

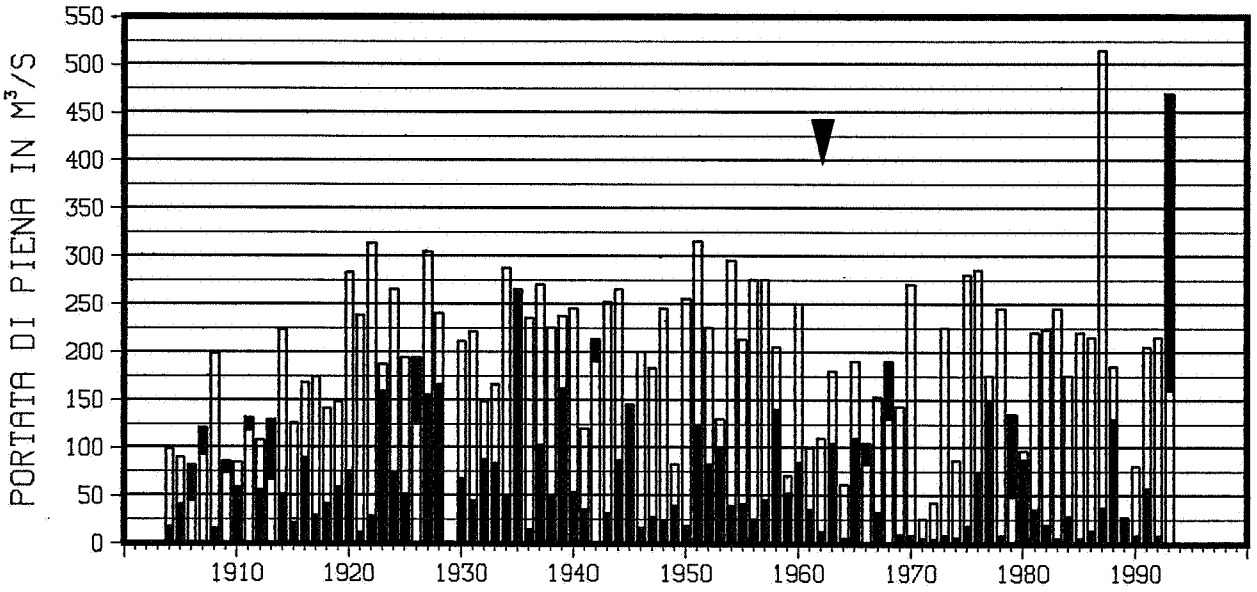
KRUMMBACH - KLUSMATTEN

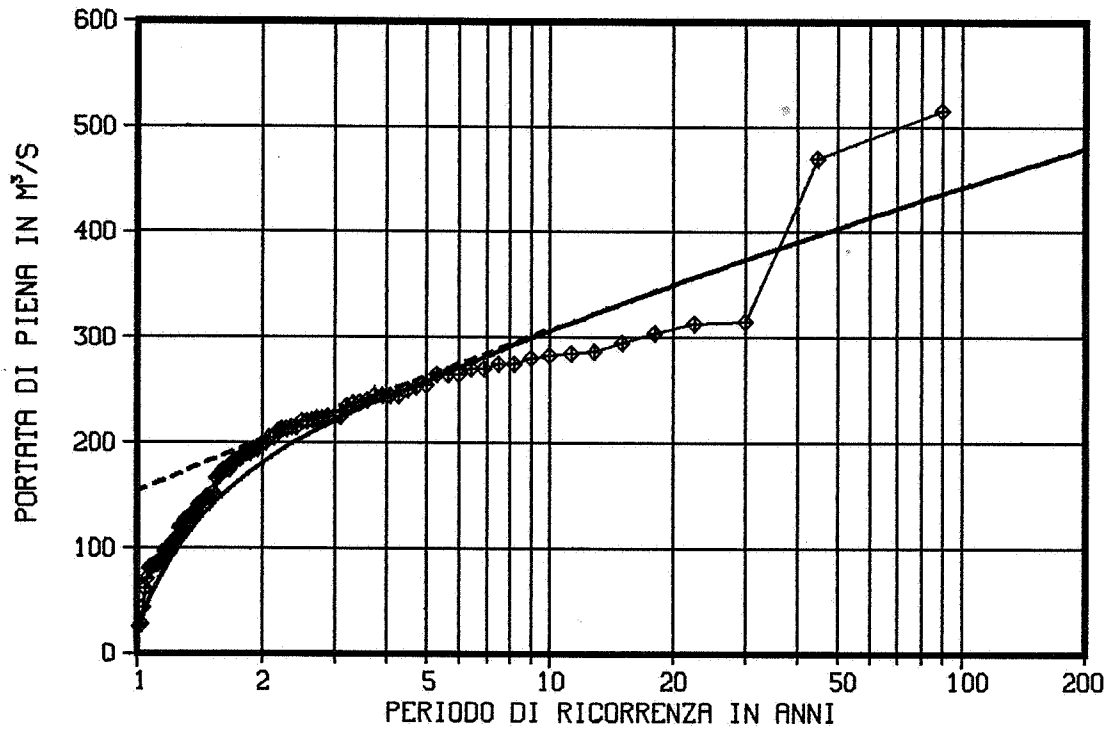




---- KURVE FUER WIEDERHOLUNGSZEITSPANNE KLEINER 15 JAHRE

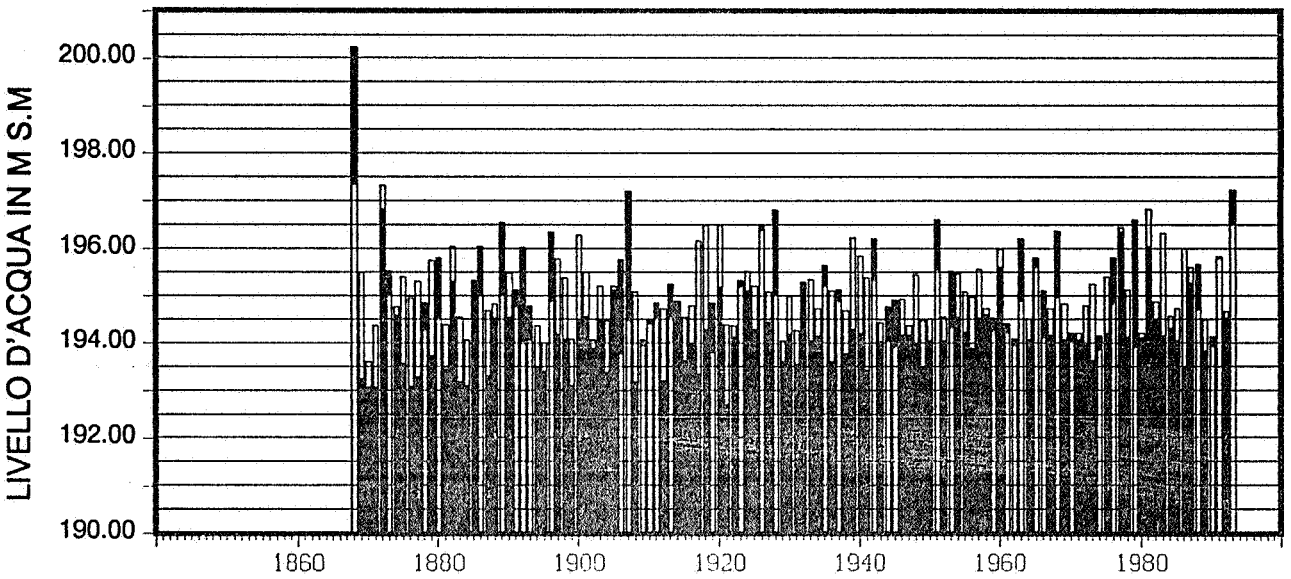
BRENNO - LODERIO

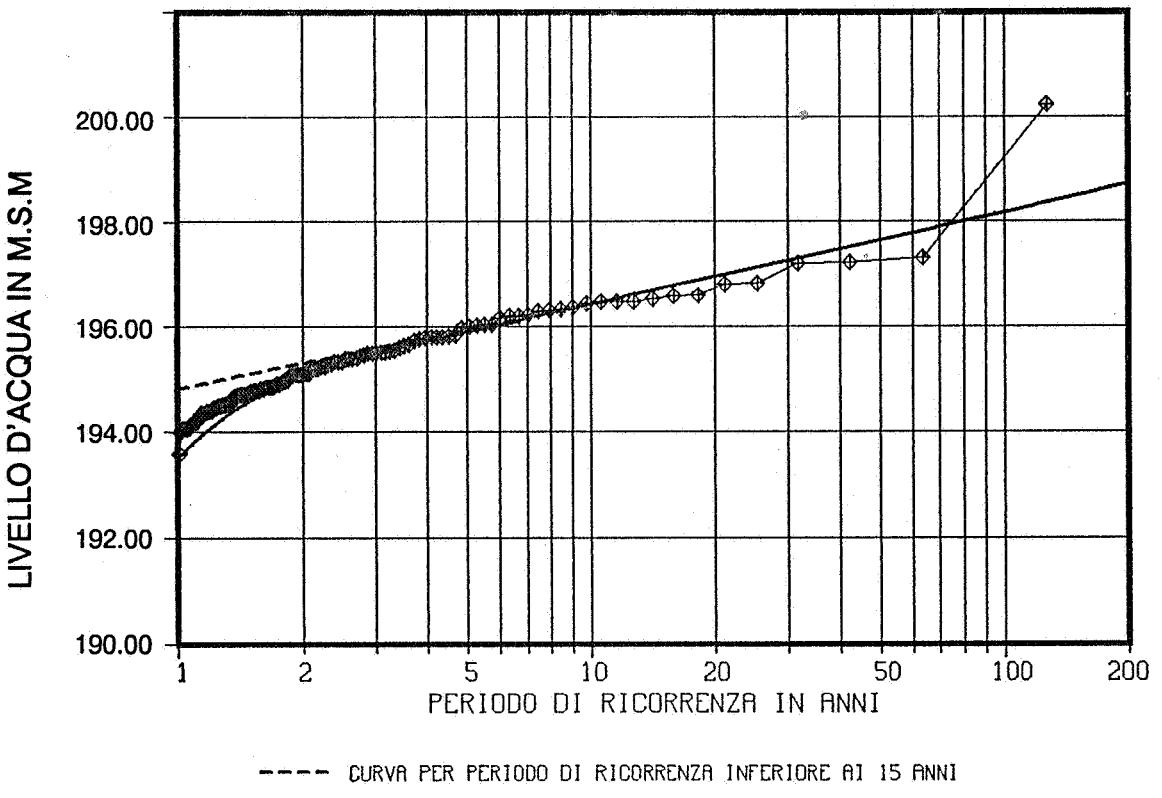




---- CURVA PER PERIODO DI RICORRENZA INFERIORE AI 15 ANNI

LAGO MAGGIORE - LOCARNO





---- CURVA PER PERIODO DI RICORRENZA INFERIORE AI 15 ANNI

Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie
Communications du Service hydrologique et géologique nationale

Vertrieb durch / Distribution par:

Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national

CH-3003 B e r n

Nr. 1	1979	F. de Montmollin, R.Oliver, F.Zwahlen Cartographie automatique des éléments du bilan hydrique	Fr. 4.50
Nr. 2	1980	M. Spreafico, R. Bigler Verzeichnis der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz	Fr. 23.--
Nr. 3	1981	Fachtagung 1979 in Krattigen Beschaffung hydrologischer Unterlagen in der Schweiz	Fr. 18.50
Nr. 4	1982	Handbuch für die Abflussmengenmessungen	Fr. 13.--
Nr. 4a	1983	Guide pour les jaugeages de cours d'eau (version française de la communication No 4)	épuisé
Nr. 5	1983	M. Spreafico, P. Buttet Verzeichnis der schweizerischen Pegelstand- und Abflussmess-stationen an Oberflächengewässern	vergriffen
		Catalogue des stations suisses de mesures des niveaux et des débits (eaux de surface)	épuisé
		Catalogo delle stazioni svizzere di misura del livello e della portata (acque di superficie)	esaurito
Nr. 6	1985	B. Schädler Der Wasserhaushalt der Schweiz	Fr. 10.--
Nr. 6a	1987	B. Schädler The Water Balance of Switzerland	Fr. 10.--
Nr. 7	1986	M. Spreafico, K. Stadler Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern Débits de crue dans les cours d'eau suisses Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri Band/Volume/Volume I	Fr. 30.--
Nr. 8	1988	M. Spreafico, K. Stadler Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern Débits de crue dans les cours d'eau suisses Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri Band/Volume/Volume II	Fr. 35.--

Nr. 9	1988	125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz 125 ans d'hydrométrie en Suisse Symposium vom 6. Mai 1988 in Bern Symposium du 6 mai 1988 à Berne	Fr. 20.--
Nr. 10	1988	H. Aschwanden, B. Schädler Hochwasserereignisse im Jahre 1987 in der Schweiz Messdaten und ausgesuchte Auswertungen	Fr. 15.--
Nr. 10a	1988	H. Aschwanden, B. Schädler Les crues de 1987 en Suisse Résultats de mesures et analyses	Fr. 10.--
Nr. 11	1989	H. Aschwanden, M. Spreafico Übertragungsfunktionen Niederschlag-Abfluss in ausgewählten schweizerischen Einzugsgebieten	Fr. 35.--
Nr. 12	1990	F. de Montmollin, A. Parodi Température des cours d'eau suisses	Fr. 12.--
Nr. 13	1991	M. Spreafico, R.Bigler (Red.) Fliesszeitbestimmung und Stofftransportuntersuchungen im Rhein	Fr. 16.--
Nr. 14	1991	Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 - Ergebnisse der Untersuchungen	Fr. 40.--
Nr. 15	1991	Ursachenanalyse der Hochwasser 1987 - Schlussbericht	Fr. 14.--
Nr. 15a	1991	Analyse des causes des crues de 1987 - Rapport final	Fr. 14.--
Nr. 16	1991	M. Spreafico, H. Aschwanden Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern Débits de crue dans les cours d'eau suisses Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri Band/Volume/Volume III	Fr. 40.--
Nr. 17	1991	M. Spreafico, H. Aschwanden Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern Débits de crue dans les cours d'eau suisses Portate di piena nei corsi d'acqua svizzeri Band/Volume/Volume IV	Fr. 38.--
Nr. 18	1992	H. Aschwanden Die Niederwasserabflussmenge Q_{347} - Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten - Eine Arbeitsanleitung	Fr. 20.--
Nr. 18a	1993	H. Aschwanden Le débit Q_{347} - Détermination et estimation pour les bassins versants alpins de Suisse Une méthode pratique	Fr. 20.--
Nr. 19	1994	Die Hochwasser 1993 im Wallis und Tessin Messdaten und ausgesuchte Auswertungen	Fr. 20.--

Nr. 19a 1994 La crue de 1993 en Valais et au Tessin
Mesures effectuées et première conclusions