

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

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

Hydrologische Mitteilungen - Communications hydrologiques - Comunicazioni idrologiche
Nr. 28

Hochwasser 1999

Analyse der Messdaten und statistische Einordnung

Hugo Aschwanden

Mit einem Beitrag von Therese Bürgi

Bern, 2000

Bundesamt für Wasser und Geologie
Office fédéral des eaux et de la géologie
Ufficio federale delle acque e della geologia

Herausgabe und Vertrieb:	Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern
Edition et distribution:	Service hydrologique et géologique national, CH-3003 Berne
Edizione e distribuzione:	Servizio idrologico e geologico nazionale, CH-3003 Berna

Vorwort

Nach 1987 und 1993 hat die Schweiz 1999 zum dritten Mal innerhalb weniger Jahre eine Hochwassersituation grossen und katastrophalen Ausmasses erlebt. Anders als zuvor war es aber der Landeshydrologie und -geologie dank den technischen Fortschritten der Messwert-erfassung und Datenübermittlung möglich, den Ablauf des Ereignisses quasi on-line mitzu-verfolgen. Dies hat es erlaubt, die im Einsatz stehenden Personen vor Ort, die Wehrdienste, Krisenstäbe und Behörden umfassend und kompetent zu informieren und zu beraten. Sensibi-lisiert durch enorme Schneefälle im Winter und einer danach in den Medien geführten Diskus-sion über die Möglichkeit von Hochwassern während der Schneeschmelze, war das Interesse der Öffentlichkeit an hydrologischer Information gross. Die über 8000 Presseartikel sind Spie-gel eines Ereignisses, welches rund sechs Wochen lang grosse Teil der Nord- und Nordost-schweiz in Atem gehalten hat.

Das Bundesamt für Wasser und Geologie will mit der vorliegenden Publikation die wissen-schaftliche Aufarbeitung der Ereignisse unterstützen. Was ist geschehen und wie sind die Ereignisse vom Mai 1999 aus hydrologischer und statistischer Sicht einzuordnen? Was sind die Tätigkeiten des Bundesamtes während Hochwassersituationen und welche Unterstützung der Personen vor Ort kann erwartet werden? Der Autor, Dr. H. Aschwanden, Leiter der Sektion Studien und Vorhersagen, geht diesen Fragen nach, indem er die Messdaten aus dem Mess-netz der LHG analysiert und mit den langjährigen Messreihen vergleicht sowie die neuen technischen Möglichkeiten der Messdatenerfassung und -übermittlung vorstellt. Im Grafikbe-reich wurde er von Frau C. Kan unterstützt, welche auch für das Layout des Berichtes verant-wortlich war. Das Kapitel über die Tätigkeiten des Vorhersagedienstes verfasste Frau Th. Bürgi.

Die Publikation wäre aber nicht möglich geworden ohne die tatkräftige Unterstützung weiterer Personen und Dienste der Abteilung Hydrologie. Allen voran A. Eberhard, der mit Unterstützung der Sektion Datenbearbeitung und Information (Leitung Ch. Koch) die neue Abfragezentrale der LHG aufgebaut hat sowie B. Luder, der den Intra- und Internetauftritt der LHG vorantreibt. Nutzniesserin dieser Aufbauarbeiten war nicht zuletzt das Vorhersageteam um Frau Th. Bürgi und B. Schädler, das während den kritischen Phasen an Auffahrt und an Pfingsten mit einem 24-h-Betrieb für Viele zu einer der wichtigsten Anlauf- und Auskunftsstelle wurde. Die LHG-Techniker aus der Sektion Instrumente und Laboratorien (Leitung S. Graf) sorgten mit einem Pikettdienst dafür, dass der Messbetrieb aufrecht erhalten werden konnte. Wo dennoch Statio-nen ausfielen, wurde die LHG von den lokalen Beobachtern tatkräftig unterstützt, die oft unter grossem persönlichem Einsatz mit Booten oder hüfttief im Wasser stehend manuell die aktuellen Messwerte einholten. Schliesslich war die Sektion Hydrometrie (Leitung B. Sigrist) dafür ver-antwortlich, dass aufgrund der Erfahrungen früherer Jahre die LHG-Stationen hochwassersicher ausgebaut wurden und dass bereits kurze Zeit nach dem Ereignis verlässliche Schätzungen der Abflussspitzenwerte zur Verfügung standen und damit die Auswertung und Analyse der Daten ermöglichte.

Das automatisierte Messnetz mit seiner Abfragezentrale hat die Bewährungsprobe bestanden. Die Analyse der Arbeitsabläufe hat aber auch Schwachstellen z.B. im Bereich der Informations-vermittlung aufgedeckt, die es nun auszumerzen gilt. In diesem Zusammenhang kommt dem Internetauftritt des Amtes eine grosse Bedeutung zu (<http://www.bwg.admin.ch>). Die Direktion des Amtes dankt Allen, die während der vergangenen Hochwasser im Einsatz standen und damit in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Publikation beigetragen haben, für ihre Arbeit.

Landeshydrologie und -geologie
Der Leiter



Prof. Dr. M. Spreafico

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
INHALTSVERZEICHNIS.....	5
ZUSAMMENFASSUNG	7
RÉSUMÉ	9
RIASSUNTO.....	11
SUMMARY.....	13
1. EINLEITUNG	15
2. DIE VORGESCHICHTE	17
2.1 DER WINTER 1998/99	17
2.2 MAXIMALE SCHNEEHÖHEN UND WASSERÄQUIVALENTE	17
2.3 DER WITTERUNGSVERLAUF VON MÄRZ BIS MAI.....	18
3. ÜBERSICHT ÜBER DAS HOCHWASSERGESESCHEN	21
3.1 WITTERUNGSVERLAUF	21
3.2 NIEDERSCHLAGSMENGEN UND STATISTISCHE EINORDNUNG	23
3.3 HOCHWASSERABLAUF	24
<i>Datenerfassung.....</i>	<i>24</i>
<i>Allgemeiner Überblick.....</i>	<i>25</i>
<i>Situation an den Fliessgewässern.....</i>	<i>25</i>
<i>Situation an den Seen</i>	<i>29</i>
4. HOCHWASSERGESESCHEN IN EINZELNEN GEBIETEN.....	31
4.1 RHEINGEBIET UNTERHALB BODENSEE	31
4.2 THURGEBIET	33
4.3 ALPENRHEIN UND BODENSEE.....	34
4.4 AARE, THUNERSEE UND JURASEEN	36
4.5 EINZUGSGEBIET DER REUSS	43
4.6 EINZUGSGEBIET DER LINTH/LIMMAT	45
5. DATENERFASSUNG UND -QUALITÄT	49
5.1 DIE ABFRAGEZENTRALE DER LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE.....	49
5.2 QUALITÄT DER MESSWERTE	51
6. TÄTIGKEIT DES VORHERSAGEDIENTSTES	55
6.1 ALLGEMEINES.....	55
6.2 VORHERSAGEN FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES RHEINS.....	55
<i>Die Vorhersagen Rhein – Rheinfelden.....</i>	<i>55</i>
<i>Güte der Abflussvorhersage während des Hochwassers.....</i>	<i>56</i>
<i>Vorhersagen für verschiedene Teileinzugsgebiete des Rheins.....</i>	<i>57</i>
6.3 PROBLEME BEI DER ERSTELLUNG VON ABFLUSSVORHERSAGEN WÄHREND EINES EXTREMEN HOCHWASSERS	58

6.4 BERATUNG UND INFORMATION.....	59
<i>Kunden</i>	59
<i>Weitere Beratungstätigkeit</i>	59
<i>Umgang mit den Medien</i>	60
6.5 AUSBLICK	61
7. STATISTISCHE EINORDNUNG.....	63
7.1 ALLGEMEINES.....	63
7.2 FLIESSGEWÄSSER	64
7.3 SEEN.....	71
7.4 VERGLEICH MIT ANDEREN JAHREN	73
8. BIBLIOGRAPHIE	79
ANHANG	83

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Wasser und Geologie legt mit der vorliegenden Publikation, in welcher die Daten aus dem Messnetz der Landeshydrologie und -geologie (LHG) dargestellt und analysiert werden, eine Grundlage für die wissenschaftliche Aufarbeitung der Hochwasserereignisse vom Mai 1999. Ein zweiter Bericht des Amtes, welcher zeitgleich erscheint, stellt die Prozess- und Ursachenanalyse in den Mittelpunkt.

Aufgrund der anhaltenden Niederschläge am 11./12. Mai (Auffahrtstage) und deren räumlichen und zeitlichen Verteilung trafen gegen Abend des 12. Mai beim Zusammenfluss von Aare, Reuss, Limmat und Rhein im Raum Brugg – Koblenz fast gleichzeitig die Hochwasserwellen der einzelnen Flussgebiete zusammen. Dies führte dort sowie rheinabwärts zu einem ausserordentlichen Hochwasser. Die anhaltend hohen Schneeschmelzbeiträge in der ersten Maihälfte und vor allem die Regenfälle, die im Berner Oberland bis am 14. Mai anhielten, liessen den Brienzer- und noch mehr den Thunersee weit über ihre bisherigen Höchststände ansteigen. Dies hatte für die Aare von Thun bis zum Bielersee ausserordentliche Hochwasserabflüsse zur Folge. Lagen schon nach der ersten Maihälfte die Seespiegel der übrigen Alpenrandseen (Vierwaldstättersee, Zugersee, Walensee, Zürichsee und Bodensee) weit über den Durchschnittswerten, so führten die erneuten Regenfälle um Pfingsten (20.-22.5.) zu einem nochmaligen Anstieg. Im Bodensee konnte ein neuer Höchststand in diesem Jahrhundert registriert werden. Als Folge der hohen Seestände war der Rhein bei Basel für die Schifffahrt lange Zeit gesperrt. Eine bedrohliche Situation stellte sich am Linthkanal ein, der wegen des Höchststandes des Walensees ebenfalls ein ausserordentliches Hochwasser führte und dessen Dämme nur knapp nicht überflutet wurden.

An 32 Abflussmessstationen aus dem Messnetz der LHG, rund 2/3 davon seit über 50 Jahren in Betrieb, wurden die höchsten Abflüsse der jeweiligen Messperiode beobachtet, an 13 weiteren die zweit- und drittgrössten. Mit der Aare, der Reuss, der Limmat, der Glatt, der Thur, der Töss und dem Rhein waren im Hauptniederschlagsgebiet alle grossen Flüsse betroffen. Bei den Stationen, welche die höchsten Wassermengen seit Beobachtungsbeginn aufzeichneten, übertrafen die neuen Abflussspitzenwerte in rund der Hälfte aller Fälle die alten um mehr als 10 %. Ein extremes Beispiel dafür sind die Höchstabflüsse der Aare, welche an den Stationen Thun von 400 auf 570 m³/s (+40 %) und Bern von 450 auf 620 m³/s (+35 %) anstiegen. Ähnlich hohe Veränderungen registrierten einzig noch die Stationen Thur-Stein (von 115 auf 155 m³/s), Murg-Wängi (von 43 auf 60 m³/s), Glatt-Rheinsfelden (von 120 auf 155 m³/s) und Scheulte-Vicques (von 48 auf 65 m³/s).

An den Seen wurden mit Ausnahme des Walensees die Schadensgrenzen um mehr als einen halben Meter überschritten: am extremsten beim Thunersee und beim Bodensee-Untersee mit je 87 cm. Für 6 Seen bedeutete das Hochwasser 1999 einen neuen gemessenen Höchststand. Dieser liegt beim Thunersee 49 cm über dem bisherigen Höchstwert, beim Lauerzersee sogar 66 cm, allerdings steht die Messstation in Lauerz erst seit 1986 in Betrieb. Neben dem massiven Überschreiten der Schadensgrenzen war die Dauer des Ereignisses das herausragende Charakteristikum. Am Bodensee lag der Pegel volle 53 (Untersee) bzw. 48 Tage (Obersee) über der Schadensgrenze. Auch der Vierwaldstättersee (30 Tage), der Zürichsee (19), der Thunersee (16) und der Brienzersee (9) waren lange Zeit betroffen. Trotz des Höchsthochwassers der Aare blieben die ein hydraulisches System bildenden Jura- randseen (Murten-, Neuenburger- und Bielersee) hingegen zum Teil noch deutlich unter den Schadensgrenzen.

Aufgrund der ausserordentlichen Ereignisse wurde für alle betroffenen Stationen die Hochwasserstatistik der LHG nachgeführt. Die meisten Ereignisse weisen eine Jährlichkeit von mehr als 50 Jahren auf, mehrheitlich im Bereich von 100-1000 Jahren, wobei auch hier die Abflüsse der Aare bei Thun und Bern herausragen. Insgesamt kann aufgrund der extremwertstatistischen Auswertung besonders an den grossen Flüssen von einem sehr seltenen Ereignis gesprochen werden. Ähnliche Ereignisse, was die flächenhafte Ausdehnung anbelangt, fanden in den Jahren 1987 (Alpenraum) und 1977 (Voralpen/Alpenrand) statt. Regionale Bedeutung erreichten Ereignisse der Jahre 1993 (VS, TI), 1990 (Jura, Berner Voralpen) und 1954 (GR). Das Ereignis von 1910 lässt sich mangels Messstationen schlechter beurteilen; es weist jedoch Einiges darauf hin, dass es mit 1999 vergleichbar ist. Interessanterweise finden sich die messtechnisch erfassten schneereichen Winter (z.B. 1951, 1966, 1968, 1970) nicht unter den Jahren mit besonderen Hochwassersituationen. Dies bedeutet, dass nicht zwangsläufig jeder Winter mit hohen Schneemengen zu Hochwassern führt. Ausschlaggebend ist der Witterungsverlauf während der Schneeschmelze und im Frühsommer. So treten in Jahren, wo die Witterung während der Ablationsperiode durchschnittlich verläuft, trotz hohen Schneemengen, kaum Hochwassersituationen auf. Typisch ist aber, dass die Seestände allgemein während dieser Zeit über dem Durchschnitt liegen. Kritisch wird es jeweils dann, wenn entweder die Temperatur, die Niederschläge oder beides gleichzeitig überdurchschnittlich ausfallen. Dies ist beispielsweise in den Jahren 1910, 1966, 1968 und 1970 eingetreten. Die Seen erreichten ihre Schadensgrenzen und auch die Fliessgewässer im Unterlauf führten Hochwasser. Für die übrigen Fliessgewässer sind fast immer starke Niederschläge der Auslöser für Hochwasser. Im Mittelland kann die Schneeschmelze wegen der geringen Höhenausdehnung und der sich daraus ergebenden grossen Schmelzvolumina bereits in Kombination mit einem weniger starken Niederschlag zu kritischen Situationen führen.

Die LHG betreibt an den grösseren Flüssen und Seen ein Netz von über 250 Messstellen, an denen der Wasserstand kontinuierlich aufgezeichnet wird. Dank den Anstrengungen während der letzten Jahre werden die Daten nun mehrheitlich digital erfasst und in eine Abfragezentrale übermittelt. Dies hat es im Mai 1999 erstmals erlaubt, eine Hochwassersituation grossen Ausmasses praktisch on-line mitzuverfolgen, und dem Informationsbedürfnis der Behörden, der Krisenstäbe, der Einsatzleitungen vor Ort, den Prognosediensten, der Medien sowie der Öffentlichkeit gerecht zu werden. Die Investitionen der LHG in die Hochwassersicherheit ihrer Messstationen haben sich letztes Jahr ausbezahlt. Es waren sehr wenig Schäden zu verzeichnen und die meisten Hochwasserspitzen an den Fliessgewässern konnten aufgezeichnet werden. Etwas anders präsentierte sich die Lage an den Seen, wo ganze Uferbereiche unter Wasser standen und die Messstationen nicht mehr zugänglich waren. Dank den lokalen Beobachtern konnte der Messbetrieb gleichwohl aufrechterhalten werden. Grundsätzlich hat sich der Einsatz neuerer Technologien der Messwerterfassung und -übermittlung bewährt. Eine immer wichtigere Rolle als Datenvermittler spielt dabei das Internet. Neuigkeiten werden laufend auf der Webseite des Amtes <http://www.bwg.admin.ch> bekanntgegeben.

Résumé

L'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) met à disposition, avec la présente publication, une base de travail destinée à l'étude scientifique de ces événements. Il s'agit de la présentation et de l'analyse des données fournies par le réseau de mesure du service hydrologique et géologique national (SHGN). Dans un deuxième rapport de l'OFEG, publié simultanément, l'accent est mis sur l'analyse des causes et des processus impliqués.

Avec les pluies continues des 11 et 12 mai (Ascension), les ondes de crues provenant des bassins versants de l'Aar, de la Reuss, de la Limmat et du Rhin se rencontrèrent presque simultanément dans la région de Brugg-Koblentz. Cela a provoqué là, ainsi qu'en amont sur le Rhin, une crue exceptionnelle. Avec les contributions de la fonte des neiges, élevées et continues au cours de la première moitié du mois de mai et surtout les fortes chutes de pluie, tombées sur l'Oberland bernois jusqu'au 14 mai, les eaux des lacs de Brienz et surtout de Thoune sont montées bien au-dessus de leur niveau maximum. En conséquence, l'Aar, de Thoune au lac de Bienne, a subi une crue tout à fait extraordinaire. Comme les niveaux des autres lacs périalpins (Quatre Cantons, Zug, Walenstadt, Zurich et Constance) se situaient déjà largement au-dessus des valeurs moyennes, les pluies renouvelées de Pentecôte (20-22.5) amenèrent une nouvelle montée des eaux. On a pu ainsi enregistrer un nouveau record du siècle pour le lac de Constance. En raison du niveau élevé des lacs, le Rhin a été longtemps fermé à la navigation à Bâle. Une situation menaçante s'est établie sur le canal de la Linth qui, à cause du haut niveau du lac de Walenstadt, subissait aussi une crue exceptionnelle, manquant de peu de déborder ses digues.

Auprès de 32 stations hydrométriques du réseau SHGN, dont les 2/3 environ sont en fonction depuis plus de 50 ans, on a pu observer les débits les plus élevés de leurs périodes de mesure respectives. Auprès de 13 autres stations, ces débits ont atteint le second ou le troisième rang. En comptant l'Aar, la Reuss, la Limmat, la Glatt, la Thur, la Töss et le Rhin, tous les grands cours d'eau de la région la plus atteinte par les précipitations ont été touchés. Aux stations ayant enregistré les plus forts débits depuis le début des observations, les nouvelles valeurs de pointe ont dépassé de plus de 10% les valeurs précédentes dans près de la moitié des cas. Un exemple extrême en est l'Aar qui à la station de Thoune a passé de 400 m³/s, précédemment, à 560 m³/s (+40%) et à la station de Berne, de 450 à 610 m³/s (+35%). De fortes augmentations ont également été relevées aux stations de Thur-Stein (de 115 à 155 m³/s), Murg-Wängi (de 43 à 60 m³/s), Glatt-Rheinsfelden (de 120 à 155 m³/s) et Scheulte-Vicques (de 48 à 65 m³/s).

Pour ce qui est des lacs, à l'exception de celui de Walenstadt, la limite des dégâts a été dépassée de plus d'un demi mètre, avec un dépassement extrême de 87 cm à ceux de Thoune et de Constance. Pour six lacs, la crue de 1999 représente un nouveau maximum mesuré, qui au lac de Thoune se situe à 49 cm au-dessus du précédent et même à 66 cm au Lauerzersee, la station de Lauerz n'étant toutefois en service que depuis 1986. En plus d'un large dépassement des limites de dégâts, la caractéristique dominante a été la durée de l'événement. Au lac de Constance, le niveau a dépassé la limite des dégâts pendant 53 jours (Untersee) et 48 jours (Obersee). Les lacs des Quatre Cantons (30 jours), de Zurich (19) Thoune (16) et Brienz (9) ont aussi été affectés pendant une longue période. Par contre, malgré la crue extrême de l'Aar, le système hydraulique constitué par les trois lacs jurassiens (Morat, Neuchâtel et Bienne) est resté généralement nettement en dessous des limites de dégâts.

Avec ces événements extraordinaires, l'analyse fréquentielle des crues a pu être mise à jour pour toutes les stations touchées. Dans la plupart des cas, une période de retour de plus de 50 ans est apparue, mais le plus souvent pourtant dans le domaine des périodes de récurrences se situant entre 100 et 1000 ans. Ici aussi les débits de l'Aar à Thoun et à Berne sortent du lot. D'une façon générale, la statistique des valeurs extrêmes montre que, tout particulièrement pour les grands cours d'eau, on peut parler d'un événement très rare. Des événements semblables, pour ce qui est de l'étendue affectée, se sont produits en 1987 (région alpine) et en 1977 (Préalpes, bordure des Alpes). Des événements d'importance régionale ont eu lieu en 1993 (VS, TI), 1990 (Jura, Préalpes bernoises) et 1954 (GR). Il est difficile de juger de l'importance de l'événement de 1910, faute de stations de mesure en nombre suffisant. Plusieurs indices montrent cependant qu'il peut être comparé à celui de 1999. Il est intéressant de relever que, quand la couche de neige a pu être évaluée selon les règles de l'art (par exemple en 1951, 1966, 1968, 1970), les hivers riches en neige ne coïncident pas avec des années remarquables pour leurs crues. Autrement dit, tous les hivers caractérisés par de grosses quantités de neige n'apportent pas nécessairement des situations de crue. L'élément décisif est l'évolution de la situation météorologique pendant la période de fonte de la neige et au début de l'été. Ainsi, les années où pendant la période d'ablation cette évolution suit un cours normal, on notera à peine quelques petites crues, même avec de grosses quantités de neige. Par contre, il sera typique d'observer pendant cette période des niveaux des lacs généralement supérieurs à la moyenne. Chaque fois cependant le point critique sera atteint quand, soit la température, soit les précipitations, soit les deux à la fois, atteindront des valeurs supérieures à la moyenne. C'est ce qui s'est produit par exemple en 1910, 1966, 1968 et 1970. Les lacs atteignirent la limite des dégâts et les cours inférieurs des grands cours d'eaux entrèrent aussi en crue à l'aval. Pour les autres cours d'eau, de fortes précipitations sont presque toujours à l'origine des crues. Sur le Plateau, en raison de la répartition plus concentrée des altitudes, la fonte de la neige peut produire rapidement des volumes d'eau importants, même en combinaison avec des précipitations relativement moins fortes, et occasionner ainsi des situations particulièrement critiques.

Le SHGN gère un réseau de plus de 250 emplacements de mesure où le niveau des principaux lacs et cours d'eau est relevé en continu. Grâce à un effort soutenu ces dernières années, la plupart des données sont désormais enregistrées numériquement et retransmises à une centrale d'appel des stations. Cela a permis, pour la première fois en mai 1999, de suivre pratiquement en temps réel une situation de crues généralisées, et d'informer immédiatement les autorités locales, les états-majors de crise, les organes d'intervention, les services de prévision, les médias et le public en général.

Le SHGN s'est beaucoup investi au cours de ces dernières années dans le domaine de la sécurité lors des crues et, l'année passée, ces efforts se sont révélés payants. Sur les cours d'eau, il y a eu très peu de dégâts à déplorer et, la plus part des pointes de débit ont pu être enregistrées. La situation s'est présentée un peu différemment sur les lacs où tout le domaine des rives s'est trouvé sous l'eau et les stations limnimétriques ne pouvaient plus être atteintes. Grâce aux observateurs sur place, les activités de mesure ont cependant pu être maintenues. D'une façon générale, la mise en place de nouvelles technologies pour le relevé des mesures et leur retransmission s'est avérée utile. Dans le domaine de retransmission des données, l'Internet joue un rôle toujours plus important. Les nouveautés en ce qui le concerne sont annoncées régulièrement sur le site de l'office <http://www.bwg.admin.ch>.

Riassunto

Con la presente pubblicazione, che riassume ed analizza i dati forniti dalle stazioni di misurazione del Servizio idrologico e geologico nazionale (SIGN), l'Ufficio federale delle acque e della geologia (UFAEG) mette a disposizione uno strumento di lavoro per l'analisi scientifica delle piene registrate nel maggio del 1999. Un secondo rapporto, pubblicato contemporaneamente dall'UFAEG, è maggiormente incentrato sull'analisi delle cause delle piene e dei processi ivi connessi.

In seguito alle persistenti precipitazioni dei giorni 11 e 12 maggio (Ascensione) e alla loro distribuzione geografico-temporale, alla convergenza dei fiumi Aare, Reuss, Limmat e Reno nella zona di Brugg-Coblenza, la sera del 12 maggio sono confluite praticamente allo stesso tempo le onde delle piene dei singoli bacini fluviali. Ciò ha condotto a piene eccezionali in queste regioni e lungo il corso inferiore del Reno. Il costante e intenso scioglimento delle masse nevose nella prima metà del mese di maggio e soprattutto le precipitazioni che, nell'Oberland bernese sono durate fino al 14 maggio, hanno fatto alzare, oltre il limite massimo, il lago di Brienz e, in particolare, quello di Thun. Ciò ha provocato piene fluviali di eccezionale portata che hanno interessato il fiume Aare nel tratto tra Thun e il lago di Biemme. Il livello degli altri laghi perialpini (lago dei Quattro Cantoni, di Zugo, di Zurigo, di Costanza e Walensee), a metà maggio già di gran lunga superiore ai valori medi, è salito ancora di più in seguito alle piogge del periodo di Pentecoste (20-22 maggio). Il lago di Costanza, per esempio, ha raggiunto un nuovo livello record in questo secolo. A causa dell'elevato livello dell'acqua, nella regione di Basilea il Reno è rimasto chiuso alla navigazione per un lungo periodo. Una situazione minacciosa si è verificata anche lungo il canale della Linth che, a causa dell'acqua alta del Walensee, ha registrato una piena eccezionale, al punto da far quasi sommergere le dighe.

Presso le 32 stazioni idrometriche della rete SIGN, di cui circa 2/3 sono in esercizio da oltre cinquant'anni, sono state registrate le maggiori portate d'acqua dei rispettivi periodi di misurazione, mentre in altre 13 le portate si situano al secondo e al terzo posto della scala. Nella regione maggiormente colpita dalle precipitazioni, le piene hanno interessato tutti i grandi fiumi svizzeri: Aare, Reuss, Limmat, Glatt, Thur, Töss, Reno. Presso le stazioni che, dall'inizio del periodo di osservazione, hanno registrato le portate maggiori, in circa la metà dei casi i nuovi valori di punta hanno superato quelli precedenti di più del 10%. Un esempio estremo è costituito dal fiume Aare che, presso la stazione di Thun, è passato da 400 a 560 m³/s (+40 %) e presso quella di Berna da 450 a 610 m³/s (+35 %). Un aumento analogo dei valori di deflusso è stato rilevato soltanto presso le stazioni di Thur-Stein (da 115 a 155 m³/s), Murg-Wängi (da 43 a 60 m³/s), Glatt-Rheinfelden (da 120 a 155 m³/s) e Scheulte-Vicques (da 48 a 65 m³/s).

Ad eccezione del Walensee, nei laghi la "soglia di danno" è stata superata di più di mezzo metro, con punte massime di 87 cm nei laghi di Thun e di Costanza. Per 6 laghi, l'acqua alta del 1999 ha costituito un nuovo livello record; per i laghi di Thun e di Lauerz, i nuovi limiti si situano rispettivamente a 49 cm e a 66 cm sopra il record precedente (la stazione di Lauerz, tuttavia, è in esercizio soltanto dal 1986). Oltre al fatto che le soglie di danno sono state ampiamente superate, va rilevata anche l'eccezionale durata delle piene. Al lago di Costanza, il livello dell'acqua è rimasto al di sopra della soglia di danno per 53 giorni (Untersee) e 48 giorni (Obersee). Le piene hanno interessato per un lungo periodo anche i laghi dei Quattro Cantoni (30 g.), di Zurigo (19 g.), di Thun (16 g.) e di Brienz (9). Nonostante la piena estrema del fiume Aare, il sistema idraulico costituito dai tre laghi di Morat, Neuchâtel e Biemme, ai margini del Giura, parzialmente è rimasto di gran lunga al di sotto della soglia di danno.

A seguito di questi eventi eccezionali, è stata aggiornata dal SIGN la statistica delle piene per ogni stazione interessata. In gran parte dei casi si è evidenziato un “tempo di ritorno” superiore ai 50 anni, con eventi che si situano nell’intervallo dei tempi di ritorno tra 100 e 1000 anni. Anche in questo caso spiccano in particolar modo i deflussi dell’Aare presso Thun e Berna. In generale, la statistica dei valori estremi dimostra che, segnatamente per i grandi corsi d’acqua, l’evento del 1999 può essere definito molto raro. Eventi di portata simile quanto all’estensione geografica si sono verificati nel 1987 nella regione alpina e nel 1977 nelle Prealpi e ai bordi delle Alpi. Eventi di portata regionale si sono invece prodotti nel 1993 nei Cantoni Ticino e Vallese, nel 1990 nel Giura e nelle Prealpi bernesi e nel 1954 nel Cantone dei Grigioni. Poiché all’inizio del secolo non esistevano stazioni di misurazione, è invece problematico valutare l’evento del 1910, anche se alcuni indizi inducono a credere che esso fosse di portata simile a quello del 1999. E’ interessante rilevare che gli inverni con forti precipitazioni nevose (per esempio 1951, 1966, 1968, 1970) non coincidono con le annate delle grandi piene. In altre parole, non tutti gli inverni caratterizzati da intense nevicate sono necessariamente seguiti da una fase di acqua alta. Il fattore determinante, in questo contesto, è l’evoluzione della situazione meteorologica durante la fase di scioglimento della neve e all’inizio dell’estate. Così, negli anni in cui il periodo di ablazione si svolge in modo normale, raramente si verificano piene anche se d’inverno le nevicate sono state particolarmente intense. Per contro, durante queste fasi, il livello dei laghi è generalmente superiore alla media. La situazione diventa critica quando la temperatura, le precipitazioni, o entrambi i fattori, risultano superiori alla media, cosa che si è verificata per esempio nel 1910, 1966, 1968 e 1970. In quegli anni, i laghi hanno raggiunto la soglia di danno e i corsi inferiori dei fiumi erano in piena. Le piene degli altri corsi d’acqua sono quasi sempre dovute a forti precipitazioni. Sull’Altipiano, poiché le quote elevate sono territorialmente più concentrate, e lo scioglimento della neve può portare a ingenti quantità d’acqua, la situazione può diventare critica già in presenza di precipitazioni meno forti.

Il SIGN gestisce una rete di più di 250 stazioni di misurazione che rilevano costantemente il livello dei principali laghi e corsi d’acqua. Grazie alle misure adottate negli ultimi anni, gran parte dei dati viene ora registrata con un sistema digitale e trasmessa a una centrale collegata alle singole stazioni. Nel 1999, ciò ha permesso per la prima volta di seguire in rete, in tempi reali, l’evoluzione delle piene, tenendo costantemente informati le autorità locali, le cellule di crisi, gli organi di intervento sul posto, i servizi di previsione, i media e il pubblico. Gli investimenti effettuati dal SIGN al fine di migliorare le misure di protezione contro le piene presso le stazioni di misurazione, l’anno scorso hanno dato buoni risultati. Il numero dei danni è stato assai esiguo e gran parte delle piene più forti che hanno interessato i corsi d’acqua ha potuto essere registrata. La situazione si presentava invece diversa per i laghi, dove intere rive sono state sommerse, rendendo impossibile l’accesso alle stazioni di misurazione. Grazie a una rete di osservatori locali è comunque stato possibile effettuare un certo numero di rilevamenti. L’impiego di nuove tecnologie per la registrazione e la trasmissione dei valori di misurazione in generale ha dato buoni risultati. In questo contesto, Internet svolge sempre più un ruolo di primo piano; i dati vengono infatti continuamente aggiornati sul sito dell’Ufficio federale delle acque e della geologia, all’indirizzo <http://www.bwg.admin.ch>.

Summary

In the present publication from the Federal Office for Water and Geology, data supplied by the measurement network of the Swiss National Hydrological and Geological Survey (SNHGS) is presented and analysed. This document is intended as a basis for a scientific analysis of the flooding that occurred in May 1999. A second report drawn up by the Federal Office, which will be published at the same time, focuses on an analysis of the processes and causes.

As a result of the continuous rainfall on 11th and 12th May (Ascension) and its geographical and temporal extent, the flood peaks from the different river basins occurred more or less simultaneously on the evening of 12th at the confluence of the Aare, the Reuss, the Limmat and the Rhine near Brugg-Koblentz. This resulted in exceptional flooding there as well as further down the Rhine. Owing to the continuous persistent rate of snow-melt during the first half of May and in particular the continuous rainfall up until 14th May, the level of Lake Brienz and even more markedly Lake Thun rose far above the maximum levels ever reached before. The result was that the Aare was swollen with an enormous amount of flood-water from Thun downstream as far as Lake Biel. While in the first half of May the level of the other Pre-Alpine lakes (Lake Lucerne, Lake Zug, Lake Walen, Lake Zurich and Lake Constance) was already well above the mean, renewed heavy rainfall around Whitsun (20th - 22nd May) caused it to rise even more. Lake Constance reached the highest level ever recorded in the 20th century. Owing to the high water-level in the lakes, shipping on the Rhine at Basle was stopped for a considerable time. A dangerous situation arose on the Linth Canal, which was exceptionally full owing to the high level of Lake Walen and which almost burst its banks.

Thirty-two SNHGS runoff measurement stations, around two-thirds of which have been in operation for over 50 years, recorded the highest discharges ever, and 13 others the second or third highest discharge. With the Aare, the Reuss, the Limmat, the Glatt, the Thur, the Töss and the Rhine all the major rivers in the main rainfall zone were affected. At around half of the measurement stations which recorded the highest discharge levels since observations started, the new record runoff rates were over 10% higher than former maxima. An extreme example is the maximum runoff rate for the Aare, which in Thun rose from 400 to 570 m³/sec (40% increase) and in Berne from 450 to 620 m³/sec (35% increase). Similarly impressive rises were recorded only at the measurement stations in Thur-Stein (from 115 to 155 m³/sec), Murg-Wängi (from 43 to 60 m³/sec), Glatt-Rheinsfelden (from 120 to 155 m³/sec) and Scheulte-Vicques (from 48 to 65 m³/sec).

With the exception of Lake Walen, the water-level exceeded the damage limit by more than half a meter for all lakes: extreme levels were seen in the case of Lake Thun and the Untersee part of Lake Constance (both 87 cm over the limit). For six lakes the 1999 flood levels constituted new records: in the case of Lake Thun 49 cm above the previous record and for Lake Lauerz as much as 66 cm higher, although it should be noted that the measurement station on the latter has only been in operation since 1986. Apart from the massive excess levels, the length of the event was another noticeable characteristic. At Lake Constance the level was above the damage limit for a full 53 days on the Untersee and 48 days on the Obersee. The consequences of the unusual conditions were also felt for a long time on Lake Lucerne (30 days), Lake Zurich (19 days), Lake Thun (16 days) and Lake Brienz (9 days). Despite the flooding of the Aare, the lakes at the foot of the Jura mountains (Murten, Neuchâtel and Biel), which form one hydraulic system, remained in parts well below the damage limit.

In view of this abnormal situation, the SNHGS's flood statistics were updated for all the stations affected. Most of the events show a return period of over 50 years, the most frequent figure lying between 100 and 1000 years. The runoff rates for the Aare in Thun and Berne were noticeable. Overall, one can speak of an extremely rare occurrence owing to the exceptional levels reached, especially in the case of the main rivers. As far as concerns geographical extent, similar widespread events occurred in 1987 (in the Alps) and 1977 (Pre-Alps, foothills). Events of regional importance happened in 1993 (Valais, Tessin), 1990 (Jura, Bernese Pre-Alps) and 1954 (Grisons). The floods of 1910 are more difficult to assess as very few measurement stations were in operation at the time, although there are indications that the extent of the flooding was comparable to that of 1999. It is interesting to note that the winters when high snowfall rates were recorded (e.g. 1951, 1966, 1968 and 1970) do not coincide with years with a particularly frequency of flooding. This implies that a winter with heavy snowfall does not necessarily lead to flooding. The decisive factor is rather the weather pattern during the snowmelt and the spring. In years with normal weather conditions during the ablation period there is little risk of flooding, even if there has been a great deal of snow during the winter. A typical consequence, however, is that the level of the lakes is above average during this period. The situation becomes critical when either the temperature, the precipitation or both exceed average levels, which happened for example in 1910, 1966, 1968 and 1970. The lakes filled to damage levels and the lower reaches of the rivers also flooded. In the case of other rivers, it is almost always heavy rainfall which is responsible for flooding. In the central lowlands snowmelt combined with a lower rainfall volume can lead to a critical situation owing to the relatively small height differences and the resulting large volume of melt-water.

The SNHGS operates a network of over 250 measurement sites in the larger rivers and lakes which continually indicate the water level. Thanks to efforts made over the last few years, the majority of the data is recorded digitally and transmitted to a central computer. With this system it was possible for the first time, in May 1999, to follow the development of a major flood situation more or less on-line, and to supply the necessary information to the authorities, emergency units, organisers on the spot, forecast services, the media and the public. The amounts that the SNHGS has invested to protect its measurement stations against flooding paid off in 1999. Very little damage was done and it was possible to record most of the peak flood levels on rivers. The situation with regard to the lakes was somewhat different, however: in places broad areas of shoreline were flooded and it was not possible to reach the measurement stations. Thanks to local observers, however, measurements continued to be taken regularly. Basically, the use of the latest technology for gathering and transmitting measurement information proved its worth. The role of the Internet as a means of transmitting data is becoming increasingly important; the Office's website (<http://www.bwg.admin.ch>) is constantly updated with the latest information.

1. Einleitung

Nach anhaltenden Niederschlägen am 11./12. Mai 1999 im Mittelland und in etwas abgeschwächter Form im Berner Oberland kam es praktisch in der gesamten Nordostschweiz sowie im Thuner- und Brienzersee und in der Folge entlang der Aare zu massiven Hochwassern. Nur wenige Tage später traten am Pfingstwochenende (21./22. Mai) zwischen Urner- und Walensee und im Prättigau erneut intensive Niederschläge auf, die wiederum zu Hochwassern führten und den Walensee, den Zürichsee und insbesondere den Bodensee weit über ihre Schadensgrenzen ansteigen liessen. Mit insgesamt rund 580 Millionen Franken waren die Schäden der beiden Maiereignisse zwar sehr gross, aber im Vergleich zu 1978, 1987 und 1993 nicht aussergewöhnlich (BWG, 2000).

Der Winter 1998/99 war geprägt durch die massiven Schneefälle im Februar, welche nicht nur den Alpen hohe Schneemengen, sondern seit langer Zeit auch dem Mittelland wieder einmal eine Schneedecke bescherten. Als während der Niederschlagsperiode vom 20.-22. Februar die Schneefallgrenze anstieg und mit intensivem Niederschlag im Mittelland die Schneedecke zu schmelzen begann, kam es in den tiefer gelegenen Landesteilen zu lokalen Überschwemmungen und Erdrutschen. Dies führte unter den Experten und in den Medien zu einer Diskussion, ob angesichts der grossen Schneemengen in den Alpen, das Risiko für Hochwasser im Jahre 1999 grösser sei als sonst (OcCC, 1999; Pfister, 2000). Der Kanton Bern setzte sogar eine Arbeitsgruppe Schnee/Wasser ein, welche diese Frage vertieft behandeln und Szenarien der längerfristigen Entwicklung aufzeigen sollte (Mani, 2000, TBA et al., 1999).

Das „worst case-Szenario“ ist unterdessen Wirklichkeit geworden und das Hochwasser an Fliessgewässern und Seen hat die Betroffenen zum Teil wochenlang in Atem gehalten. Das Bundesamt für Wasser und Geologie (Landeshydrologie und -geologie) will mit der vorliegenden Publikation die wissenschaftliche Aufarbeitung der Ereignisse wie dies bereits im Anschluss an die Hochwasser von 1987 (Aschwanden und Schädler, 1988) und 1993 (LHG, 1994) erfolgt ist, unterstützen. Was ist geschehen und wie sind die Ereignisse von 1999 aus hydrologischer und statistischer Sicht einzuordnen? Was sind die Tätigkeiten des Bundesamtes während Hochwassersituationen und welche Unterstützung der Personen vor Ort kann erwartet werden? Um diese und ähnliche Fragen zu beantworten, werden einerseits die Messdaten aus den Messnetzen der LHG in aufbereiteter Form präsentiert, analysiert, diskutiert und mit den langjährigen Messreihen verglichen und andererseits die neuen technischen Möglichkeiten der Messdatenerfassung und der Datenvermittlung vorgestellt. Zur Sprache kommen auch die Möglichkeiten und Grenzen der Prognosetätigkeit im Zusammenhang mit den Hochwassereignissen 1999.

Darüber hinaus hat das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) einen zweiten Bericht initialisiert, in dessen Mittelpunkt eine eigentliche Prozess- und Ursachenanalyse steht und an dem sich Fachleute aus der Verwaltung und Forschung beteiligten (BWG, 2000). Die beiden Berichte ergänzen sich und sind aufeinander abgestimmt.

2. Die Vorgeschichte

2.1 Der Winter 1998/99

Der Winter 1998/99 gilt als ausserordentlich. Dieser Eindruck ist vor allem geprägt durch den Hochwinter, als in drei ausgeprägten und kurz aufeinanderfolgenden Neuschneeperioden vom 29.1.99 bis Ende Februar grosse Mengen Schnee fielen und höchste Lawinengefahr herrschte. Gesamthaft betrug der Neuschneezuwachs in den nördlichen Regionen der Schweizer Alpen in diesem Zeitraum rund 5 m (SLF, 1999).

Möglich gemacht hat dies die Grosswetterlage mit einem Tief über Skandinavien und einem Hoch über dem Atlantik, was im Alpenraum zu einer immer wiederkehrenden Nordweststaulage mit stürmischen Winden geführt hat. Während der Frühwinter noch weitgehend normal verlaufen ist, fielen in der ersten Teilperiode des Hochwinters vom 27.-31.1.99 mit Ausnahme einiger inneralpiner Täler und der Alpensüdseite verbreitet mehr als 50 cm Schnee, im östlichen Berner Oberland sowie in den Glarner und St. Galler Alpen über 100 cm. Da die Schweiz im Einflussbereich maritimer Luftmassen lag, blieben die tieferen Lagen unterhalb ca. 700 m vorerst noch schneefrei. Während der zweiten Periode vom 5.-12.2.99 fielen am Alpennordhang mehr als 100 cm, in den höheren Lagen mehr als 200 cm Schnee. Die höchsten Werte verzeichneten die Glarner Alpen. Die Vergleichsstation des Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) oberhalb Elm (1690 m ü.M.) erhielt in diesen 8 Tagen 257 cm Neuschnee. Die Temperatur sank im Verlaufe dieser Niederschlagsperiode stark ab, so dass bis in tiefe Lagen des Mittellandes eine geschlossene Schneedecke entstand. Während der dritten Teilperiode vom 17.-25.2.99 fiel in den nördlichen Regionen bedeutend mehr Niederschlag als im Süden. Im Berner Oberland, in den Glarner Alpen und in der Zentralschweiz betrug die Neuschneesumme über 200 cm. Den höchsten Wert verzeichnete wiederum die SLF-Station oberhalb Elm mit knapp über 400 cm; in 30 Tagen waren es rund 800 cm (SLF, 1999)! Nachdem es zu Beginn der dritten Schneefallperiode noch kalt war, trat eine markante Erwärmung von rund 15 °C ein, so dass es bis in Höhenlagen von 2000 m ü.M. regnete. Zusammen mit der Schneeschmelze führte dies im Mittelland zu ersten Hochwassern und Überschwemmungen. Noch einmal meldete sich der Winter zurück. Die Schneefälle vom 4.-8.3.99 besicherten zwar dem Mittelland wiederum eine dünne Schneedecke, doch das Zentrum der Niederschläge lag für einmal über dem unteren Wallis und der Alpensüdseite. Letzte bedeutende Schneefälle wurden Mitte April registriert, als die Schneeschmelze bereits eingesetzt hatte.

2.2 Maximale Schneehöhen und Wasseräquivalente

Das Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) misst an insgesamt 54 sogenannten Vergleichsstationen täglich am Morgen verschiedenen Klima- und Schneedeckenparameter. Alle 14 Tage wird bei der Schneeprofilaufnahme auch der Wasserwert (Wasseräquivalent) der Gesamtschneedecke erhoben. Diese für die Hydrologie wichtige Kenngrösse beschreibt die in der Schneedecke zu einem bestimmten Zeitpunkt gespeicherte Wassermenge. Mit 63 Jahren weist die Station Weissfluhjoch die längste Messreihe auf; 15 Stationen verfügen über 40 oder mehr Beobachtungsjahre, weitere 22 über 25-39 Jahre.

Die Analysen des SLF zeigen, dass der Winter 1998/99 im Vergleich zu früheren Jahren bezüglich der maximalen Schneehöhen mit Ausnahme der südlicheren Gebiete

unter den fünf Wintern mit den maximalen Werten der letzten 50 Jahre liegt. Im zentralen und östlichen Berner Oberland wurden an den Stationen Grindelwald-Bort (seit 1948), Wengen (seit 1947, ohne 1968) und Gadmern (seit 1954) die höchsten Werte registriert. Vergleichbare Werte stammen aus dem Jahr 1968. Weitere Rekordwerte wurden an einzelnen Stationen in den Zentralschweizer Voralpen, am östlichen Alpennordhang sowie in Nordbünden, aber auch im Unterengadin gemessen. In den übrigen Regionen wurde die Schneehöhe von 1999 vor allem von den Wintern 1951, 1968, 1970 und 1975 übertroffen. Die maximalen Schneehöhen sind als 10-30-jährliches Ereignis zu betrachten (BWG, 2000).

In Bezug auf die Wasseräquivalente war 1998/99 eine ähnliche regionale Verteilung der Maximalwerte zu beobachten wie bei den Gesamtschneehöhen. Allerdings sind die Wiederkehrperioden des maximalen Wasserwertes etwas tiefer: 10-20 Jahre am zentralen Alpennordhang, im Gotthardgebiet und in Nordbünden, 5-10 Jahre im Wallis, 5 Jahre und weniger im übrigen Bündnerland und auf der Alpensüdseite. Der maximale Wasserwert wurde in den tieferen Lagen (unter 1500 m ü. M.) Ende Februar bis Mitte März, in mittleren Lagen Mitte März bis Mitte April und in den höheren Lagen (über 1800 m ü. M.) meist erst Mitte April oder später erreicht. Vergleicht man die Wasserwerte mit denjenigen früherer Jahre, zeigt es sich, dass die Schneereserven im Frühjahr 1999 zwar allgemein hoch, aber nur an 7 von 54 Stationen des Messnetzes maximal waren (BWG, 2000). Darunter figurieren unter anderen auch Stationen des Berner Oberlandes (Gantrisch, Gsteig) und der Zentralschweiz (Göscheneralp). Dichtere Messnetze in den Schwyzer (Wägital) und den Glarner Alpen (Limmerngebiet) bestätigen das Bild der grossen Schneewasserreserven. So betrug der Wasserwert am 1. Mai im Limmerngebiet auf 1420 m ü.M. (Standort Durnachtal) 1200 mm, auf 1960 m ü.M. (Gemsfäiren) rund 1300 mm, auf 2760 m ü.M. (Rot Nossen) 2100 mm (Messnetz Meteodat, zitiert in BWG, 2000). Insgesamt zählt der Winter 1998/99 im Berner Oberland, in den Schwyzer- und Glarneralpen sowie in Nordbünden zu den Wintern mit den höchsten gemessenen Wasseräquivalenten der letzten 50 Jahre.

2.3 Der Witterungsverlauf von März bis Mai

Nach den letzten grösseren Schneefällen des Hochwinters anfangs März setzte eine Warmluftzufuhr ein, welche die Nullgradgrenze deutlich ansteigen und die Schneedecke bis 700 m ü.M. vollständig abschmelzen liess. Trotz wechselhafter Witterung in der zweiten Monatshälfte traten kaum mehr erwähnenswerte Niederschläge auf. Unterhalb von 1000 m ü.M. fielen sie als Regen. Die Monatssummen des Niederschlags blieben auf der Alpennordseite unterdurchschnittlich. Insgesamt war der Monat März in der ganzen Schweiz überdurchschnittlich warm. Die Schneedecke schmolz am Alpennordhang bis Monatsende bis auf Höhen um 1000 m ü.M. ab. In den Alpentälern folgte die Temperatur der Warmluftzufuhr aber nur beschränkt.

Im April war der Alpenraum von zahlreichen Frontdurchgängen betroffen. Dadurch überstieg die Monatssumme der Niederschläge auf der Alpennordseite das langjährige Mittel verbreitet um mehr als 50%, zwischen Bieler- und Vierwaldstättersee sogar um mehr als 100%. Aber nicht nur die Mengen, auch die Anzahl der Niederschlagstage war überdurchschnittlich: bis zu 20 Tage wurden registriert (Mittel: 10-15 Tage). Die Temperatur lag von wenigen Ausnahmen abgesehen über dem Durchschnitt. Die Nullgradgrenze lag meist zwischen 1800 und 2000 m ü.M. .

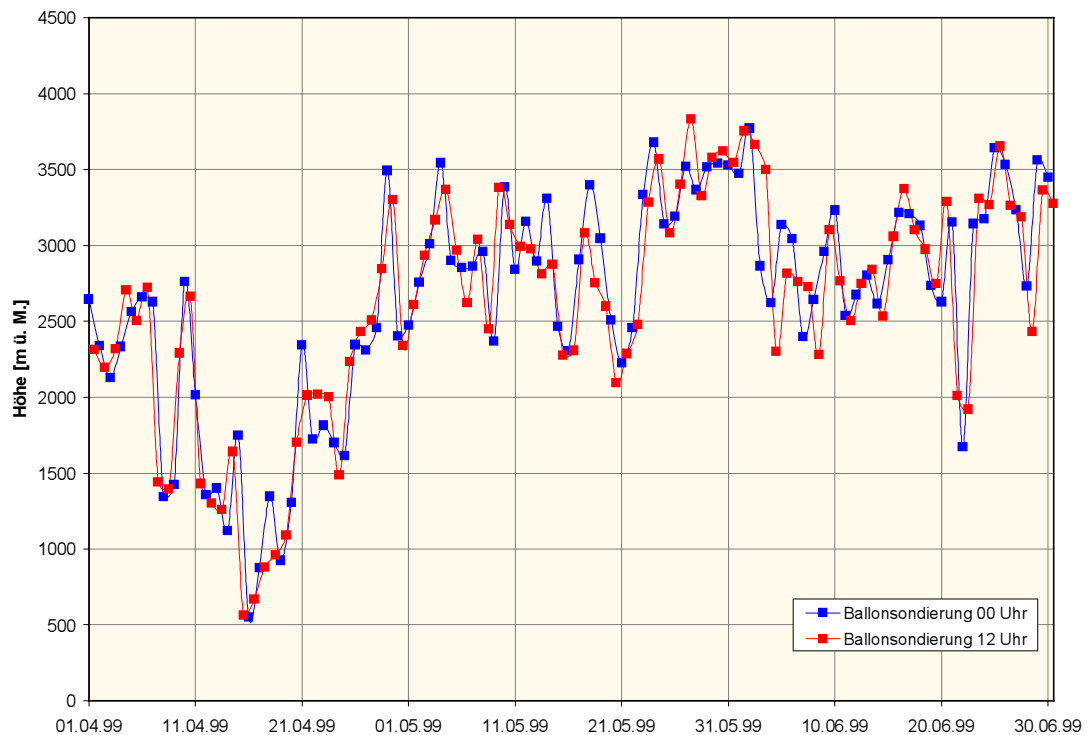


Abb. 1 Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre (Daten MeteoSchweiz, Ballonsondierungen Station Payerne).

Trotz beginnender Vegetation war wegen den ständigen Niederschlagsbedingungen die Evapotranspiration gering und der Bodenwassergehalt hoch. Die Schneedecke wurde bis zur Schneefallgrenze (rund 1500 m ü.M.) stark aufgefeuchtet. Nach dem 24.4. stiegen die Temperaturen stark an (vgl. Abb. 1) und führten bis in grosse Höhen zur Temperierung der Schneedecke (Grebner, 2000).

3. Übersicht über das Hochwassergeschehen

Die Darstellung des Witterungsverlaufs, der Niederschlagsmengen und der statistischen Einordnung erfolgt in enger Anlehnung an die Witterungsberichte der SMA (1999), Ausführungen von Grebner et al. (1999, 2000) und an Referate, welche an einer Veranstaltung zur Analyse der Hochwasser 1999 gehalten wurden (Proclim, 2000).

3.1 Witterungsverlauf

Der Beginn des Monats Mai war viel zu warm. In den ersten 7 Tagen lag die Temperatur auf der Alpennordseite 2-8 Grad über dem Mittel dieser Jahreszeit. Am 8.5. steuerte ein kräftiges Tief westlich der Britischen Inseln aus Südwest ein erstes Störungssystem gegen die Alpen, welches verbreitet namhafte Regenfälle verursachte. Am 9. und 10.5. entspannte sich die Lage etwas. Das Tief zog langsam gegen Ostdeutschland. Auf seiner Südseite legte sich seine Kaltfront entlang dem Alpennordrand. Entsprechend erstreckte sich ihre Regenzone West-Ost und brachte über die gesamte Dauer vom 11.-14.5.99 betrachtet, teilweise extreme Niederschlagsmengen (vgl. Abb. 2). An den Einzeltagen traten hingegen nur lokal grosse Mengen auf.

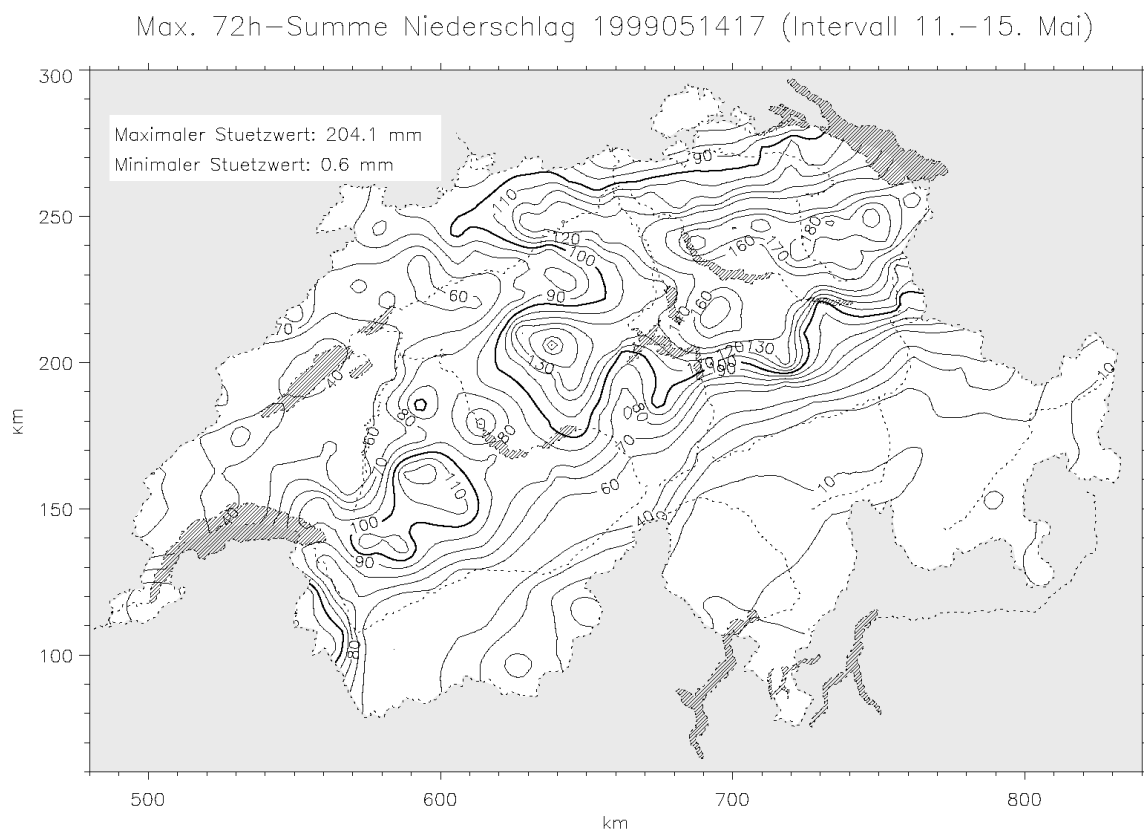


Abb. 2 Räumliche Verteilung des maximalen 72h-Summen-Niederschlags vom 11.-15. Mai 1999 (aus BWG, 2000).

Der niederschlagsreichste Bereich lag zwischen Suhr und St. Gallen. Die maximalen täglichen (kalendarischen) Niederschlagsmengen registrierte die MeteoSchweiz an ihren Stationen Uitikon/ZH und Teufen/AR am 12.5. mit 100 mm. In Buchs-Suhr fielen

in 18 Stunden 103 mm Regen, mehr als sonst im ganzen Monat (92 mm). Ein sekundäres Niederschlagsmaximum trat im Raum Adelboden auf, die Mengen waren jedoch deutlich geringer als in der Hauptzone. Beinahe die Hälfte der gesamten Alpen-nordseite erhielt vom 11.-14.5. mehr als 100 mm Regen. Eine Wetterberuhigung trat erst am 15.5. mit der Verschiebung und Veränderung der gesamten Druckanordnung ein. Die Bedeutung des Niederschlagsereignisses vom 11.-14. Mai 1999 liegt in der Menge über die gesamte Dauer.

Nach der Wetterberuhigung nach dem 15.5. beeinflusste ein neues Tief, welches sich von der Bretagne zu den Ostalpen verlagerte, vom 20.-22.5. den zentralen und östlichen Alpen- und Ostalpen-Teil. Warme Mittelmeerluft wurde über Tschechien und Mitteleuropa um das Tief herumgeführt. Sie glitt dabei an einer Nordwestströmung und an der Alpennordseite auf. Diese Hebung verursachte grosse Niederschlagsereignisse. Das Niederschlagszentrum in der Schweiz trat zwischen dem Urnersee und dem Walensee sowie im Prättigau auf (vgl. Abb. 3). An einzelnen Stationen überstiegen die Tagessummen 160 mm. Die maximale tägliche Niederschlagsmenge wurde mit 201.5 mm an der MeteoSchweiz-Station in Wildhaus gemessen. Die Mengen sind um mehr als 30% grösser als die Tagesmengen des vorangegangenen Ereignisses, bei nicht-kalendarischer Betrachtung sogar um 60%.

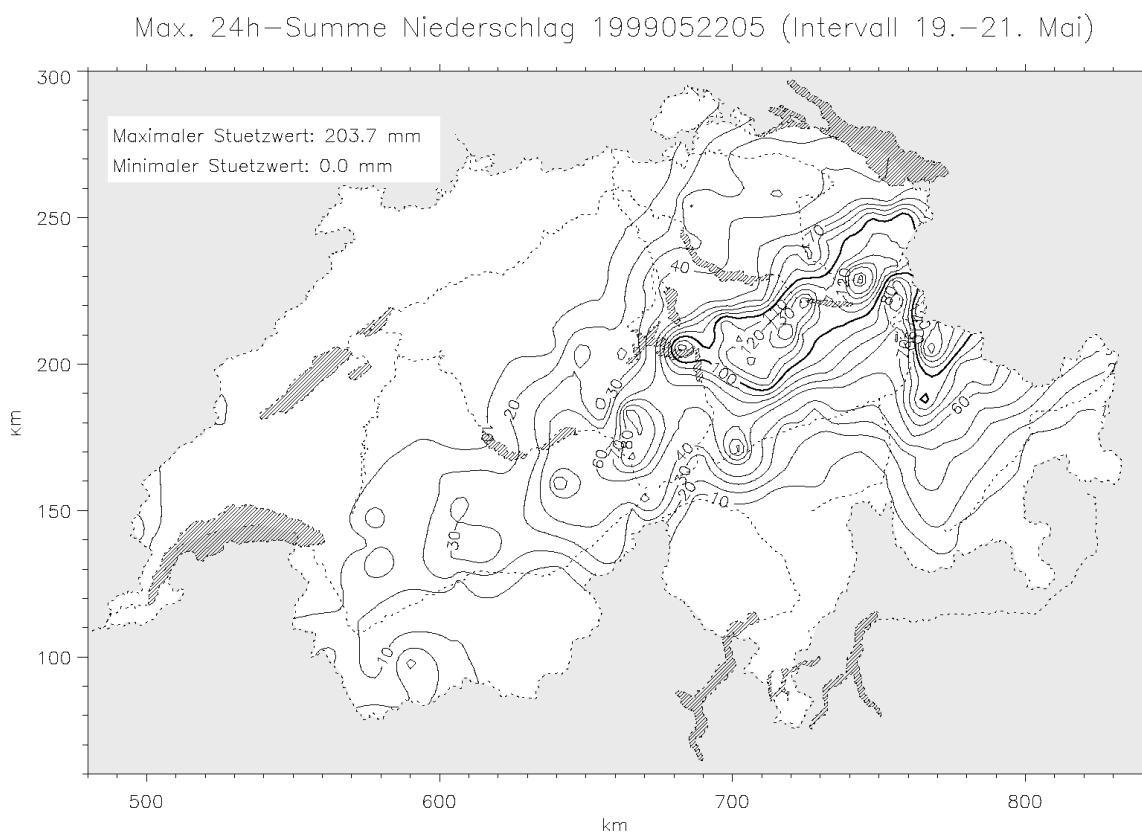


Abb. 3 Räumliche Verteilung des maximalen 24h-Summenniederschlags vom 19.-21. Mai 1999 (aus BWG, 2000).

Am 23.5. beruhigte sich die Wetterlage unter dem Einfluss eines Azorenhochkeils rasch, blieb aber bis Monatsende wegen der Zufuhr von warmer schwüler Luftmassen aus Südwesten gewitterhaft. Am 29.5. wurden an verschiedenen Orten auf der Alpen-nordseite Höchsttemperaturen von und über 30 Grad registriert, was für den Monat Mai sehr selten ist.

Die Temperaturen im Mai lagen auf der Alpennordseite um mehr als 3 Grad über dem Mittelwert. Selbst während des Minimums am 20./21.5. blieb die Nullgradgrenze noch über 2000 m ü.M. (vgl. Abb. 1), so dass der Niederschlag entsprechend hochreichend als Regen fiel. Gleichzeitig setzte sich die Schneeschmelze fort. Mit der starken Erwärmung Ende Monat verstärkte sie sich noch. Die Nullgradgrenze hob sich dabei auf 3000-3800 m ü.M. und lag damit bis 1000 m über dem langjährigen Mittel.

Die Wetterlagen sowohl des Ereignisses von Auffahrt als auch von Pfingsten sind als Ursachen von extremen Niederschlägen nicht unbekannt; beide sind als Mustertypen im Hydrologischen Atlas der Schweiz in Tafel 2.5 dargestellt (Grebner et al., 1999).

3.2 Niederschlagsmengen und statistische Einordnung

Der Monat Mai war auf der Alpennordseite nass bis extrem nass. In den von den Starkniederschlägen betroffenen Gebieten wurde mehr als 250% der normalen Mai-Regenmenge registriert. Die grösste Monatssumme (542 mm) wurde auf der Schwägalp gemessen (SMA, 1999).

Nach Angaben der MeteoSchweiz (1999) sind die extremsten Starkregenereignisse des Jahrhunderts in der Nordostschweiz mehrheitlich im Mai aufgetreten. Die 48-h-Summen von 1999 sind punktuell die höchsten im Monat Mai. Einzig das Ereignis vom 19./20. Mai 1906, als in Horgen 357 mm Niederschlag gemessen wurde, gilt als noch grösser. Allerdings schneite es damals bis auf 1200 m ü.M., während es 1999 bis auf 2700 m hinauf regnete.

Für die statistische Einordnung der Niederschläge muss unterschieden werden zwischen der Betrachtung der punktuell gemessenen Niederschlagsmengen sowie des Gebietsniederschlags für meteorologische Niederschlagsfelder (systemfeste Betrachtung). Hydrologisch noch interessanter als das Letztere wäre allerdings die ortsfeste Betrachtung, bei welcher von Einzugsgebieten ausgegangen wird. Solche Datenreihen stehen aber kaum zur Verfügung.

Jährlichkeit von Punktniederschlägen

Wie weiter oben ausgeführt, ist beim Ereignis vom 11.-15.5. nicht der 1-Tagesniederschlag, sondern sind die längeren Dauern bis 5 Tage von Bedeutung. Abgesehen von relativ kleinräumigen Maximalzonen ergibt sich eine Jährlichkeit von 10-20 Jahren für den 2-Tagesniederschlag. Betrachtet man die 5-Tageswerte, so ist nochmals ein markanter Anstieg gegenüber den Resultaten der 2-Tageswerte auszumachen. Allerdings ist diese Betrachtungsdauer für das Hauptniederschlagsgebiet hydrologisch weniger relevant, hat doch beispielsweise die Thur ihr Abflussmaximum innerhalb der ersten rund 24 Stunden erreicht. Beim Ereignis vom 21.5. ist der 1-Tagesniederschlag von Bedeutung. In den betroffenen Gebieten resultiert eine Wiederkehrperiode von etwa 20-40 Jahre (BWG, 2000).

Jährlichkeit von Niederschlagsfeldern

Gebietsniederschläge in ihrer meteorologisch bedingten Ausbreitung geben Auskunft über die Stärke des Niederschlagssystems. Sie sind aber auch hydrologisch von Belang, insbesondere da die beiden im Mai aufgetretenen Niederschlagstypen auf der Alpennordseite an beliebigen Orten auftreten können. Die Bedeutung des Ereignisses vom 11.-15.5. nimmt von kürzeren zu längeren Betrachtungsintervallen zu: die maximale 12-h-Niederschlagsmenge für Flächen bis 5000 km² weist eine Wiederkehrperiode von weniger als 5 Jahren auf, diejenige für 24-h-Mengen 5-10 Jahre. Erst die 72-h-Niederschlagsmengen weisen mit 25 Jahren auf extreme Verhältnisse hin. Für

Flächen unter 1000 km² ist die Bedeutung des Ereignisses deutlich geringer. Das zweite Ereignis vom 19.-22.5. ist im Gegensatz zum ersten für Flächen über 1000 km² bedeutend seltener, nimmt aber von den kürzeren zu den längeren Betrachtungsintervallen ab: die Wiederkehrdauer liegt für die maximalen 12-h-Mengen zwischen 50 und 150 Jahren, beträgt für die 24-h-Mengen bis 25 Jahre und die 72-h-Niederschlagsmengen kaum mehr 5 Jahre. Für die Flächen unter 1000 km² sind die Wiederkehrperioden etwas geringer (Grebner, 2000).

Einordnung von Gebietsniederschlägen hydrologischer Einzugsgebiete

Grebner (2000) hat beispielhaft die Gebietsniederschläge der Thur und des Einzugsgebiets des Thunersees anhand von räumlich hochauflösenden Niederschlagsanalysen der Periode ab 1961 vorgenommen. Gebietsniederschläge der Thur von 75 mm an einem Tag (am 12.5.99) kamen in der Referenzperiode 6 Mal vor; die Summe von 145 mm über 3 Tage (11.-13.5.) und über 12 Tage (270 mm, 11.-22.5.) sind aber einmalig. Im Einzugsgebiet des Thunersees gab es im Gegensatz dazu für Betrachtungsintervalle von 1-5 Tagen mehrere Dutzend Ereignisse vergleichbarer Grössenordnung. Erst über die gesamte Periode von 12 Tagen ist das Ereignis ausserordentlich (205 mm). Die vergleichbaren 4 Fälle seit 1961 fanden alle im Winter statt und hatten einen hohen Schneeanteil zu verzeichnen.

Gesamthaft betrachtet sind die Starkniederschläge der beiden Ereignisse im Mai aus statistischer Sicht als ausserordentlich, jedoch nicht als extrem einzustufen. Insbesondere ist ausserhalb der von der Schneeschmelze betroffenen Gebiete die rasche und starke hydrologische Reaktion auf die ersten Niederschläge am 11.5. keinesfalls entsprechend den gefallen Mengen. Das rasche Ansprechen zwingt dazu, die Ursachen in der längeren Vorperiode zu suchen. Erst bei Betrachtung langer Zeitperioden gilt das Prädikat „aussergewöhnlich“ für den Niederschlag. Dazu gehören die lange Dauer des ersten Ereignisses mit den hohen Niederschlagsvolumen und das bereits nach wenigen Tagen folgende zweite Ereignis (Grebner, 2000).

3.3 Hochwasserablauf

Datenerfassung

Die Landeshydrologie und -geologie (LHG) betreibt an den grösseren Seen und Flüssen ein Netz von über 250 Messstellen, bei denen der Wasserstand kontinuierlich aufgezeichnet wird. Dank intensiven Anstrengungen während der letzten Jahre werden bei mehr als der Hälfte davon die Daten digital aufgezeichnet und täglich – im Bedarfsfall häufiger - in die Abfragezentrale der LHG übermittelt, wo im Falle der Fliessgewässer die Wasserstandsdaten automatisiert in Abflusswerte umgerechnet werden (Luder, 1996). Dies hat es im Frühjahr erstmals erlaubt, eine Hochwassersituation grösseren Ausmasses praktisch on-line mitzuverfolgen und dem Informationsbedürfnis der Behörden, der Krisenstäbe, der Einsatzleitungen vor Ort, der Prognosedienste, der Medien sowie der Öffentlichkeit gerecht zu werden. Bis auf wenige Ausnahmen haben die Messstationen auch bei den extremen Hochwasserständen funktioniert und Daten übermittelt. Dies nicht zuletzt dank des Einsatzes der LHG-Techniker im Feld, die im Rahmen ihres Pikettdienstes auch an den Feiertagen und Wochenenden die Messstationen betreuten. Aus verschiedenen Gründen müssen rasch vermittelte Werte grundsätzlich als „provisorisch“ deklariert werden. Die Grundlagen der untenstehenden Ausführungen repräsentieren den Kenntnisstand vom Mai 2000. Es ist nicht ganz

auszuschliessen, dass einzelne Werte im Verlaufe des Bearbeitungsprozesses bis Mitte Jahr noch geringfügig ändern (vgl. Kap. 5.1).

Allgemeiner Überblick

Aufgrund der oben geschilderten Niederschläge am 11. und 12. Mai (Auffahrtstage) trafen gegen Abend des 12. Mai beim Zusammenfluss von Aare, Reuss, Limmat und Rhein im Raum Brugg – Koblenz fast gleichzeitig die Hochwasserwellen der einzelnen Flussgebiete zusammen. Dies führte dort sowie rheinabwärts zu einem ausserordentlichen Hochwasser. Die anhaltend hohen Schneeschmelzbeiträge in der ersten Maihälfte und vor allem die starken Regenfälle, die im Berner Oberland bis am 15. Mai andauerten, liessen den Brienzer- und noch mehr den Thunersee weit über ihre bisherigen Höchststände anschwellen. Als Folge davon führte die Aare unterhalb von Thun bis zum Bielersee in ausserordentlichem Masse Hochwasser. Waren schon in der ersten Maihälfte die übrigen Alpenrandseen (Vierwaldstättersee, Zugersee, Walensee, Zürichsee und Bodensee) stark angestiegen, so führten die erneuten Regenfälle um Pfingsten (20.-22.5.) zu einem nochmaligen Anstieg. Im Bodensee führte dies zu einem neuen Höchststand in diesem Jahrhundert. Aussergewöhnlich war auch, wie lange das Wasser über der Schadensgrenze verharrte. Als Folge der hohen Seestände war der Rhein bei Basel für die Schifffahrt lange Zeit gesperrt. Eine bedrohliche Situation stellte sich am Linthkanal ein, der wegen des Höchststandes des Walensees ebenfalls ein ausserordentliches Hochwasser verzeichnete und dessen Dämme nur knapp nicht überflutet wurden. Eine ausführliche Darstellung der Schadenereignisse findet sich in BWG (2000).

Situation an den Fliessgewässern

Die Abb. 4 zeigt die geographische Verbreitung der Hochwasser 1999 von Februar – Juni. Auffallend ist die Konzentration auf ein Gebiet östlich der Simme / Aare und nördlich der Alpen. In der Südschweiz und im Inneren der Alpen traten keine Hochwasser auf. Die Hochwasser im Jura (Doubs, Kt. VD und GE) datieren mehrheitlich vom 22. Februar, diejenigen der anderen Regionen gehen auf die beiden Mai-Ereignisse zurück. An 32 Stationen aus dem Messnetz der LHG, rund 2/3 davon seit über 50 Jahren in Betrieb, wurden die höchsten Abflüsse der jeweiligen Messperiode beobachtet, an 13 weiteren die zweit- und drittgrössten. Mit der Aare, der Reuss, der Limmat, der Glatt, der Thur, der Töss und dem Rhein waren im Hauptniederschlagsgebiet alle grossen Flüsse betroffen. Eine besondere Situation ergab sich beim Walensee, wo weder die Linth aus dem Glarnerland noch die Seez im Oberlauf speziell viel Hochwasser führten und trotzdem am Linthkanal eine bedrohliche Situation entstand. Neben der Schneeschmelze, welche den See kontinuierlich ansteigen liess, muss der Niederschlag im bzw. der Abfluss aus dem Zwischeneinzugsgebiet eine bedeutende Rolle gespielt haben. Die Station Thur-Stein in der gleichen Region verzeichnete das höchste gemessenen Hochwasser, was diese Annahme unterstützt.

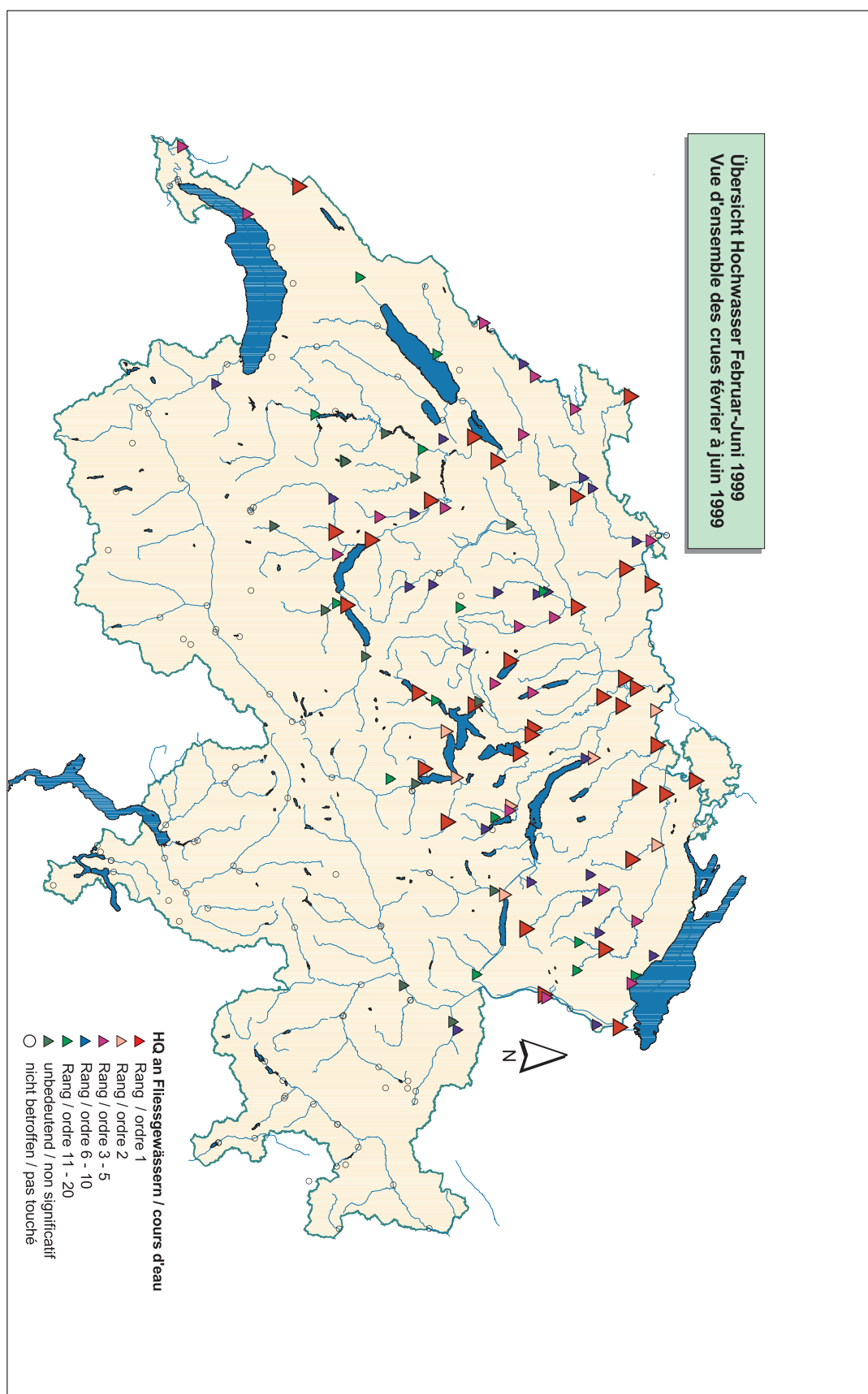


Abb. 4 Übersicht über die Hochwasser an Fließgewässern.

Die Tab. 1 enthält eine Zusammenstellung jener Stationen, bei denen das Hochwasser von 1999 eine herausragende Stellung (Rang 1-3 in der Datenreihe der jährlichen Abflussspitzenwerte) einnimmt. Bei den Stationen, welche die höchsten Werte seit Beobachtungsbeginn aufzeichneten, übertrafen die neuen Abflussspitzenwerte in rund der Hälfte aller Fälle die alten um mehr als 10 %. Ein extremes Beispiel dafür sind die Höchstabflüsse der Aare, welche an den Stationen Thun von 400 auf 570 m³/s (+40 %) und Bern von 450 auf 620 m³/s (+35 %) anstiegen. Ähnlich hohe Veränderungen registrierten einzig noch die Stationen Thur-Stein (von 115 auf 155 m³/s), Murg-Wängi (von 43 auf 60 m³/s), Glatt-Rheinsfelden (von 120 auf 155 m³/s) und Scheulte-Vicques (von 48 auf 65 m³/s). Der Abfluss der Limmat-Baden (660 m³/s) wird als höchster geführt, allerdings weist eine alte Messreihe von 1904-21 mit 735 m³/s einen noch höheren Wert auf. Etwas Ähnliches gilt auch für die Station Sitter-St. Gallen. Die 1999 gemessenen 480 m³/s sind die höchsten der noch relativ kurzen Messreihe ab 1981. Die etwas weiter unten liegende Station Bernhardzell (1924-80) hat diesen Wert zwei Mal übertroffen: 1978 (525 m³/s) und 1977 (495 m³/s).

Auf der neuen Datengrundlage wurde für alle betroffenen Stationen die Hochwasserstatistik mit den in der LHG üblichen Verfahren (DVWK, 1976) nachgeführt (vgl. Kap. 7). In Tab. 1 ist die Jährlichkeit der Ereignisse von 1999 für die am stärksten betroffenen in klassierter Form dargestellt. Im Anhang 1 findet sich eine analoge Tabelle, in welcher die Stationen dargestellt sind, bei denen das Hochwassereignis den Rang 1-10 einnimmt. Die Aussagekraft der statistischen Werte hängt stark von der Länge der zur Verfügung stehenden Messreihe ab. Aus diesem Grunde sind die Werte aus kurzen Datenreihen (weniger als 30 Jahre) in Klammer gesetzt. Lässt man diese ausser acht, fällt auf, dass die meisten Ereignisse eine Jährlichkeit von mehr als 50 Jahren aufweisen, mehrheitlich im Bereich von 100-1000 Jahren, wobei auch hier die Abflüsse der Aare bei Thun und Bern herausragen. Insgesamt kann aufgrund der extremwertstatistischen Auswertung besonders an den grossen Flüssen von einem sehr seltenen Ereignis gesprochen werden.

Tab. 1 Hochwasserabflussspitzen 1999 im Vergleich mit den bisherigen Höchstwerten sowie Jährlichkeit des Ereignisses: Stationen aus dem Beobachtungsnetz der LHG bei denen das Mai-HQ von 1999 den Rang 1-3 einnimmt (alphabetische Reihenfolge). Bei den Stationen mit fett gedruckten Namen übertreffen die neuen Höchstwerte die alten um mehr als 10%.

Fließgewässer- Station	Ereignis 1999									bisherige Höchstwerte		
	Q m³/s	Rang	Jährlichkeit T					Länge Reihe	Datum	Q m³/s	Jahr	beob. seit
			-10	-50	-100	-200	> 200					
Aare - Bern, Schönaue	620	1					x	82	16.5.99	450	1995	1918
Aare - Brugg	1250	1		x				84	12.5.99	1170	1994	1916
Aare - Brügg (Ägerten)	770	1					x	95	20.5.99	700	1944	1905
Aare - Hagneck	940	1		(x)				16	14.5.99	933	1994	1984
Aare - Ringgenberg, Goldswil	270	1				x		74	15.5.99	244	1987	1926
Aare - Thun	570	1					x	94	15.5.99	400	1970	1906
Aare - Untersiggenthal, Stilli	2620	1					x	96	12.5.99	2320	1994	1904
Allaine - Boncourt, Frontière	64	1		(x)				16	13.5.99	56	1994	1984
Alp - Einsiedeln	94	3	(x)					8	12.5.99	98	1993	1992
Biber - Biberbrugg	31	2	(x)					10	13.5.99	32	1991	1990
Dünnern - Olten	135	1		(x)				22	12.5.99	115	1978	1978
Engelberger Aa - Buochs	120	2		x				84	22.5.99	125	1960	1916
Ergolz - Liestal	155	1			x			86	12.5.99	155	1994	1914
Glatt - Rheinsfelden	155	1			(x)			24	12.5.99	120	1994	1976
Grosstalbach - Isenthal	48	1		x				43	22.5.99	46	1977	1957
L. Binnenkanal - Ruggell	41	3		(x)				25	22.5.99	47	1987	1975
Limmat - Baden	660	1				x		49	22.5.99	590	1953	1951
Limmat - Zürich, Unterhard	590	2					x	94	22.5.99	657	1910	1906
Linth - Weesen, Biätsche	320	2				x		93	23.5.99	338	1910	1907
Lorze - Frauenthal	35	1					x	86	21.5.99	32	1993	1914
Lorze - Zug, Letzi	61	1		(x)				17	13.5.99	57	1984	1983
Luthern - Nebikon	34	3	(x)					12	13.5.99	45	1995	1988
Muota - Ingenbohl	290	2			x			83	22.5.99	315	1977	1917
Murg - Frauenfeld	140	2		x				40	12.5.99	152	1968	1960
Murg - Wängi	60	1					x	46	12.5.99	43	1968	1954
Reuss - Luzern	430	1				x		78	23.5.99	390	1953	1922
Reuss - Mellingen	760	1			x			90	14.5.99	740	1994	1910
Reuss - Mühlau, Hünenberg	710	1				x		94	14.5.99	640	1953	1906
Rhein - Basel	5090	3			x			131	12.5.99	5700	1876	1869
Rhein - Neuhausen	1190	1					x	91	11.6.99	1072	1926	1909
Rhein - Rekingen	2030	2					x	96	22.5.99	2250	1910	1904
Rhein - Rheinfelden	4550	1					x	67	12.5.99	4270	1994	1933
R. Binnenkanal - St.Margrethen	140	1				x		81	22.5.99	130	1991	1919
Sarner Aa - Sarnen	59	1				x		77	14.5.99	52,5	1944	1923
Scheulte - Vicques	65	1		(x)				8	12.5.99	54	1996	1992
Schl. Brünnen - Muotathal	14,9	1		(x)				11	22.5.99	13,7	1991	1989
Simme - Latterbach	210	1		(x)				14	12.5.99	205	1990	1986
Sitter - St.Gallen, Bruggen/Au	480	1		(x)				19	22.5.99	430	1984	1981
Suhre - Oberkirch	4,3	1		(x)				24	18.5.99	4,1	1977	1976
Thur - Andelfingen	1130	1				x		96	13.5.99	1100	1910	1904
Thur - Halden	920	3		x				35	12.5.99	1170	1978	1965
Thur - Stein, Ittishag	150	1			x			36	22.5.99	115	1990	1964
Töss - Neftenbach	290	1				x		79	12.5.99	270	1953	1921
Werdb. Binnenkanal - Salez	120	1				x		69	22.5.99	115	1990	1931
Wigger - Zofingen	105	3	(x)					20	13.5.99	125	1995	1980

Situation an den Seen

Die durch die vorangegangene Schneeschmelze bereits stark gefüllten Alpenrandseen vermochten die intensiven Niederschläge an Auffahrt und Pfingsten nicht mehr abzuführen, überschritten die Schadensgrenze und überschwemmten die Ufer. Trotz des Höchsthochwassers der Aare blieben die ein hydraulisches System bildenden Jurarandseen (Murten-, Neuenburger- und Bielersee) hingegen zum Teil noch deutlich unter der Schadensgrenze. Die Tab. 2 zeigt die maximalen Seepegelstände von 1999 im Vergleich mit den Schadensgrenzen und den bisherigen Höchstwerten. Dabei fällt auf, dass mit Ausnahme des Walensees die Schadensgrenzen um mehr als einen halben Meter überschritten wurden: am extremsten beim Thunersee und beim Bodensee-Untersee mit je 87 cm. Für 6 Seen bedeutete das Hochwasser 1999 einen neuen gemessenen Höchststand. Dieser liegt beim Thunersee 49 cm über dem bisherigen Höchstwert, beim Lauerzersee sogar 66 cm, allerdings steht die Messstation in Lauerz erst seit 1986 in Betrieb. Neben dem massiven Überschreiten der Schadensgrenzen war die Dauer des Ereignisses das herausragende Charakteristikum. Am Bodensee lag der Pegel volle 53 (Untersee) bzw. 48 Tage (Obersee) über der Schadensgrenze. Auch der Vierwaldstättersee (30 Tage), der Zürichsee (19), der Thunersee (16) und der Brienersee (9) waren lange Zeit betroffen.

Tab. 2 Maximale Pegelstände an Seen 1999 im Vergleich mit der Schadensgrenze und den bisherigen Höchstwerten.

See	Wasser- stand max. P m.ü.M.	Datum	Schadens- grenze S m.ü.M.	über- schritten Anzahl Tage	Ereignis 1999 Rang	beo- bachtet seit Jahr	bisheriger Höchstwert	
							P[max] m.ü.M.	Jahr
Bodensee, Obersee	397,87	24.05.99	397,14	48	2**	1866	397,98	1890
Bodensee, Untersee	397,67	24.05.99	396,80	53	2**	1886	397,75	1890
Brienzersee	565,36	15.05.99	564,80	9	1	1868	565,35	1910
Thunersee	559,17	15.05.99	558,30	16	1	1904	558,68	1910
Bielersee	430,19	15.05.99	430,25	0	--	1890	431,26	1944
Lac Neuchâtel	430,06	23.05.99	430,35	0	--	1920	431,18	1944
Murtensee	430,06	22.05.99	430,85	0	--	1905	431,83	1944
Sarnersee	471,28	14.05.99	*		1	1902	471,06	1901
Vierwaldstättersee	434,93	23.05.99	434,45	30	2	1874	435,24	1910
Lauerzersee	449,15	15.05.99	*		1	1983	448,49	1986
Zugersee	414,49	23.05.99	*		1	1877	414,45	1975
Walensee	422,16	23.05.99	422,00	1	1	1911	422,11	1953
Zürichsee	407,01	23.05.99	406,60	19	2	1892	407,22	1910

* nicht bekannt

** sh. Bemerkungen im Fliesstext

4. Hochwassergeschehen in einzelnen Gebieten

4.1 Rheingebiet unterhalb Bodensee

Gegen Abend des 12. Mai trafen beim Zusammenfluss von Aare, Reuss, Limmat und Rhein im Raume Brugg – Koblenz fast gleichzeitig die Hochwasserwellen der einzelnen Flussgebiete zusammen (vgl. Abb. 5, oben). Mit Spitzenabflüssen von $1250 \text{ m}^3/\text{s}$ waren die Aare-Brugg und mit $1130 \text{ m}^3/\text{s}$ die Thur-Andelfingen die abflussreichsten Rheinzubringer. Durch die unterschiedlichen Laufzeiten bis Rheinfelden haben sich die beiden Hochwasserwellen, welche sich in Abb. 5 noch zeitlich verschoben präsentieren, hochwasserverstärkend exakt überlagert. Während der Abfluss der Thur schnell wieder abklang, verharrte die Aare als Folge der hohen Wasserstände im Thuner- und Bielersee über längere Zeit auf hohem Niveau. Der Rhein selbst führte zu diesem Zeitpunkt in Neuhausen nur rund $700 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser, gleichviel wie die Reuss-Mellingen auch beitrug, wobei diese mit $760 \text{ m}^3/\text{s}$ ihr Maximum als einziger Zubringer aber erst am 15.5. erreichte. Die Verlagerung des Niederschlagshauptgebietes am Vortag gegen den Alpennordrand hin mag dazu beigetragen haben. Die gleiche Grössenordnung wie die Reuss verzeichnete auch die Limmat-Baden (Abflussspitze $660 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Abflüsse der Glatt-Rheinsfelden und der Töss-Neftenbach fielen mengenmässig weniger ins Gewicht, bedeuteten für diese Flüsse gleichwohl die höchsten gemessenen Spitzenwerte. Das zeitgleiche Zusammentreffen dieser Hochwasserwellen führte an der Aare in Untersiggenthal ($2620 \text{ m}^3/\text{s}$) sowie rheinabwärts (Rheinfelden: $4550 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 1; Basel: $5090 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 3) zu einem ausserordentlichen Hochwasser (vgl. Abb. 5, unten). Die Station Rhein-Rekingen verzeichnete mit $2030 \text{ m}^3/\text{s}$ den zweitgrössten Wert, nicht wesentlich kleiner als der Höchstwert von 1910 ($2250 \text{ m}^3/\text{s}$). Gemäss mündlichen Angaben des BWG haben am 12./13. Mai die Kraftwerke Säckingen und Waldshut sowie die Schluchseewerke mit ihrem Pumpspeicherbetrieb insgesamt rund $180\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$ dem Rhein entzogen und zu einer Dämpfung der Hochwasserspitze beigetragen. Der Bodensee-Untersee (Berlingen) lag am 12.5.1999 noch mehr als einen Meter unter seiner Jahreshöchstmarke, welche er am 24.5.1999 erstmals und am 11.6.99 noch ein zweites Mal erreichte (397.87 m ü.M.).

Das Ereignis vom 19.-22. Mai (Pfingsttage) brachte insbesondere am 21.5.1999 im Niederschlagszentrum zwischen Urnersee und Walensee noch ein Mal sehr hohe Niederschlagsmengen (vgl. Kap. 3.1). Mit über $900 \text{ m}^3/\text{s}$ reagierte die Thur-Andelfingen beinahe so stark wie 10 Tage zuvor. Auch die Limmat erreichte wiederum einen ähnlichen Spitzenwert von über $600 \text{ m}^3/\text{s}$, wohingegen die Aare vom zweiten Ereignis kaum mehr betroffen war. Da unterdessen durch den hohen Wasserstand im Bodensee auch der Abfluss des Rheins bei Neuhausen auf rund $1150 \text{ m}^3/\text{s}$ angestiegen war, resultierte am Rhein mit gegen $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ bereits das dritte grosse Hochwasser in diesem Frühjahr. Zuvor hatte nämlich schon das Ereignis vom 22. Februar die $3500\text{-m}^3/\text{s}$ -Grenze nur knapp verpasst. Insgesamt musste der Rhein 36 Tage für die Rheinschifffahrt gesperrt werden, eine Situation die als sehr aussergewöhnlich gilt.

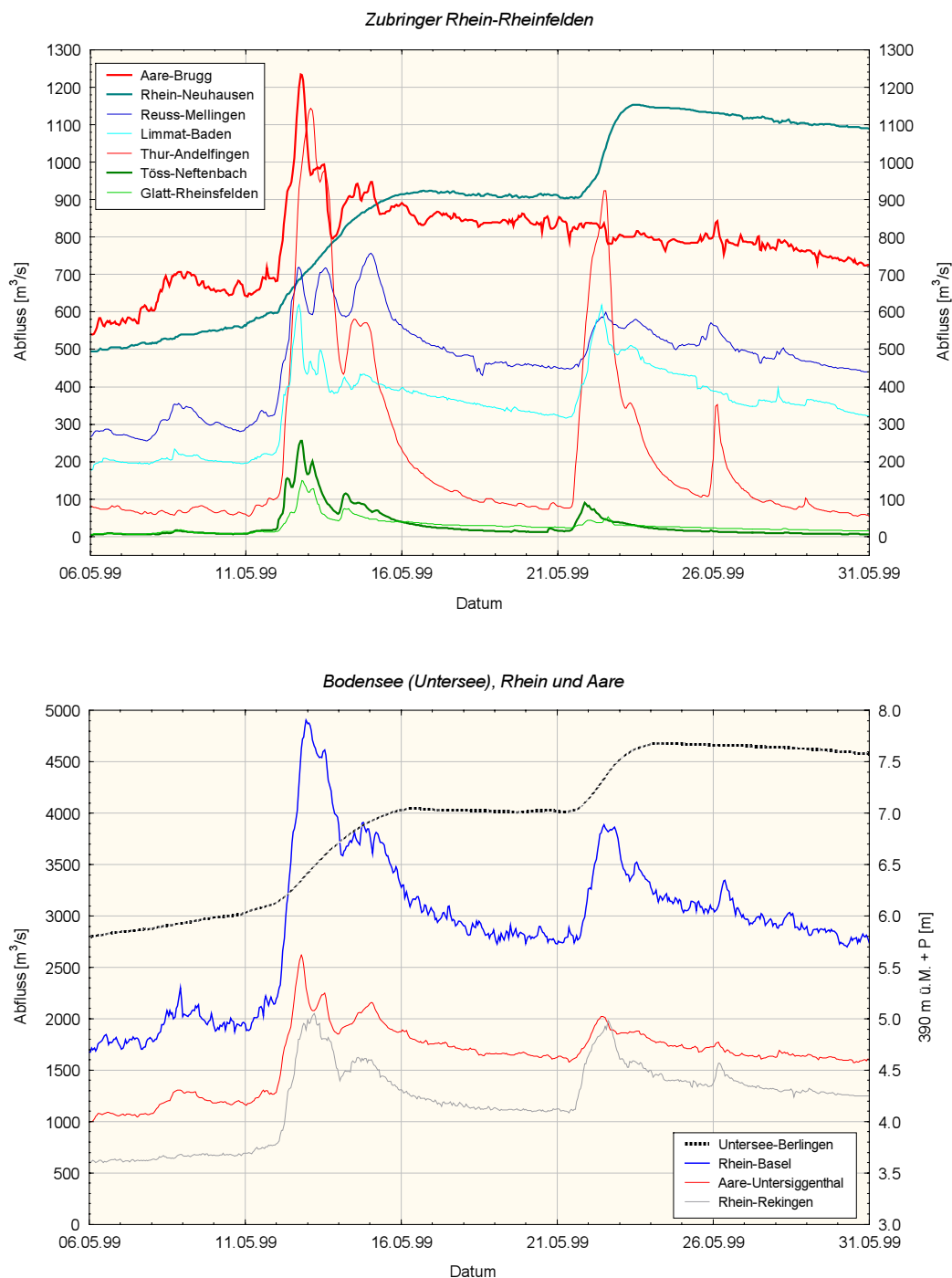


Abb. 5 Stundenmittelwerte des Abflusses ausgesuchter Messstationen im Rheingebiet und Pegelstand des Bodensees (Untersee). Letzte Korrekturen des Spitzenwertes des Rheins-Basel auf $5090 \text{ m}^3/\text{s}$ konnten in dieser Darstellung nicht mehr berücksichtigt werden.

Der Niederschlag erfasste auch die nordöstlichen Juraausläufer, so dass insbesondere die Ergolz-Liestal ihren Höchstwert aus dem Jahr 1994 egalisierte ($155 \text{ m}^3/\text{s}$, Messreihe 1914-99). Ebenso führte die Scheulte-Vicques als Zufluss zur Birs Hochwasser ($65 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 1, seit 1992), was sich aber weiter flussabwärts nicht entsprechend auswirkte (Birs-Münchenstein: $220 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 9, seit 1917).

4.2 Thurgau

Die Abb. 6 zeigt den Verlauf der beiden Hochwassereignisse im Thurgau. Es lässt sich feststellen, dass die Ereignisse von Auffahrt und Pfingsten im Allgemeinen für viele Gebiete in Bezug auf den Spitzenabfluss vergleichbar gewesen sind. Dies gilt insbesondere für die Stationen Jonschwil und Halden an der Thur, deren Spitzenabflüsse sich jeweils nur geringfügig unterscheiden. Die Ausnahme bilden einerseits die Thur-Stein und die Sitter-St. Gallen, für welche das Pfingstereignis bedeutender war sowie die Thur-Andelfingen und die Murg-Frauenfeld mit grösseren Spitzenabflüssen am 13.5.99. Dies entspricht der Niederschlagsverteilung, in dem der Schwerpunkt am 21./22.5. im Oberlauf lag und der Unterlauf deutlich weniger Regen erhielt. Obwohl an der Station Thur-Andelfingen für das ganze Einzugsgebiet ein neuer Höchstwert der Messperiode registriert wurde (1130 m³/s), trifft dies auf die einzelnen Teilgebiete nicht zu. Zwar verzeichnete die Station Stein auch einen neuen höchsten Spitzenabfluss, doch dies erst anlässlich des zweiten Ereignisses an Pfingsten. Dies gilt auch für die Sitter-St. Gallen, doch ist die Messreihe noch wenig aussagekräftig. Die 1999 gemessenen 480 m³/s sind zwar die höchsten der noch relativ kurzen Messreihe ab 1981, doch an der etwas weiter unten liegenden Station Bernhardzell (1924-80) wurde dieser Wert zwei Mal übertroffen: 525 m³/s (1978) und 495 m³/s (1977). Für einige Gebiete resultierten ausserordentliche, aber nicht maximale Spitzenabflüsse: Murg-Frauenfeld (140 m³/s, Rang 2), Thur-Halden (920 m³/s, Rang 3) und Thur-Jonschwil (510 m³/s, Rang 5).

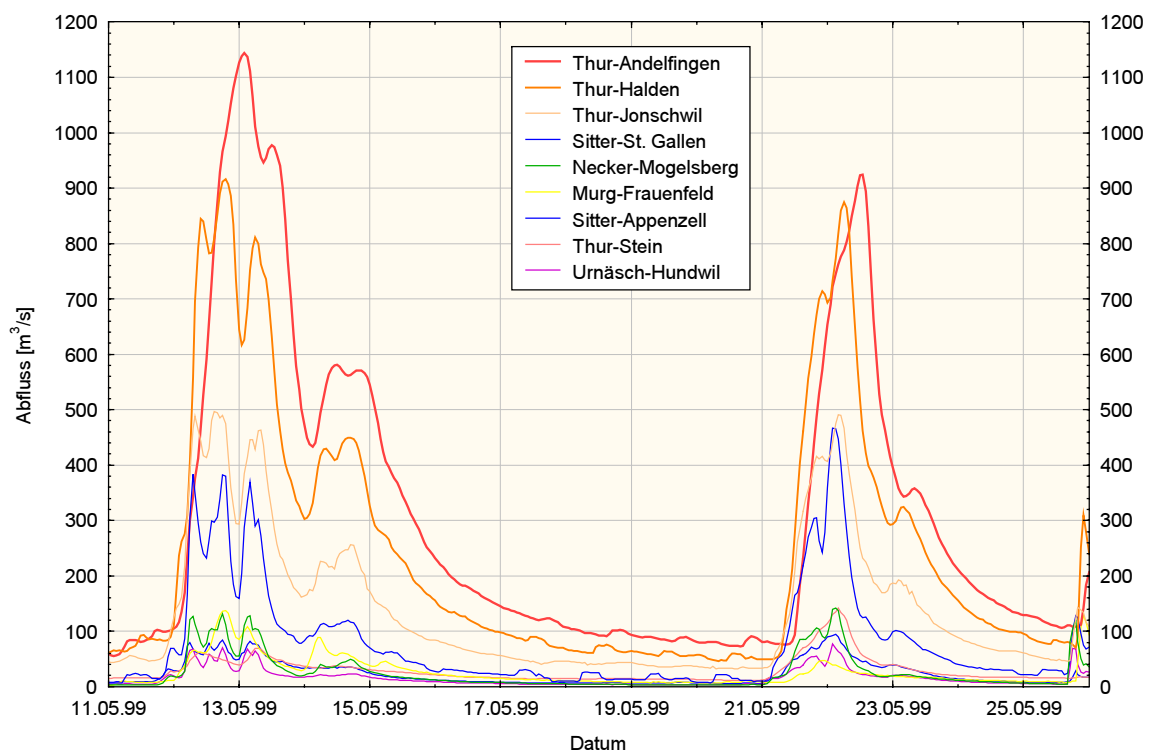


Abb. 6 Stundenmittelwerte des Abflusses ausgesuchter Stationen im Einzugsgebiet der Thur.

4.3 Alpenrhein und Bodensee

Die Abb. 7 zeigt die von der LHG gemessenen Zuflussganglinien zum Bodensee, den Seeausfluss sowie den Pegelstand des Ober- und Untersees. Für den Alpenrhein bedeutete das Pfingstereignis das grösste Hochwasser des vergangenen Jahres. Die registrierten $1890 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Diepoldsau waren das 10.-grösste Ereignis der Stationsgeschichte seit 1919. Gleichzeitig führte der Rhein bei Domat-Ems nur gerade $700 \text{ m}^3/\text{s}$, weniger als ein Drittel seines Abflussmaximums. Auch die Hochwasser der Plessur-Chur ($58 \text{ m}^3/\text{s}$) und der Landquart-Felsenbach ($167 \text{ m}^3/\text{s}$) waren im Vergleich zu den Werten der jeweiligen Messreihen unbedeutend, so dass davon ausgegangen werden kann, dass vor allem die seitlichen Zubringer zum Rhein aus tiefer gelegenen Einzugsgebieten hochwasserverursachend waren. Bezeichnenderweise führten die Seitenkanäle des Rheins alle Hochwasser: Liechtensteiner Binnenkanal-Ruggell ($44 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 3), Werderberger Binnenkanal-Salez ($120 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 1) und Rheintaler Binnenkanal-St. Margrethen ($140 \text{ m}^3/\text{s}$, Rang 1).

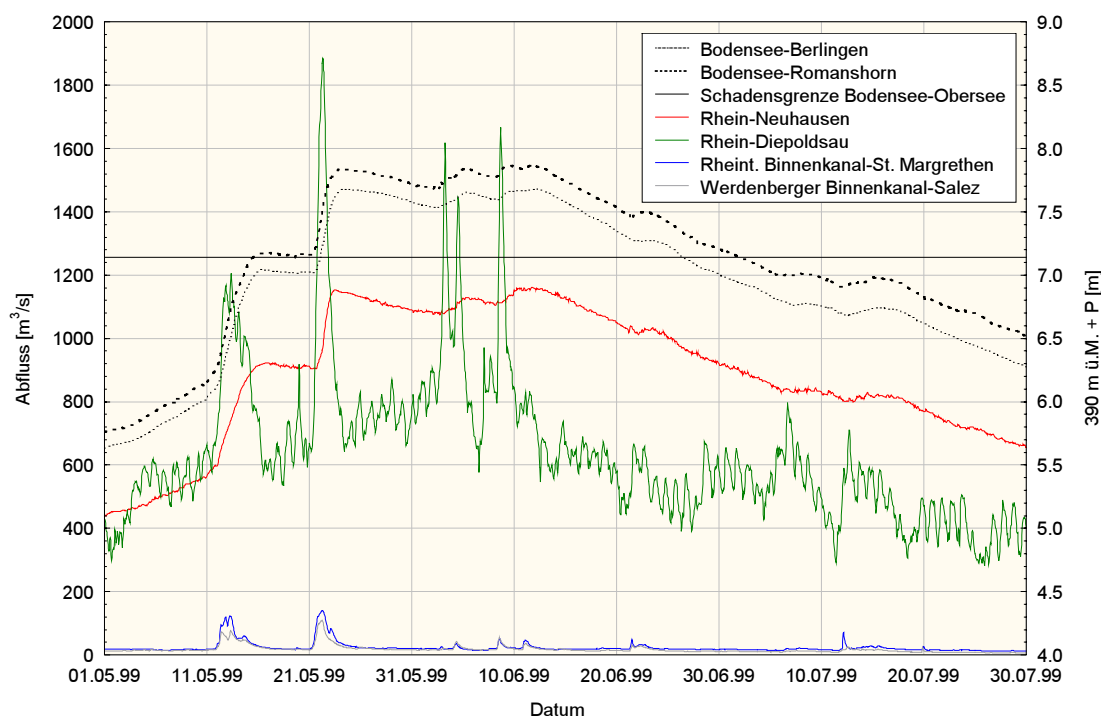


Abb. 7 Stundenmittelwerte des Abflusses und des Pegelstandes ausgesuchter Stationen im Einzugsgebiet des Bodensees.

Das Hochwassergeschehen widerspiegelt das Hauptniederschlagsgebiet vom 19.-22.5. mit einem Zentrum im Prättigau und Rheintal und seiner Fortsetzung nach Vorarlberg (Grebner, 2000). Laut dem Erfahrungsbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission des Bodensees (IGKB, 2000) erreichte die Bregenzerach am 22.5.99 mit $1090 \text{ m}^3/\text{s}$ einen neuen Höchstwert (bisher $910 \text{ m}^3/\text{s}$ im Jahre 1951) und auch die Argen ($425 \text{ m}^3/\text{s}$) sowie weitere Bodensee-Nebenzuflüsse aus dem Allgäu und aus Oberschwaben erreichten noch beachtliche Hochwasser. Mit dem Hochwasser im Rhein und den verschiedenen Nebenzuflüssen erreichte auch der Bodensee einen sehr hohen Stand (397.83 m ü.M.), auf dem er in der Folge mit nur kleinen Schwankungen 19 Tage lang verharrte und am 11.6. sein Maximum (397.87 m ü.M.) erreichte. Beigetragen dazu haben zwei weitere Hochwassereignisse anfangs Juni mit Abflussspitzen, welche noch über dem Ereignis vom 11.-15.5. lagen sowie die Schnee-

schmelze, die Ende Mai und in den ersten Junitagen ihr Maximum verzeichnete (vgl. Abb. 7). Der nicht regulierte Seeausfluss, repräsentiert durch die Station Rhein-Neuhausen, folgt exakt dem Pegelstand des Sees. Das Maximum von $1190 \text{ m}^3/\text{s}$ am 12.6. bedeutet einen neuen Rekordwert und liegt damit rund 10% über dem bisherigen Maximalwert von $1072 \text{ m}^3/\text{s}$ (1926).

Die Abb. 8 beinhaltet eine Volumenbetrachtung für den Bodensee. Aufgezeichnet sind die Tageswerte des Gesamtzuflusses und des Seeausflusses in Millionen m^3/Tag sowie die im See zu einem bestimmten Zeitpunkt zusätzlich gespeicherten Wasserreserven in Millionen m^3 (Referenzzeitpunkt: 1.5.). Der Gesamtzufluss (Q_Z) ist eine berechnete Grösse. Dieser ergibt sich approximativ aus dem Seeausfluss (Q_A) und den Seespiegeländerungen (ΔP):

$$Q_A = Q_Z + N - V \pm (\Delta P \cdot \text{Seefläche}) \quad (1)$$

Der Niederschlag (N) auf den See und die Verdunstung (V) von der freien Wasseroberfläche wurden bei dieser groben Betrachtung (Tageswerte) vernachlässigt, ebenso wie die Veränderung der Seefläche durch das Überfluten der Uferbereiche:

$$Q_Z = Q_A \pm (\Delta P \cdot \text{Seefläche}) \quad (2)$$

Berechnungen der IGKB (2000:32) gehen davon aus, dass verglichen mit einem Mittelwasserstand (395.45 m ü.M.) die Überflutungsfläche bei einem Hochwasserstand von 397.54 m ü.M. für den Ober- und Untersee rund 33 km^2 beträgt. Dabei macht die prozentuale Zunahme der Fläche für den Obersee 4.4%, für den Untersee 7.8% aus.

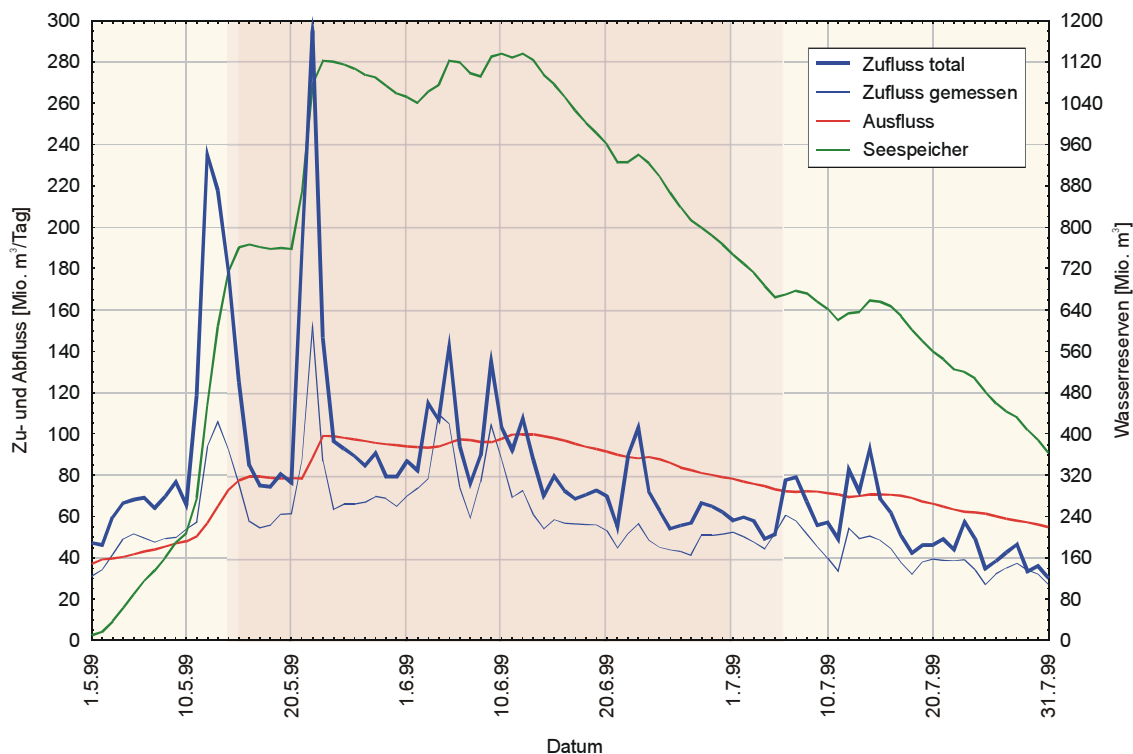


Abb. 8 Approximative Volumenbetrachtung des Bodensees: Tageswerte des Zu- und Abflusses ($\text{Mio m}^3/\text{Tag}$) sowie zusätzlich gespeicherte Wasserreserven (Mio m^3) bezogen auf den 1.5.99. Die rot unterlegte Fläche entspricht dem Zeitraum, während dem die Schadensgrenzen des Ober- und Untersees überschritten waren.

In die Grafik wurden zusätzlich die Summe der von der LHG gemessenen Zuflüsse (Rhein, Rheintaler Binnenkanal, Goldach, Steinach) eingetragen, so dass eine Abschätzung des Zuflusses aus Deutschland und Österreich möglich wird. Die rot unterlegte Fläche entspricht der Zeitperiode, in welcher die Seespiegel über den Schadensgrenzen lagen. Diese sind für den Obersee und den Untersee unterschiedlich definiert und führten auch zu verschiedenen Überschreitungsdauern: Bodensee (Untersee)-Berlingen vom 14.5.-6.7. (53 Tage) und Bodensee-Romanhorn vom 15.5.-1.7. (48 Tage). Die Grafik zeigt, dass schon anfangs Mai der Seeausfluss die zufließenden Wassermassen nicht mehr abzuführen vermochte und die Seespiegel zu steigen anfangen. Dieser Zustand hielt bis am 25.5. an. Ab diesem Zeitpunkt liegt der Seeausfluss abgesehen von kurzen, meist unbedeutenden Unterbrüchen über dem Zufluss und die Wasserreserven im See wurden wieder abgebaut. Bei dieser Volumenbetrachtung fällt auch auf, dass trotz tieferem Spitzenwert das Ereignis vom 11.-15. Mai zu einem stärkeren Seeanstieg (Reserveänderung: +500 Mio m³) geführt hat als das nachfolgende Ereignis von Pfingsten (+380 Mio m³). Maximal waren im Bodensee bezogen auf den 1.5.99 rund 1100 Mio m³ Wasser zusätzlich vorrätig. Selbst Ende Juli waren es immer noch 360 Mio m³ und der Stand von anfangs Mai noch nicht erreicht. Nach Angaben der Kraftwerksbetreiber wurden vom 10.-24.5. im Zeitraum der beiden Ereignisse im Einzugsgebiet des Alpenrheins 81.2 Mio m³ Wasser in den Speicherseen zurückgehalten. Nach Berechnungen des BWG (2000) entspricht dies umgerechnet auf den gesamten Bodensee einer Verminderung des maximalen Seespiegels von ca. 20 cm.

4.4 Aare, Thunersee und Jurarandseen

In der Abb. 9 sind ausgesuchte Ganglinien der Zu- und Abflüsse im Einzugsgebiet des Thuner- und Brienzersees dargestellt. Bis am 11.5. zeigten alle Zuflüsse den charakteristischen Tagesverlauf eines alpinen nivalen Abflussregimes mit leicht steigender Tendenz der Wasserführung. Die Ganglinie der Aare in Brienzwiler und Ringgenberg ist vom Kraftwerksbetrieb bzw. der Seeregulierung überprägt. Der in der Zeit vom 5.-8.5. gefallene Niederschlag manifestiert sich in den Zuflussganglinien kaum. Der Seespiegel des Thunersees stieg in dieser Zeit um 27 cm, derjenige des Brienzersees um 16 cm. Die Schleusen in Thun wurden am 1.5. vollständig geöffnet, was in der Grafik gerade noch erkennbar ist. Am 10.5. setzten die Niederschläge ein, die bis am 15.5. oder 16.5. andauerten. Sie zeigen sich in allen Ganglinien der Zuflüsse als doppelgipfliges Ereignis. Dies ist aus den kalendarischen Tagesniederschlägen nicht ersichtlich, doch weist Grebner (1999: 131) in seiner Analyse auf den wellenartigen Ablauf des Niederschlagsereignisses hin, was sich in der Aufzeichnung der stündlichen Niederschläge der ANETZ-Station Interlaken bestätigt. Die gemessenen Abflussspitzen an der Simme-Oberwil (135 m³/s, Rang 6) und Kander-Hondrich (170 m³/s, Rang 5) sind hoch, wurden aber doch schon einige Male übertroffen. Der Wert an der Station Simme-Latterbach (210 m³/s, Rang 1) lässt sich wegen der kurzen Messreihe noch nicht schlüssig beurteilen. Die Zuflüsse zum Brienzersee sind aus statistischer Sicht unbedeutend: Aare-Brienzwiler 230 m³/s (Rang 24), Lütschine-Gsteig 130 m³/s (Rang 18). Das Bedeutende am Hochwassereignis im Berner Oberland liegt darin, dass sich alle Zuflüsse über 5 Tage hinweg auf einem sehr hohen Niveau einpendelten und dass sowohl Brienzer wie Thunersee die zufließenden Wassermengen nicht mehr abzuführen vermochten. In der Folge stiegen die Seespiegel noch einmal um 109 cm (Thunersee) bzw. 98 cm (Brienzersee) auf die neuen Höchststände (559.17 m bzw. 565.36 m ü.M.). Auch für die Seeausflüsse Aare-Ringgenberg (270 m³/s) und Aare-Thun (570 m³/s) gab es neue Rekordmarken, wobei in Thun der bisherige Höchstwert um über 40% übertroffen wurde.

Das Ereignis vom 21.5. ist wiederum in allen Ganglinien der Zuflüsse zu erkennen, fiel aber insbesondere in Bezug auf das Volumen für die Kander und die Simme sehr viel geringer aus, während dessen die Aare-Brienzwiler und die Lütchine annähernd gleich wie beim ersten Ereignis, allerdings nur für kurze Zeit, reagierten. Der dadurch erhöhte Zufluss aus dem Brienzersee führte noch einmal zu einem kurzfristigen Pegelanstieg des Thunersees von 8 cm.

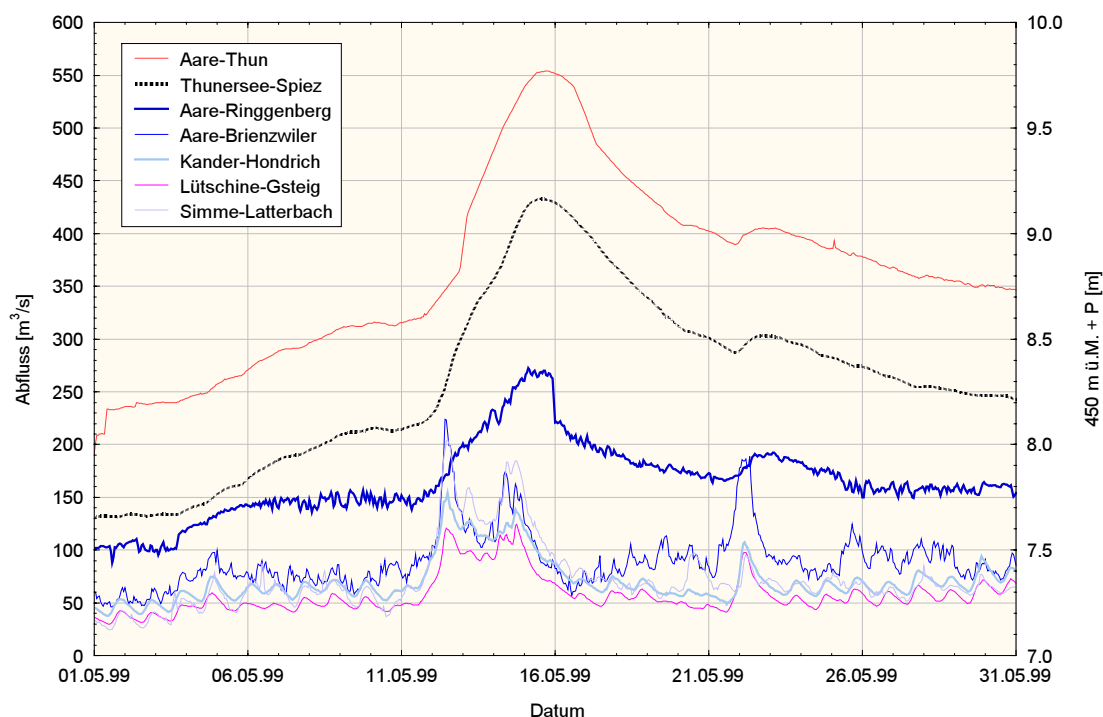


Abb. 9 Stundenmittelwerte des Abflusses und des Pegelstandes ausgesuchter Stationen in den Einzugsgebieten des Brienzer- und Thunersees.

Die Überschwemmungen zwischen Gwatt und Thun liessen die Frage nach dem Einfluss der Seeregulierung aufkommen. Inzwischen haben mehrere Simulationsrechnungen bestätigt, dass selbst eine Absenkung des Sees um mehr als einen Meter die Überschwemmungen nicht hätten verhindern können. Auch der maximale Pegelstand am 15.5.99 wäre bis auf 2-3 cm erreicht worden (TBA et al., 1999). Das liegt an den hydraulischen Gesetzmässigkeiten, da bei geöffneten Schleusen einzig die Höhe des Seespiegels den Abfluss bestimmt. Dies ist sehr schön in Abb. 9 zu sehen: die Ganglinie des Seeausflusses zeichnet exakt den Verlauf des Seespiegels nach.

Auch für den Thunersee wurde eine Volumenbilanz nach Formel (2) gerechnet (Kap. 4.1). Die Fläche des Thunersees, die bei Normalwasserstand 48.4 km² ausmacht, wuchs zur Zeit des höchsten Wasserstandes um 2.5 km² an. Der See trat dabei auf einer Länge von ca. 4 km von Gwatt bis Thun über sein flaches linkes Ufer. Mangels ausreichender Daten konnte dieses zusätzliche Seevolumen aber nicht in die Betrachtung einbezogen werden. Aus diesem Grunde dürfte der Gesamtzufluss und die gespeicherten Wasserreserven zwischen dem 11.-27.5. (Zeitdauer des Überschreitens der Schadensgrenze) tendenziell etwas zu klein ausgefallen sein. Die Abb. 10 zeigt, dass trotz vollständig geöffneter Schleusen der Abfluss aus dem See ab dem 1.5. bis am 15.5 ständig unter dem Zufluss lag. Der grösste Teil der Zuflüsse zum Thunersee werden durch die LHG durch Messungen erfasst (2239 km²). Einzig des engere Einzugsgebiet des Sees und insbesondere die gesamte Nordseite sind durch

Messungen nicht belegt (205 km^2). Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der Beitrag dieses Gebietes vor dem Ereignis rund 15% beträgt, vom 12.-15.5. aber sehr viel stärker ins Gewicht fällt. Der Seespiegel stieg ab dem 11.5. sehr kräftig an und überschritt am 12.5. für insgesamt 16 Tage die Schadensgrenze (rot unterlegte Fläche). Das Ereignis vom 21./22.5. wirkte sich in Bezug auf das Volumen nur noch geringfügig und mit einem Tag Verzögerung aus. Bezogen auf den 1.5. waren im Thunersee maximal 73 Mio m^3 zusätzliche Wasserreserven vorhanden, Ende Mai noch 26 Mio m^3 . Der Rückhalt in den Kraftwerksspeichern betrug zwischen dem 10. und 24.5. 21.4 Mio m^3 , was einer Reduktion des Seehöchststandes von ca. 7-8 cm entsprochen haben dürfte (BWG, 2000).

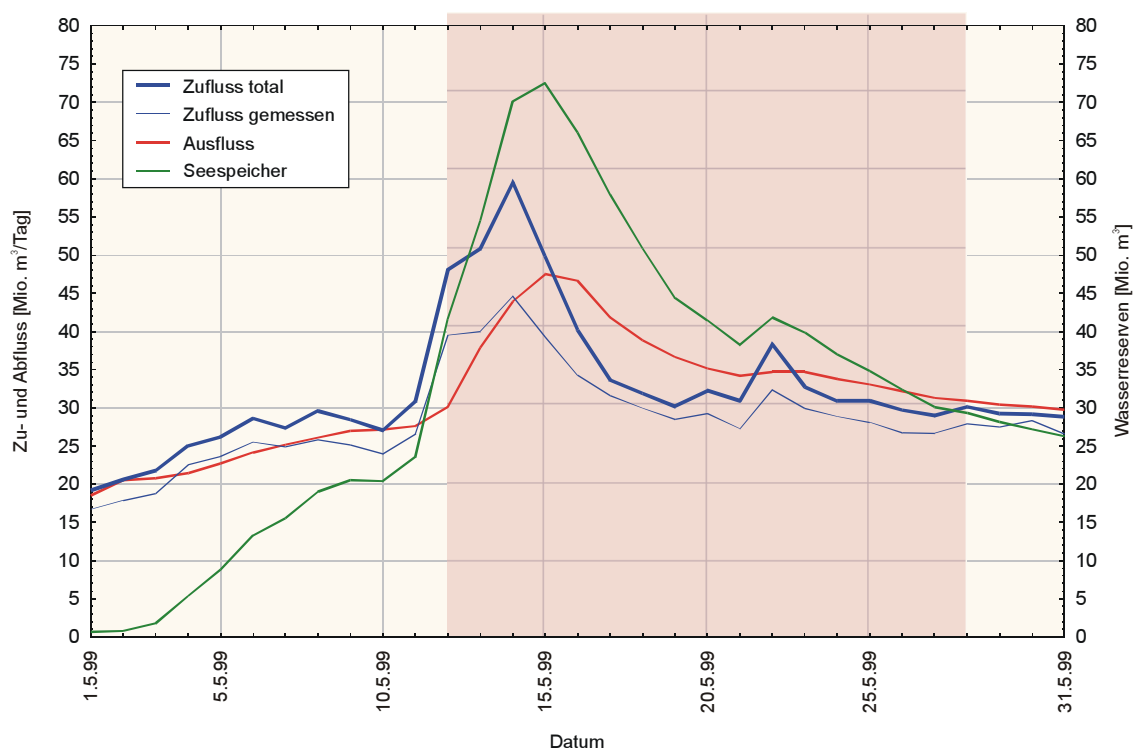


Abb. 10 Approximative Volumenbilanz des Thunersees: Tageswerte des Zu- und Abflusses ($\text{Mio m}^3/\text{Tag}$) sowie gespeicherte Wasserreserven (Mio m^3). Die rot unterlegte Fläche entspricht dem Zeitraum, während dem die Schadensgrenze des Sees überschritten war.

Die Tab. 3 zeigt die Volumina, welche die einzelnen Einzugsgebiete zum Höchstwasserstand des Thunersees beigetragen haben. Die Grundlage für die Ermittlung der Gebietsniederschläge bildeten räumlich interpolierte Niederschläge, welche in der Form eines $2 \times 2 \text{ km}$ -Rasters vorlagen (Mani, 2000). Um die Zahlen besser miteinander vergleichbar zu machen, wurden sie als Abflusshöhen auf die Seefläche des Thunersees umgerechnet und in Abb. 11 dargestellt.

Tab. 3 Approximative Volumenbilanz des Thunersees: Beiträge einzelner Einzugsgebiete (Volumen als Mio m³, Abflusshöhen als mm bezogen auf das jeweilige Einzugsgebiet)

Einzugsgebiet	Fläche (km ²)	11.-15.5.1999		1.-31. Mai 1999		N
		Mio m ³	mm	Mio m ³	mm	
Aare bis Brienzwiler	554	51.78	93	240.50	434	220
Aare von Brienzwiler bis Ringgenberg	575	26.54	46	102.23	178	
Lütschine bis Gsteig	379	37.29	98	154.35	407	200
Brienzersee	29.8	26.79		21.01		
Aare bis Thunersee (Station Ringgenberg)	1179	88.82	75	476.06	419	
Kander bis Hondrich	496	45.98	93	189.32	382	200
Simme bis Oberwil	344	37.10	108	139.80	406	254
Simme von Oberwil bis Latterbach	220	20.52	93	75.92	345	
Restgebiet Thunersee	203	35.05	173	114.24	563	
Zuflüsse:						
- gemessen	2239	192.42	86	881.1	402	
- ungemessen	203	35.05	173	114.2	563	
- TOTAL	2442	227.47	93	995.3	408	
Niederschlag Seefläche **	48	3.45	71	8.4	173	
Thunersee	48.4	45.06		28.8		
Aare, Thun	2490	185.86	75	974.9	392	

** Mittelwert der N-Stationen Interlaken und Thun

Bezogen auf die Seefläche ist dem Thunersee vom 11.-15. Mai 470 cm Wasser zugeflossen. Davon stammen 184 cm aus dem Brienzersee, 119 cm aus dem Simmental und 95 cm aus dem Kandertal. Angesichts der geringen Grösse ist der Anteil aus dem engeren See-einzugsgebiet (Spissibach, Lombach, Justistal) mit 72 cm überraschend gross. Er übertrifft dabei beispielsweise den Beitrag von 42 cm des praktisch gleich grossen unteren Simmentals zwischen Oberwil und Latterbach deutlich. Allerdings ist dazu anzumerken, dass sich aufgrund der Berechnungsart sämtliche Fehler der Messungen, durch vereinfachte Annahmen für die Niederschlagsberechnung und der Vernachlässigung von unterirdischem Zufluss (Schädler und Weingartner, 1992) und der Verdunstung sowie der Seegrössenveränderung und Grundwasserinfiltration in diesem „Restgebiet“ aufsummieren. Der Zufluss aus dem Einzugsgebiet des Brienzersees wäre noch höher ausgefallen (239 cm), hätte der See nicht selbst noch 55 cm zwischengespeichert. Im gleichen Zeitraum betrug der Ausfluss aus dem Thunersee nur 384 cm, so dass zusammen mit den 7 cm aus dem direkten Niederschlag auf die Seefläche 93 cm Wasser im See zusätzlich gespeichert werden mussten.

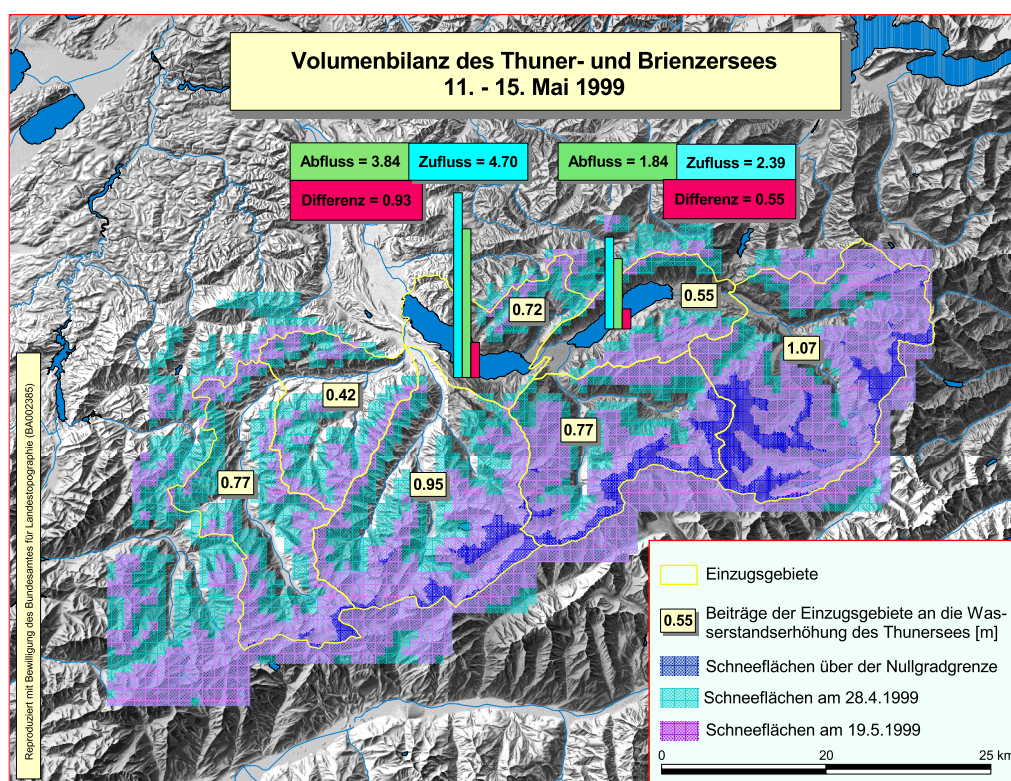


Abb. 11 Approximative Volumenbilanz des Thunersees: Beiträge einzelner Einzugsgebiete an die Wasserstandsänderung des Sees (m).

In der Abb. 11 ist auch die Schneebedeckung des Berner Oberlandes zu verschiedenen Zeitpunkten eingetragen sowie in Blau die Flächen, welche vom 11.-15.5.99 Temperaturen unter dem Gefrierpunkt verzeichneten. Es ist deutlich zu erkennen, dass nur die höchsten Kammlagen (über 2750 m ü.M.) nicht unter Schneeschmelzbedingungen standen. Die Höhengrenze ergibt sich als Mittelwert aus den Messwerten der Ballonsondierungen in der freien Atmosphäre (MeteoSchweiz-Payerne) über diesen Zeitraum. Allerdings darf aus dieser Darstellung nicht abgeleitet werden, dass die übrigen Flächen alle zum Abfluss beigetragen hätten. Dazu muss nämlich die Schneedecke zuerst vollständig durchfeuchtet sein, bevor die Schneeschmelze abflusswirksam wird. Die grünen Flächen entsprechen den Gebieten, in welchen zwischen dem 28.4.-19.5. die Schneedecke vollständig abgeschmolzen ist. Die roten Flächen entsprechen den Gebieten, welche nach dem 19.5. immer noch schneebedeckt waren. Die Gruppe Fernerkundung des Geographischen Institutes der Universität Bern hat im Auftrag der bereits angesprochenen Arbeitsgruppe „Schnee-Wasser“ des Kantons Bern (TBA et al., 1999) die Beobachtung und Prognose der Schneedeckenentwicklung übernommen. Dazu verwendete sie NOAA-Satellitendaten (AHVRR-Sensor) in Kombination mit einem einfachen Schneedeckenmodell. Die in Abb. 11 verwendeten Daten stammen aus diesen Arbeiten (Kleindienst et al., 2000). Aufgrund ihrer Auswertung waren am 9. Mai, also kurz vor den Hochwasserereignissen, noch ca. 68% des Berner Oberlandes mit Schnee bedeckt. Der Höhenbereich zwischen 1000-1500 m war zu drei Vierteln bereits aper, derjenige zwischen 1500-2000 m noch zu 85% schneebedeckt. Ende Mai war diese Stufe nur noch zu 30% schneebedeckt und die Höhenstufe zwischen 2000-2500 m, welche zuvor am 9.5. noch praktisch vollständig mit Schnee bedeckt war, auch bereits zu 15% aper. Gegenüber Vergleichsjahren (1998, 1992) war die Ablation um ca. 2 Wochen verzögert (vgl. Abb. 12).

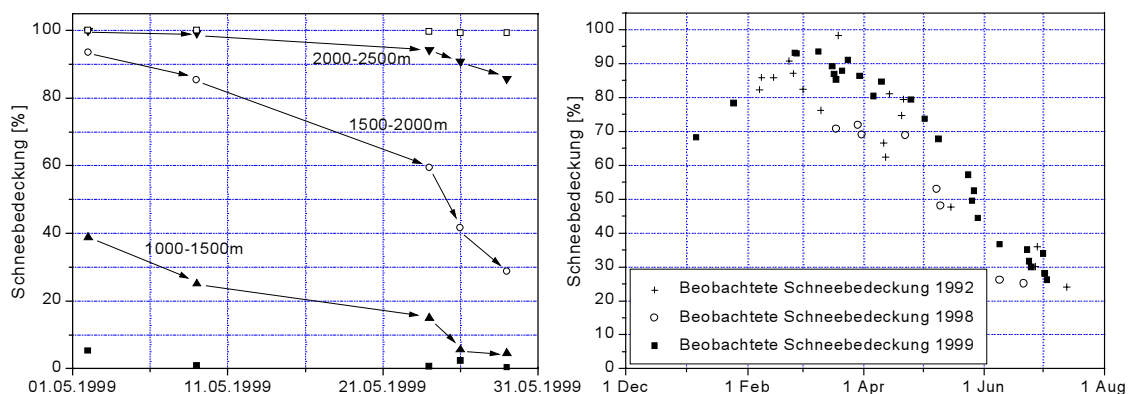


Abb. 12 Entwicklung der Schneebedeckung im Monat Mai 1999 und Vergleich der Jahre 1992, 1998 und 1999 (aus: Kleindienst et al., 2000)

Der Höchstabfluss der Aare bei Thun (570 m³/s) pflanzte sich flussabwärts fort und bescherte auch der Messstelle in Bern einen neuen Höchstwert, welcher mit 620 m³/s rund 35% über dem bisherigen Wert aus dem Jahre 1995 liegt. Die grossen Überschwemmungen, welche infolge eines Dammbrechens der Aare weite Teile des Belpmooses in einen See verwandelten, dürften noch zu einer Dämpfung dieser Abflussspitze beigetragen haben. Die Gürbe, als wichtigster Zufluss zwischen Thun und Bern, verzeichnete kein ausserordentliches Hochwasser (45 m³/s, Rang 8). Dies gilt verstärkt noch für die Saane-Laupen, deren 480 m³/s Rang 16 bedeuten und nur gerade etwas mehr als die Hälfte des bisherigen Maximums ausmachen (vgl. Abb. 13). Trotzdem resultierte an der Station Aare-Hagneck ein neuer Höchstwert. Dieser war mit 940 m³/s praktisch gleich gross wie 1994 (933 m³/s). Im Vergleich zu den anderen Stationen an der Aare ist der Wert noch wenig aussagekräftig, da die Messstelle erst seit 1984 in Betrieb steht.

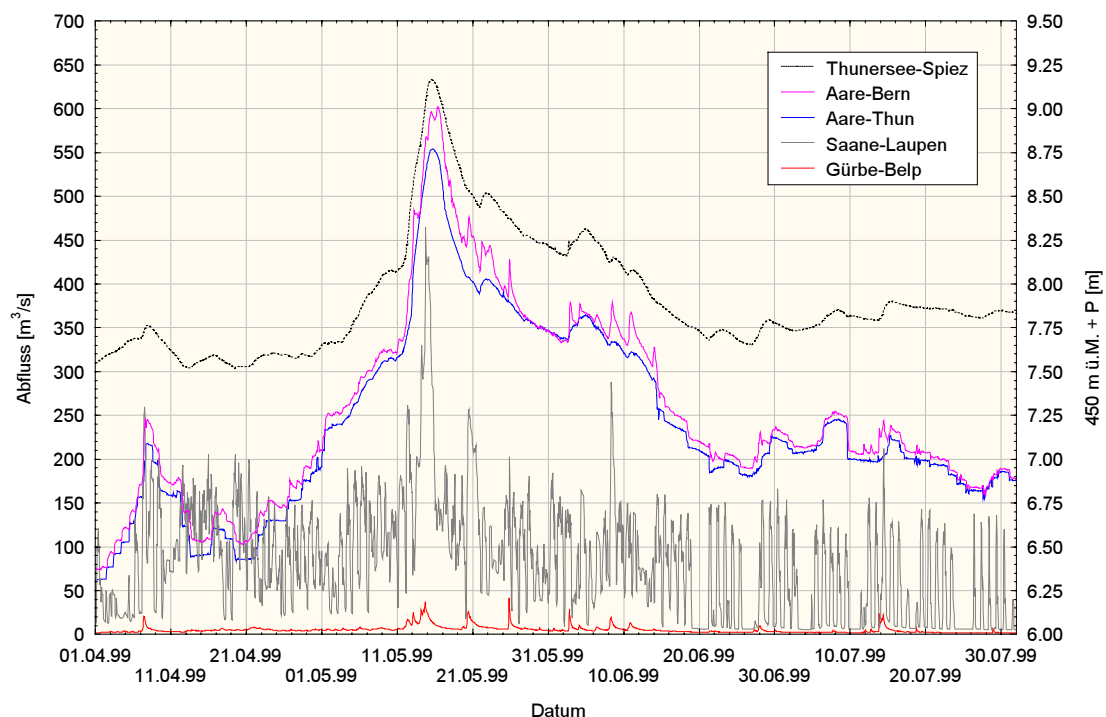


Abb. 13 Stundenmittelwerte des Abflusses: Situation an der Aare und an Zuflüssen unterhalb von Thun.

Trotz des Höchsthochwassers der Aare zwischen Thuner- und Bielersee blieben die ein hydraulisches System bildenden Jurarandseen (Murten-, Neuenburger- und Bielersee) noch unter den Schadensgrenzen: am deutlichsten der Murtensee (-79 cm), etwas knapper der Neuenburgersee (-29 cm). Beim direkt betroffenen Bielersee fehlten aber zur Zeit des Höchststandes (430.19 m ü.M.) am 15.5.99 nur gerade 6 cm bis zur Schadensgrenze. Dank unbedeutenden Zuflüssen aus dem Jura und der Nutzung der Retentionsräume der Saane durch die Entreprises électriques fribourgoises (119.3 Mio m³ vom 10.-24.5.) trat hier nichts Schlimmeres ein (BWG, 2000).

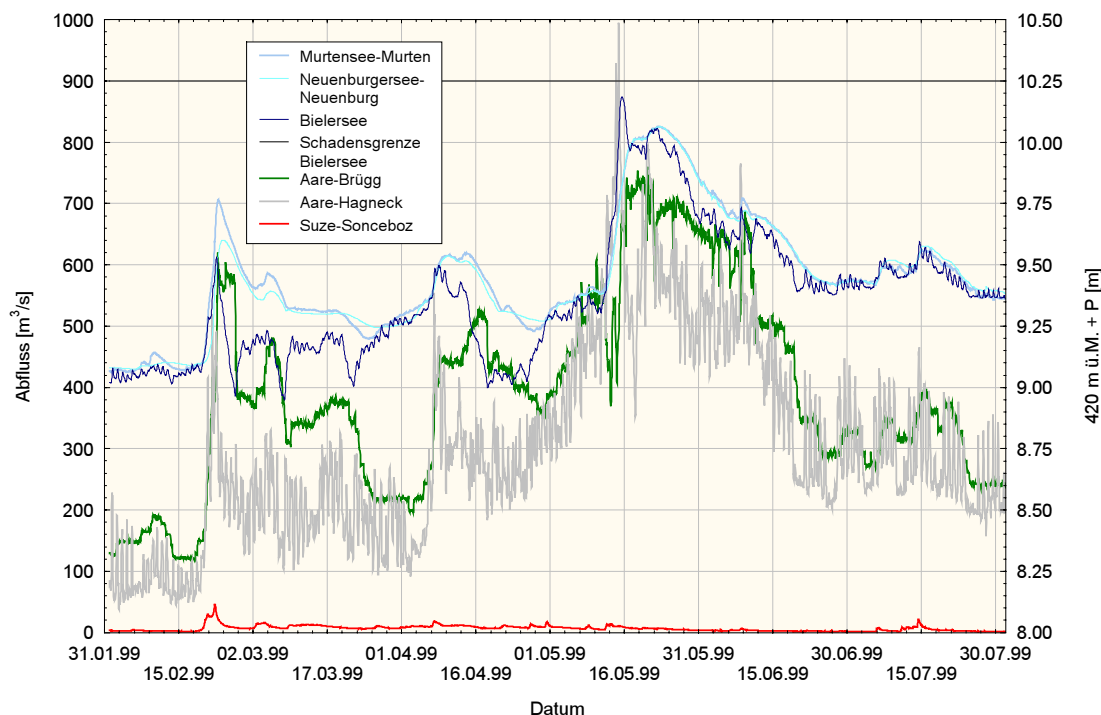


Abb. 14 Stundenmittelwerte des Abflusses und der Seepegelstände: Situation an den Jurarandseen.

Für die Zuflüsse der Aare unterhalb des Bielersees ergibt sich ein unterschiedliches Bild. So lagen etwa das Emmental und das Napfgebiet ausserhalb der Niederschlagszentren, was sich auch in den Abflusswerten niederschlägt. Die Stationen Emme-Wiler im Unterlauf und Emmenmatt beim Zusammenfluss mit der Ilfis verzeichneten nur unbedeutende Abflussmengen (310 m³/s bzw. 230 m³/s entsprechend der Ränge 26 und 34). Für die Zuflüsse aus dem Quellgebiet waren die in Langnau und Eggwil (Heidbüel) je gemessenen 110 m³/s zwar bedeutender (Rang 6 bzw. 8), aber beide Stationen stehen noch nicht sehr lange in Betrieb. Kaum betroffen waren auch die Murg (28 m³/s, Rang 11, seit 1981) mit den Zuflüssen Langeten und Rot. Zum Hochwassergebiet hingegen zu zählen sind bereits die nur wenig östlich davon gelegenen Stationen Luthern-Nebikon (34 m³/s, Rang 3 seit 1988) und Wigger-Zofingen (105 m³/s, Rang 3, seit 1980). Weiter nach Osten verzeichneten die Messstellen des Kantons AG ebenfalls grosse Hochwasser (alle Werte provisorisch): Suhre-Unterentfelden 22 m³/s (Rang 2, seit 1979 beobachtet), Wyna-Unterkulm 45 m³/s (Rang 2, seit 1953) und Bünz-Othmarsingen ca. 69 m³/s (Rang 1, seit 1977).

Von den Zuflüssen aus dem Jura war entsprechend der Niederschlagsverteilung einzig die Dünern von Bedeutung. Sie verzeichnete mit 135 m³/s einen neuen Höchstabfluss, welcher 20 m³/s über dem bisherigen Maximalwert von 1978 liegt (Messreihe 1978-99).

4.5 Einzugsgebiet der Reuss

Das Hochwassergeschehen am Vierwaldstättersee zeichnet sich aus durch grosse Abflussvolumina des ersten Ereignisses vom 11.-15.5. und hohe Abflussspitzen des zweiten Ereignisses vom 21.5.99 (vgl. Abb. 15). Mit Beginn der Schneeschmelze ab ca. 20.4. stieg der Seespiegel trotz wiederholter Öffnung der Schleusen kontinuierlich an. Gleichwohl lag der Wert Ende April sogar noch etwas unter dem langjährigen Aprilmittel. Bis am 10.5. stieg der See um 35 cm auf 433.75 m ü.M. an und war nun bereits 17 cm über dem Maidurchschnitt. Der massive Wasseranfall vom 11.-15.5. liess den Seespiegel vorerst um einen vollen Meter weiter steigen. Am 13.5. überschritt der See seine Hochwassergrenze. Nach einer kurzen Erholungsphase (-20 cm) erreichte der Seespiegel mit den intensiven Regenfällen des 22.5. seinen Höchststand von 434.93 m ü.M.. Dieser liegt aber noch deutlich unter dem Rekordwert aus dem Jahre 1910 von 435.24 m ü.M.. Mit dem Pfingstereignis erreichten auch die Zuflüsse mit Ausnahme der Sarner Aa ihr Maximum. Für alle gemessenen Zuflüsse, die Reuss ausgenommen, bedeutete das Ereignis der grösste oder zweitgrösste Spitzenabfluss der Messgeschichte. Die Muota-Ingenbohl (315 m³/s) führte dabei trotz deutlich kleinerem Einzugsgebiet gleichviel Wasser wie die Reuss, für welche allerdings kein Hochwasser registriert wurde (Rang 38). Am 15.5.99 erreichte auch der Lauerzersee eine neue gemessene Höchstmarke (449.15 m ü.M.). Diese liegt 66 cm über dem bisherigen Maximum aus dem Jahre 1986 (Messungen erst ab 1983). Da die Schneeschmelze im Reussgebiet eben erst richtig begonnen hatte und im Muotathal noch weiter anhielt, verharrte der Vierwaldstättersee insgesamt 30 Tage über der Schadensgrenze. Mit dem hohen Seestand erreichte auch der Abfluss in Luzern einen neuen gemessenen Spitzenabfluss. Mit 430 m³/s liegt dieser rund 10% über dem bisherigen Wert aus dem Jahr 1953.

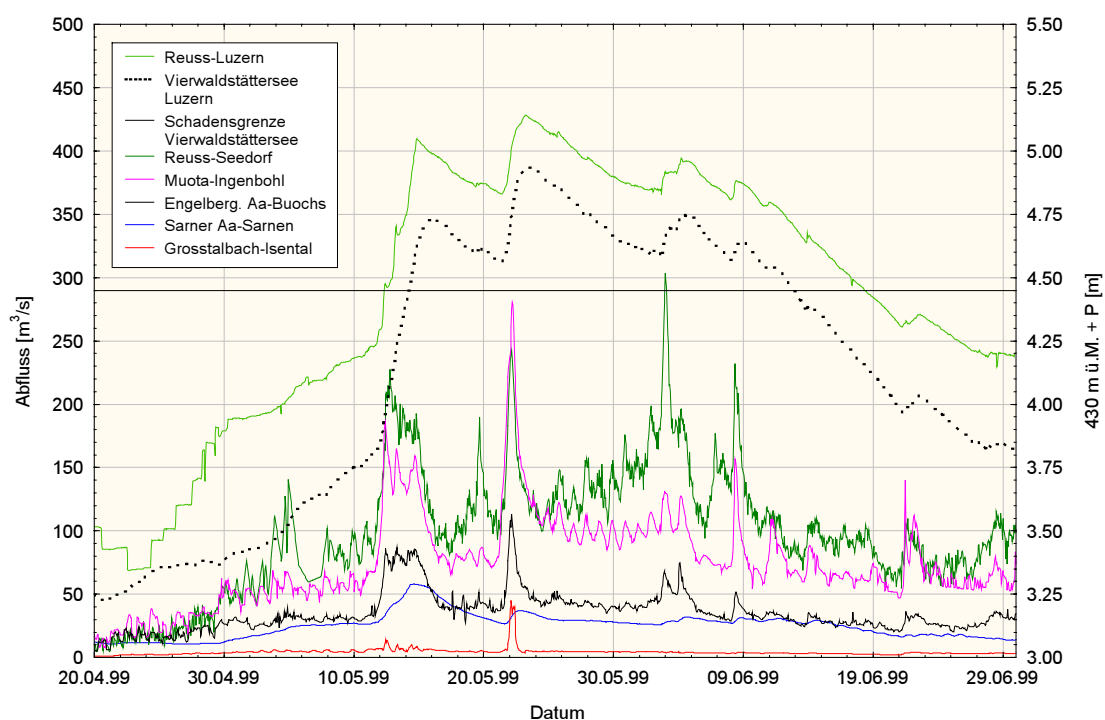


Abb. 15 Stundenmittelwerte des Abflusses und des Seepegels: Situation am Vierwaldstättersee.

Die Abb. 16 zeigt die Volumenbilanz des Vierwaldstättersees über den Monat Mai, die Tab. 4 die ereignisbezogenen Zahlenwerte. Maximal hat der See rund 175 Mio m³ Wasser zusätzlich zwischengespeichert (Referenzzeitpunkt: 1.5.99), wobei ihm bei beiden Ereignissen maximal gleichviel zugeflossen ist (ca. 62 Mio m³/Tag). Allerdings ist das Auffahrtereignis in Bezug auf das gesamte Ereignisvolumen fast doppelt so gross ausgefallen wie jenes an Pfingsten. Die beiden Ereignisse zusammen machen 43% des gesamten Wasseranfalls im Mai aus. Messtechnisch erfasst werden rund 80% des Einzugsgebietes des Sees. Das Wasserangebot des Monats Mai widerspiegelt dieses Verhältnis: 80% stammen aus gemessenen Gebieten. Im Ereignis vom 11.-15.5. allerdings lieferten die nicht-beobachteten, seenahen Gebiete mit 26% einen leicht überproportionalen Anteil.

Obwohl die Kleine Emme als wichtigster Zufluss unterhalb Luzern kein Hochwasser führte, setzte sich der Hochwasserabfluss reussabwärts fort. Auch die untenliegenden Stationen Mühlau (710 m³/s) und Mellingen (760 m³/s) verzeichneten die höchsten gemessenen Abflussspitzen. Dazu beigetragen hat die Lorze, welche ebenfalls an ihren beiden Stationen Zug (61 m³/s) und Frauenthal (35 m³/s) neue Höchstwerte verzeichnete. Der Zugersee stieg während den beiden Niederschlagsereignissen um insgesamt 75 cm auf den neuen Höchstwert von 414.49 m ü.M., 4 cm über der bisherigen Rekordmarke von 1975. Zuvor waren schon die Seestände der Monate März und April deutlich über dem langjährigen Mittel gelegen.

Tab. 4 Approximative Volumenbilanz des Vierwaldstättersees: Beiträge einzelner Einzugsgebiete (Volumen als Mio m³, Abflusshöhen als mm bezogen auf das jeweilige Einzugsgebiet)

Einzugsgebiet	Fläche (km ²)	10.-15.5.99		19.-22.5.99		1.-31.5.99	
		Mio m ³	mm	Mio m ³	mm	Mio m ³	mm
Reuss-Seedorf	832	75.34	91	49.18	59	311.12	374
Grosstalbach-Isenthal	43.9	3.43	78	3.15	72	15.15	345
Muota-Ingenbohl	316	58.36	185	43.60	138	245.80	778
Engelberger Aa-Buochs	227	31.05	137	18.31	81	116.16	512
Sarner Aa-Sarnen	267	21.24	80	10.79	40	83.55	313
Chli Schliere, Alpnach	21.8	3.45	158	1.21	55	8.70	399
Zuflüsse:							
- gemessen	1708	192.87	113	126.25	74	780.49	457
- ungemessen	430	66.22	154	27.66	64	190.82	444
- TOTAL	2138	259.09	121	153.91	72	971.31	454
Niederschlag Seefläche **	114	14.12	124	12.52	110	31.69	279
Seespeicher (zusätzlich)	113.6	111.33		34.42		135.98	
Reuss, Luzern	2251	162.88	72	132.00	59	867.02	385

** Mittelwert aus den N-Stationen Altdorf, Gersau und Luzern

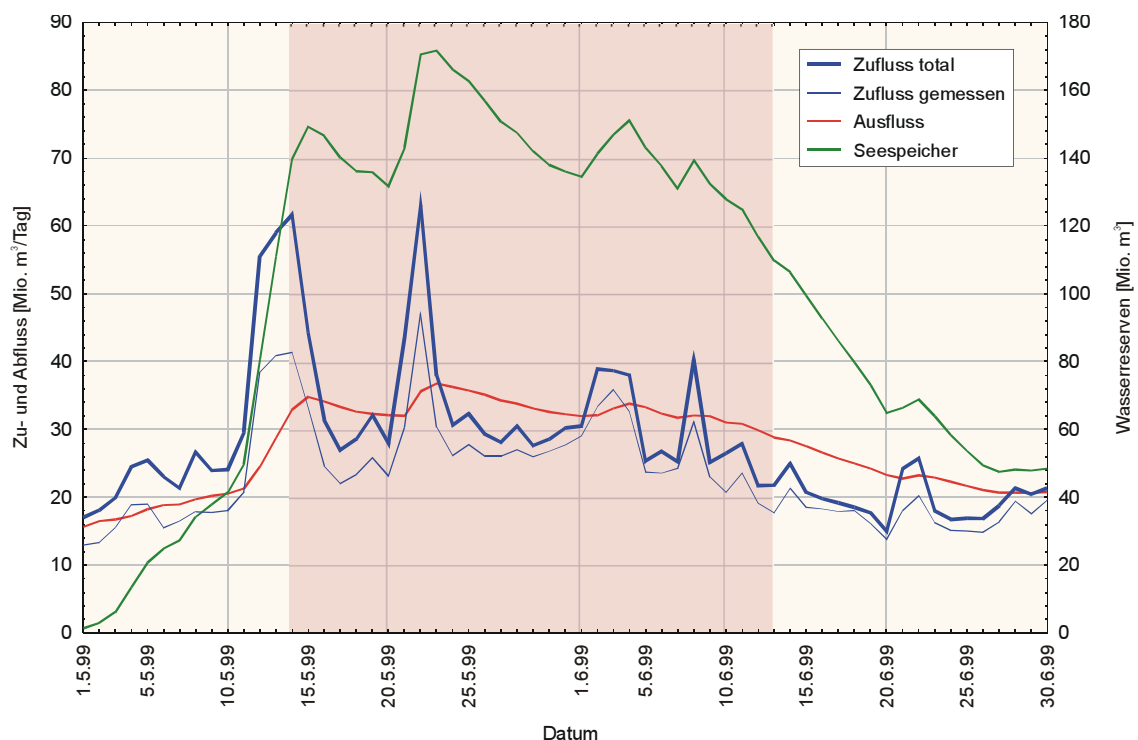


Abb. 16 Approximative Volumenbilanz des Vierwaldstättersees: Tageswerte des Zu- und Abflusses ($\text{Mio. m}^3/\text{Tag}$) sowie zusätzlich gespeicherte Wasserreserven (Mio. m^3) bezogen auf den 1.5.99. Die rot unterlegte Fläche entspricht dem Zeitraum, während dem die Schadensgrenze des Sees überschritten war.

4.6 Einzugsgebiet der Linth/Limmat

Die Abb. 17 zeigt das Hochwassereignis an der Linth und Limmat während der Zeit vom Mai bis Juni. Mit einer Fläche von 600 km^2 (Station Mollis) bildet die Linth den Hauptzubringer in den Walensee. Auch wenn deren Abfluss durch den Kraftwerkeinfluss geprägt ist, kann man erkennen, dass die beiden Ereignisse im Mai für die Linth nicht von Bedeutung waren. Augenfällig ist der Seeausfluss (Linth-Weesen), welcher in der Zeit vom 10.-31.5.1999 beträchtlich über dem gemessenen Zufluss liegt. Die Differenz beträgt maximal rund $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Da der Seespiegel trotzdem noch weiter anstieg und die Seez in ihrem Oberlauf (Station Mels, 105 km^2) mit $39 \text{ m}^3/\text{s}$ kein grosses Hochwasser führte (Rang 14, seit 1966), stammt die Wassermenge zum grösseren Teil aus dem Zwischeneinzugsgebiet der Seez von Mels bis zum Walensee und dem Seezugsgebiet im engeren Sinne (332 km^2).

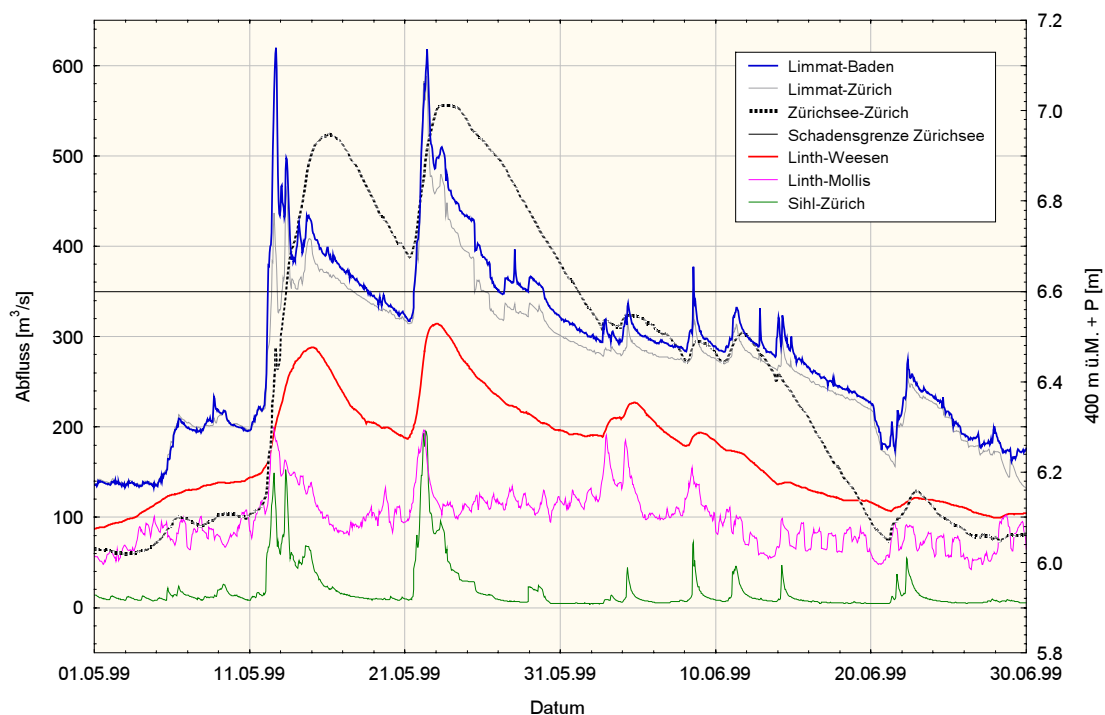


Abb. 17 Stundenmittelwerte des Abflusses ausgesuchter Messstationen im Limmatgebiet und Pegelstand des Zürichsees. Letzte Korrekturen des Spitzenwertes der Limmat-Baden auf $660 \text{ m}^3/\text{s}$ konnten in der Darstellung noch nicht berücksichtigt werden.

Die Volumenbetrachtung (Vergleich Zufluss-Ausfluss, Pegelstandsänderungen des Sees), zeigt dass der Walensee bereits ab dem 1.5.1999 die zufließenden Wassermassen nicht mehr genügend abführen konnte und in der Folge bis am 22.5.1999 um 2.47 m auf den neuen Höchststand von 422.16 m ü.M. anstieg. Dieser liegt 5 cm über dem bisherigen Rekordwert aus dem Jahre 1953. Die Schadensgrenze überschritt er aber nur gerade an einem Tag. Maximal betrugen die zusätzlichen Wasserreserven bezogen auf den 1.5.99 rund 60 Mio m^3 . Da der Walensee nicht reguliert ist, widerspiegelt die Ganglinie des Seeausflusses direkt den Verlauf des Pegelstandes im See. Dieser hatte selbst Ende Juni den Stand von Anfang Mai noch nicht wieder erreicht. Der Seeausfluss (Station Linth-Weesen) verzeichnete kurz hintereinander zwei ausserordentliche Hochwasser: zuerst $290 \text{ m}^3/\text{s}$ an Auffahrt und dann $320 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rang 2, seit 1907) am 23.5.99. Dieser Wert liegt nur unwesentlich unter dem höchsten Spitzenabfluss von $338 \text{ m}^3/\text{s}$ (1910). Gemäss eigenen Angaben haben die Nordostschweizerischen Kraftwerke an Auffahrt etwa 80 bis $100 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser in ihren Stauanlagen im Linth-Einzugsgebiet zurückgehalten und damit verhindert, dass die Linth noch höher stieg (Zürichseezeitung, 21.5.99).

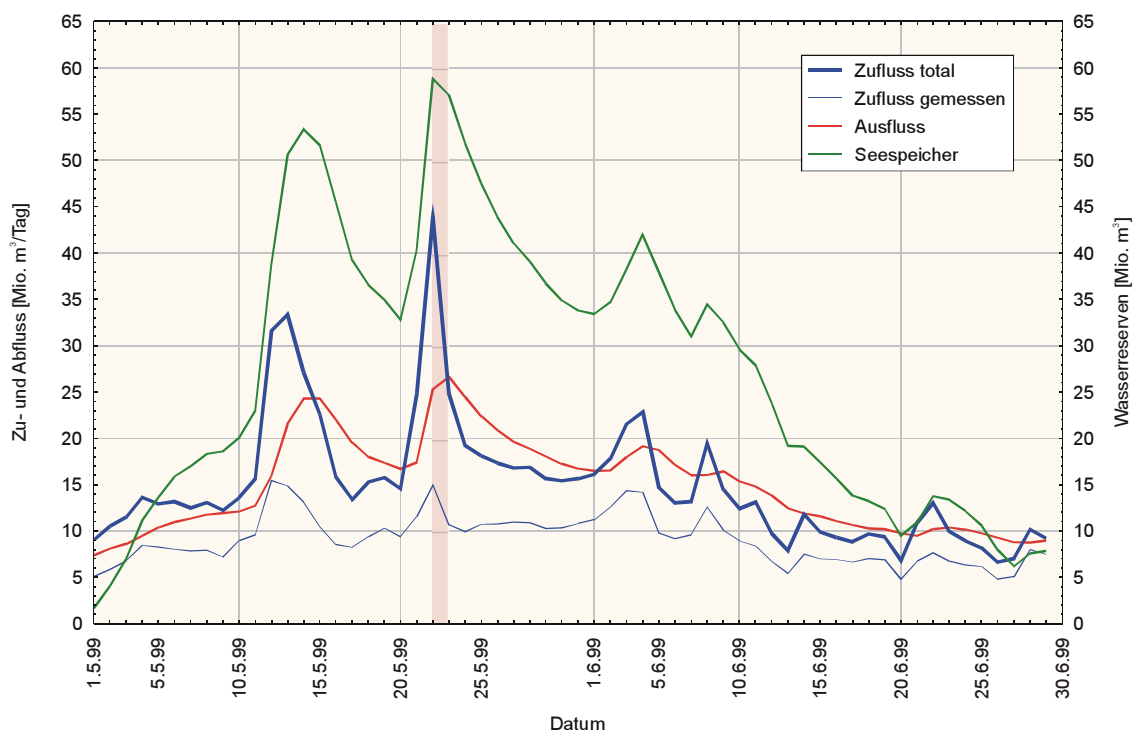


Abb. 18 Approximative Volumenbilanz des Walensees: Tageswerte des Zu- und Abflusses ($\text{Mio m}^3/\text{Tag}$) sowie zusätzlich gespeicherte Wasserreserven (Mio m^3) bezogen auf den 1.5.99. Die rot unterlegte Fläche entspricht dem Zeitraum, während dem die Schadensgrenze des Sees überschritten war.

Die Tab. 5 zeigt ereignisbezogen die Volumenbilanz des Walensees. Gleich wie beim Vierwaldstättersee ist das Volumen des ersten Ereignisses deutlich grösser als des zweiten. Allerdings übertrifft dieses in Bezug auf den maximalen Wasseranfall das Auf-fahrtsergebnis: $44 \text{ Mio m}^3/\text{Tag}$ flossen dem See zu, gegenüber $33 \text{ Mio m}^3/\text{Tag}$ 10 Tage vorher. Die beiden Ereignisse zusammen machen 40% des gesamten Wasseranfalls im Mai aus. Messtechnisch nicht erfasst werden 32% des Einzugsgebietes des Sees. Im ganzen Monat Mai (44%) sowie besonders in den Ereignissen vom 11.-15.5. (50%) und 21.-23.5. (58%) lieferten die seenahen, nicht-beobachteten Gebiete einen überproportionalen Anteil. Ein Teil des Wassers stammt aus dem Thurgau (Schädler und Weingartner, 1992). Gemäss Zeitungsberichten hat die „Ringquelle“ während den Hochwasserereignissen „weit über $20 \text{ m}^3/\text{s}$ “ aus dem Toggenburg ins Linthgebiet entwässert (Zürichseezeitung, 21.5.99).

Tab. 5 Approximative Wasserbilanz des Walensees: Beiträge einzelner Einzugsgebiete (Volumen als Mio m³, Abflusshöhen als mm bezogen auf das jeweilige Einzugsgebiet)

Einzugsgebiet	Fläche (km ²)	11.-15.5.99		21.-23.5.99		1.-31.5.99	
		Mio m ³	mm	Mio m ³	mm	Mio m ³	mm
Seez-Mels	105	6.27	60	3.04	29	25.94	247
Linth-Mollis	600	57.26	95	34.20	57	279.77	466
Zuflüsse:							
- gemessen	705	63.54	90	37.24	53	305.71	434
- ungemessen	332	63.20	190	52.40	158	240.05	723
- TOTAL	1037	126.74	122	89.64	86	545.76	526
Niederschlag Seefläche **	24	3.77	156	4.30	176	10.32	427
Seespeicher (zusätzlich)	24.2	30.83		24.24		33.79	
Linth-Weesen	1061	99.78	94	69.75	66	522.29	492

** Stationsniederschlag Weesen

Der hohe Zufluss aus dem Walensee und ein beträchtlicher Zufluss aus dem Zwischeneinzugsgebiet (AWEL, 1999:105) liessen auch den Zürichsee im gleichen Zeitraum um ca. 1 m auf 407.01 m ü.M. ansteigen, den zweithöchsten gemessenen Pegelstand. Letztmals hatte der See 1953 einen ähnlichen hohen Seestand aufgewiesen. Die Schadensgrenze (406.60 m ü.M.) überschritt er am 13.5.1999 für insgesamt 19 Tage und erreichte gegen Ende Juni wieder das Niveau von anfangs Mai. Die Ganglinie der Station Limmat-Zürich ergibt sich aus dem regulierten Seeausfluss und der Überlagerung mit der Sihl. Deren Spitzenwert an der Station Zürich, Sihlhölzli von 250 m³/s (Pfingstereignis) wurde seit dem Bau der Kraftwerke am Sihlsee (1937) nie mehr erreicht, früher aber zwischen 1919 und 1939 sechs Mal überschritten und galt nicht als ausserordentlich. Für die Station Limmat-Zürich bedeuten die gemessenen 590 m³/s das zweitgrösste Ereignis, ebenso wie für die Station Limmat-Baden, deren 660 m³/s einen neuen gemessenen Höchstwert repräsentieren, 70 m³/s über dem bisherigen von 1953.

Auch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich ist der Frage einer vorsorglichen Absenkung des Zürichsees nachgegangen und kommt zu Schluss, dass selbst bei einer Absenkung 20 cm unter das langjährige Mittel des Monats Mai von 406.00 m ü.M. der maximale Seestand nur wenige Zentimeter niedriger gelegen hätte (AWEL 1999:105).

5. Datenerfassung und -qualität

5.1 Die Abfragezentrale der Landeshydrologie und -geologie

Vor fünf Jahren hat die LHG damit begonnen, die Messstationen ihres Messnetzes mit Datenloggern auszurüsten (Luder, 1996). Die vom Datenlogger erfassten Daten werden über Modem und Telefon oder NATEL in die Abfragezentrale der LHG in Ittigen bei Bern übermittelt. Normalerweise geschieht dies automatisiert in den frühen Morgenstunden eines jeden Tages, so dass bei Arbeitsbeginn ein Überblick einerseits über die Funktionstüchtigkeit des technischen Teils des Messnetzes, andererseits auch über das Geschehen in den Gewässern selbst vorhanden ist. Bei einer Hochwassersituation kann der Abfragerhythmus bis zu einer halben Stunde oder in ein noch kürzeres Intervall verkleinert werden, um einen quasi-on-line-Betrieb zu ermöglichen. Zusätzlich lassen sich kurzfristig Abfragegruppen bilden, die nur Messstationen aus einer bestimmten Region kontrollieren. Nach erfolgtem Datenimport werden die unplausibilisierten Rohdaten des Pegelstandes automatisiert in Abflusswerte umgerechnet und grafisch oder tabellarisch an interne oder externe Datenbezüger weitervermittelt. So kann z.B. über die Internetadresse <http://www.bwg.admin.ch> ein täglich neu erstelltes „Hydrologisches Bulletin“ abgerufen, oder es können aktuelle Graphiken der letzten 7 Tage von einer Auswahl wichtiger Stationen konsultiert werden (Luder, 1999). Beispiele finden sich im Anhang 2 und 3.

Die wasserwirtschaftlich und hydrologisch wichtigsten Stationen des Messnetzes sind mittlerweile mit diesen Loggern ausgerüstet. Das Logger-Netz (vgl. Abb. 19) besteht heute aus rund 160 Loggern und wird laufend verdichtet, so dass bei seinem Endausbau etwa 250 von insgesamt 300 Stationen der LHG abrufbar sein werden.

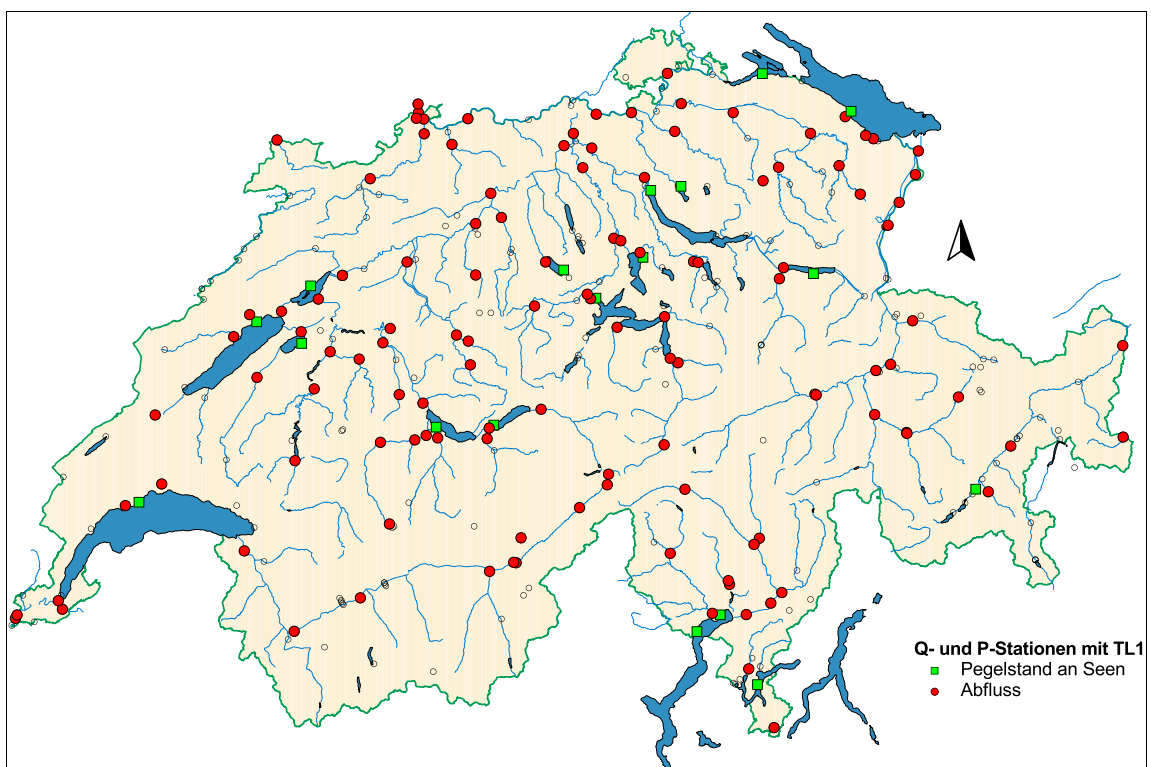


Abb. 19 Messnetz der LHG: Stand des Ausbaus der Stationen mit Datenloggern TL1 (Mai 2000).

In der Vergangenheit, so z.B. während der 87-er Hochwasser im zentralen Alpenraum oder der 93-er Hochwasser im Wallis und Tessin, verfügte die LHG bloss über ein wenig dichtes Netz von Fernmeldern. Diese Fernmelder übermitteln über das Telefonnetz einzelne als Piepstöne codierte Momentanwerte des Pegelstandes. Es war dazumal sehr aufwendig, sich mit diesem System einen Überblick über den räumlichen und die zeitlichen Verlauf einer Hochwassersituation zu verschaffen.

Dank den oben erwähnten Loggern war es der LHG während der Hochwasser vom Mai 1999 nun aber erstmals möglich, bei einem Extremereignis von nationaler Bedeutung quasi on-line am Geschehen dabei zu sein und dementsprechend Behörden, Wehrdienste, Krisenstäbe und Presse kompetent zu informieren. Als entscheidend hat sich dabei erwiesen, dass die Ganglinien der Pegelstände unmittelbar nach deren Import durch die Abfragezentrale in Ganglinien der Abflüsse umgerechnet werden können. Dies ist eine Voraussetzung, um das hydrologische Geschehen gerinneaufwärts interpretieren und gerinneabwärts vorhersagen zu können.

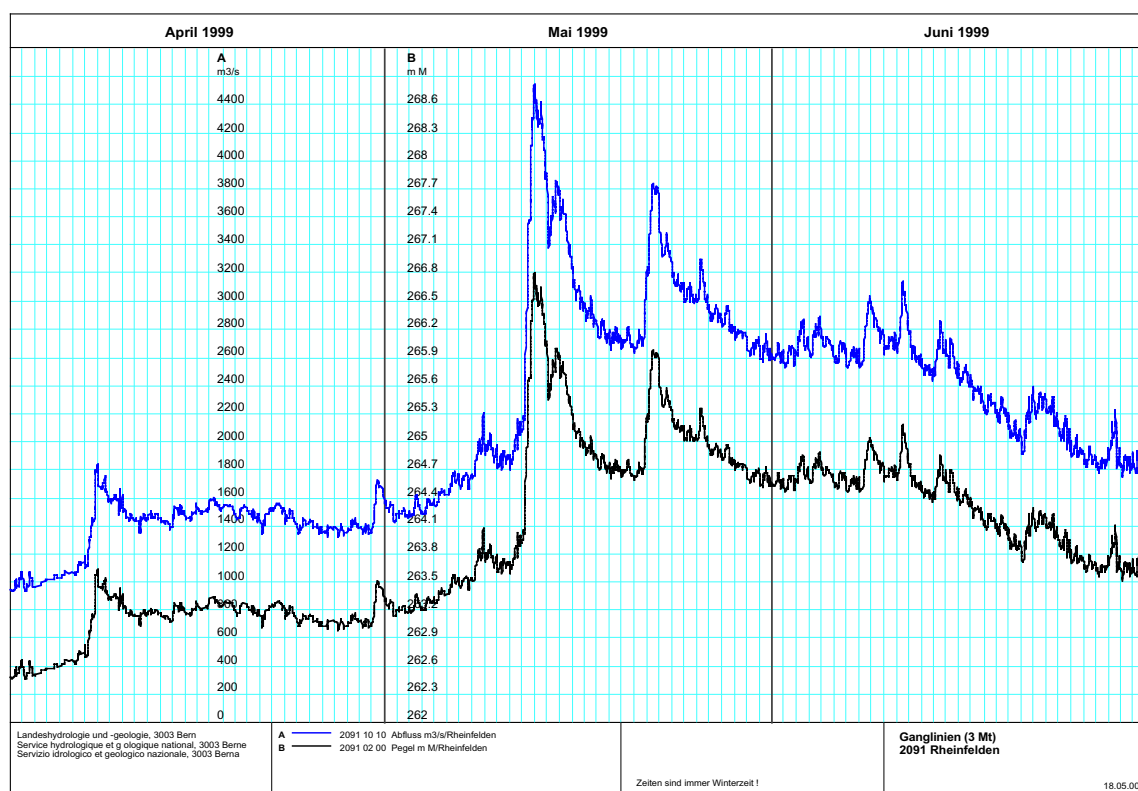


Abb. 20 Hochwassersituation am Rhein 1999: Beispiel, wie dem LHG-Personal die Daten nach dem Import in die Abfragezentrale zur Verfügung stehen.

Im Zusammenhang mit der Vermittlung und Verwendung dieser Rohdaten sind zwei grundsätzliche Probleme zu beachten, die bei der Berechnung der Abflüsse und speziell bei der automatischen Berechnung von Echtzeitwerten auftreten können: Erstens sind die sogenannten Pegel/Abflusskurven, welche die Beziehung zwischen Pegelstand und Abfluss festhalten, über die Zeit gesehen nicht konstant. Erosions- und Akkumulationsprozesse im Gerinne können gerade während Hochwasserereignissen bewirken, dass sich die Gerinnegeometrie und somit zwangsläufig auch diese P/Q-Kurven massiv ändern. Dass ein Hochwasser Geometrie und Kurve verändert hat, kann unter Umständen rasch festgestellt werden. Hingegen kann es Wochen oder

Monate dauern, bis die neue P/Q-Kurve in ihrer Form bestimmt werden kann, weil dazu durch Feldequipen mehrere Durchflussmessungen (z.B. Abfluss-Eichmessungen mit hydrometrischen Flügeln) bei verschiedenen Wasserständen (Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereich) ausgeführt werden müssen. Bei der Berechnung von Echtzeit-Abflüssen wird also immer das Risiko eingegangen, dass die angewendete P/Q-Kurve nicht mehr gültig ist.

Zweitens kann es wiederum speziell bei Hochwasser vorkommen, dass ein extrem hoher Pegelstand durch die aktuell gültige und in der Zentrale gespeicherte P/Q-Kurve nicht mehr abgedeckt wird. Dies ist während der Hochwasser vom Mai 1999 mehrere Male vorgekommen. Der Operateur muss dann in die Automation eingreifen und die P/Q-Kurven von Hand extrapolieren, was unter Umständen sehr anspruchsvoll sein kann und Kenntnisse der Gerinnegeometrie voraussetzt. Zur Zeit klärt die LHG ab, ob und wie die Abfragezentrale selbst Extrapolationen von P/Q-Kurven in einem solchen Fall vornehmen könnte.

Rasch vermittelte Werte müssen deshalb grundsätzlich als „provisorisch“ deklariert werden, zumal auch die Pegelstandswerte mit gewissen Fehlern behaftet sein können.

Nach den Mai-Hochwassern hat die LHG das Leistungsverhalten ihrer Abfragezentrale kritisch analysiert. Grundsätzlich wurde die Feuertaupe bestanden, es wurden jedoch auch Schwachstellen und Engpässe beim System selbst und bei der betrieblichen Organisation rund um das System lokalisiert. Soweit als möglich werden die daraus abgeleiteten Forderungen möglichst bald umgesetzt. Auch ist es weiterhin eines der Ziele der LHG, interne und externe Kunden möglichst rasch mit Daten zu versorgen, auch wenn es sich dabei um provisorische Werte handelt. Eine immer wichtigere Rolle als Datenvermittler wird dabei das Internet spielen. Neuigkeiten werden laufend auf der Website <http://www.bwg.admin.ch> bekanntgegeben.

5.2 Qualität der Messwerte

Im Anschluss an die Hochwasser von 1993, wo mehrere Messstationen zerstört worden sind, wurde das Messnetz gezielt besser gegen Hochwasser geschützt und die Messbereiche gegen oben wesentlich erweitert. Diese Investitionen und Vorkehrungen haben sich nun 1999 bereits ausbezahlt. Es waren sehr wenig Schäden zu verzeichnen und die meisten Hochwasserspitzen konnten an den Stationen an Fliessgewässern auch aufgezeichnet werden. Etwas anders präsentierte sich die Lage an den Seestationen, wo ganze Uferbereiche unter Wasser standen und deshalb kaum zugänglich waren oder wo längere Zeit die Stromzufuhr unterbrochen werden musste. Hier haben uns aber die lokalen Beobachter tatkräftig unterstützt, indem sie mit grossem persönlichem Einsatz, mit Booten oder hüfttief im kalten Wasser stehend, die jeweils aktuellen Messwerte eingeholt haben. Damit an stark betroffenen Stationen der Betrieb während des Hochwassers gewährleistet werden konnte, wurde seitens der LHG ein 24h-Pikettdienst kurzfristig organisiert.

Die extremen Hochwasser traten vor allem an Flüssen unterhalb von Seen auf. Dadurch wurde die Aufgabe der Hydrometrie für einmal erheblich erleichtert, denn die Hochwasserwellen traten über einen Zeitraum von mehreren Tagen oder Wochen auf und das Wasser war nur schwach mit Geschwemmsel belastet. Dies erlaubte die Durchführung einer ganzen Serie von sehr hohen Abflussmessungen, wie sie zuvor an vielen Orten noch nie durchgeführt werden konnten.



Abb. 21 Arbeiterschwernis für Pegelbeobachter und Unterhaltsequipen der LHG.

Bedingt durch die teilweise lange Dauer der Hochwasser sind aber auch unterhalb von Seen grosse Feststoffmengen verschoben worden. Dadurch haben sich Querprofile selbst bei langjährig stabilen Messstationen zum Teil erheblich verändert. Mit gezielten Abflussmessungen nach dem Hochwasser und der Erstellung neuer Pegelstand/Abfluss-Kurven wurde diesem Umstand gebührend Rechnung getragen. Besondere Probleme bereiteten die Wasserqualitäts-Messeinrichtungen (NADUF). Bei diesen Anlagen muss Wasser zur Beprobung dauernd in die Station gepumpt werden. Die meisten dieser Anlagen wurden durch die enormen Mengen von Sand und Geschiebe blockiert. Dadurch entstanden z.T. erhebliche Datenlücken.

Der folgende Überblick zeigt die Situation an den problematischen Standorten, wo Schwierigkeiten auftraten und z.T. auch Betriebsunterbrüche nicht zu verhindern waren:

- *Aare-Bern*: Oberhalb der Messstelle trat die Aare wiederholt über die Ufer (z. B. Belpmoos). Die Messstation selbst war nicht gefährdet. Die alte Einrichtung mit Limnigraph war über eine gewisse Zeit am Messbereichsende. Die neue zusätzliche Messeinrichtung mit Datenlogger funktionierte via Telefon aber die ganze Periode absolut einwandfrei. Erst bei einem Wasserstand von zusätzlichen 50 cm hätte die Stromzufuhr unterbrochen werden müssen (Kurzschlussgefahr). Mit sehr hohen Abflussmessungen konnte die Pegelstand/Abfluss-Beziehung im obersten Bereich bestätigt werden. Nachträglich stellte sich heraus, dass Erosion stattgefunden hatte, die eine Neueichung im Niedrigwasserbereich notwendig machte.
- *Aare-Brugg*: Die Station wurde komplett geflutet und stand zeitweise bis 50 cm im Wasser. Ein Stromunterbruch (Kurzschluss) setzte sie zeitweise ausser Betrieb. Die Hochwasserspitzen mussten rekonstruiert werden. Die Station wird in nächster Zeit umgebaut.
- *Aare-Hagneck*: Der Messbereich der Ultraschall-Geschwindigkeitsmessung wurde zeitweise überschritten und musste neu angepasst und die fehlenden Werte ergänzt werden.
- *Aare-Thun*: Die Messeinrichtung (Schwimmersystem) war überflutet und am Messbereichsende. Mangels Personal war hier keine Notlösung möglich. Der Umbau

auf eine hydrostatische Pegelmessung mit grösserem Messbereich ist unterdessen erfolgt. Die Spitzenwerte mussten durch Einzelbeobachtungen rekonstruiert werden.

- *Brienzersee - Ringgenberg*: Die Messeinrichtung (Schwimmersystem) war überflutet und am Messbereichsende. Die Ablesung erfolgte von Hand. Dank dem einwandfreien Funktionieren der nächst untenliegenden Messstation Ringgenberg/Goldswil, konnte der Seestand aber dauernd mittels eines Faktors berechnet werden.
- *Rhein-Neuhausen*: Obwohl ständig bis auf halbe Kabinenhöhe überflutet, konnte die Messstation funktionieren. Abflussmessungen zur Verifizierung der Pegelstand/Abfluss-Beziehung im sehr hohen Bereich wurden durchgeführt. Eine Verlegung der Messstation in einen hochwassersicheren Bereich ist bereits realisiert.
- *Rhein-Rekingen*: Die Messstation stand zeitweise im Wasser und wurde durch Holz, Geschiebe und Sand so stark beeinträchtigt, dass Messfehler bis zu 20 cm entstanden. Die Station wurde nun zusätzlich mit einer berührungslosen Pegelmessung (Radar) ausgerüstet, welche bei Hochwasser die Messung übernehmen wird.
- *Sarner Aa-Samen*: Der Messbereich der Anlage wurde erheblich überschritten. Die Sarner Aa trat über die Ufer. Die Spitzenwerte der Pegelstände mussten ergänzt und die zugehörigen Abflüsse extrapoliert werden.
- *Sihl-Zürich, Sihlhölzli*: Die Pegelstand/Abflusskurve wurde neu bestimmt und es zeigte sich, dass seit ca. 1970 tendenziell zu kleine Hochwasser ausgewiesen wurden, allerdings gilt das nur für HW ab ca. 130 m³/s. Der Spitzenabfluss von 1978 wird deshalb von alt 195 m³/s auf neu 240 m³/s erhöht. Die Abflussspitze von 1999 beträgt 250 m³/s.
- *Thunersee - Spiez*: Die Messeinrichtung war auf dem neuesten Stand und der Messbereich bereits genügend gross ausgebaut. Die Station selbst konnte aber nur durch Abschotten des Gebäudes und dank einer Notstromversorgung durch das KW-Spiez weiter funktionieren. Der Einsatz des zuständigen Personals war beispielhaft.
- *Thur-Andelfingen*: Die kürzlich vom Flussbau vorgenommenen Ausbaggerungen zusammen mit den Hochwassern 1999 haben zu einer generellen Absenkung der Pegelstand/Abflusskurve geführt. Dies bedingt über einen längeren Zeitraum hinweg die Beobachtung und Nacheichung der P/Q-Kurve.
- *Untersee – Berlingen*: Die Station war über längere Zeit ausser Betrieb, stand sie doch bis 1.20 m tief im Wasser. Trotzdem lieferte der Beobachter unter grossem persönlichem Einsatz weiterhin Pegelablesungen. Die Messung des Bodensees konnte mit der besser gelegenen Messstation in Romanshorn lückenlos sichergestellt werden.
- *Walensee – Murg*: Die Messeinrichtung (Schwimmersystem) war überflutet und am Messbereichsende. Der Umbau auf eine berührungslose Pegelmessung mit Radar und einem entsprechend grösseren Messbereich ist bereits erfolgt.

6. Tätigkeit des Vorhersagedienstes

Therese Bürgi

6.1 Allgemeines

Seit vielen Jahren erarbeitet die LHG operationelle Wasserstands- und Abflussvorhersagen für den Rhein bei Rheinfelden. Die in Form eines Vorhersagebulletins zusammengestellten Werte werden in der Regel an allen Arbeitstagen um 8.30 Uhr per Fax an die Abonnenten verschickt. Bei Hochwasser erhalten die Kunden je nach Bedarf auch mehrmals täglich und zusätzlich an Wochenenden und Feiertagen ein Vorhersagebulletin.

Die Vorhersagen der LHG basierten im Mai 1999 noch auf dem alten Modellansatz, in welchen die gemessenen 2-Stundenmittel von 13 Abflussmessstationen der LHG, die stündlichen Niederschlagssummen von ca. 40 Stationen der MeteoSchweiz sowie eigens für die LHG erstellte Niederschlags- und Temperaturvorhersagen eingehen. Für den Niederschlag kann das Modell entsprechend der Jahreszeit je nach Lufttemperatur zwischen Regen und Schneefall unterscheiden und generiert so das Wachstum und das Abschmelzen der Schneedecke. Der Abfluss wird im Stundenschritt für die verschiedenen Teileinzugsgebiete berechnet und bis Rheinfelden zeitabhängig zusammengefügt. Die langjährige Erfahrung zeigt, dass eine präzise Vorhersage nicht nur von einem guten hydrologischen Modell abhängig ist, sondern sehr stark von den meteorologischen Vorhersagen geprägt wird. Insbesondere spielt die zeitliche wie auch örtliche Verteilung der Niederschläge eine grosse Rolle.

6.2 Vorhersagen für das Einzugsgebiet des Rheins

Die Vorhersagen Rhein – Rheinfelden

Während des Hochwassers im Mai 1999 wurden vom 11. bis zum 31. Mai 1999 insgesamt 37 Vorhersagen für das Rheingebiet erarbeitet. Der 12. Mai, der Tag mit dem stärksten Anstieg des Wasserstandes, ist dabei mit 9 erarbeiteten Vorhersagen der Spitzenreiter. Um den Anstieg genau verfolgen und um den Scheitelpunkt des Hochwasserabflusses möglichst früh präzise vorhersagen zu können, wurden alle 2 Stunden mit den aktuellsten Niederschlags- und Abflussmesswerten die neusten Trends berechnet. An den folgenden zwei Tagen und für die 2. Phase des Hochwassers zwischen dem 19. und 22. Mai 1999 genügten 3 bis 4 Vorhersagebulletins, um die Bedürfnisse der Kunden abzudecken. Ab dem 23. Mai konnte dank der Beruhigung der Wetterlage, jedoch bei hohem Wasserstand im Rhein, wieder zum Normalbetrieb von einer Vorhersage pro Tag übergegangen werden.

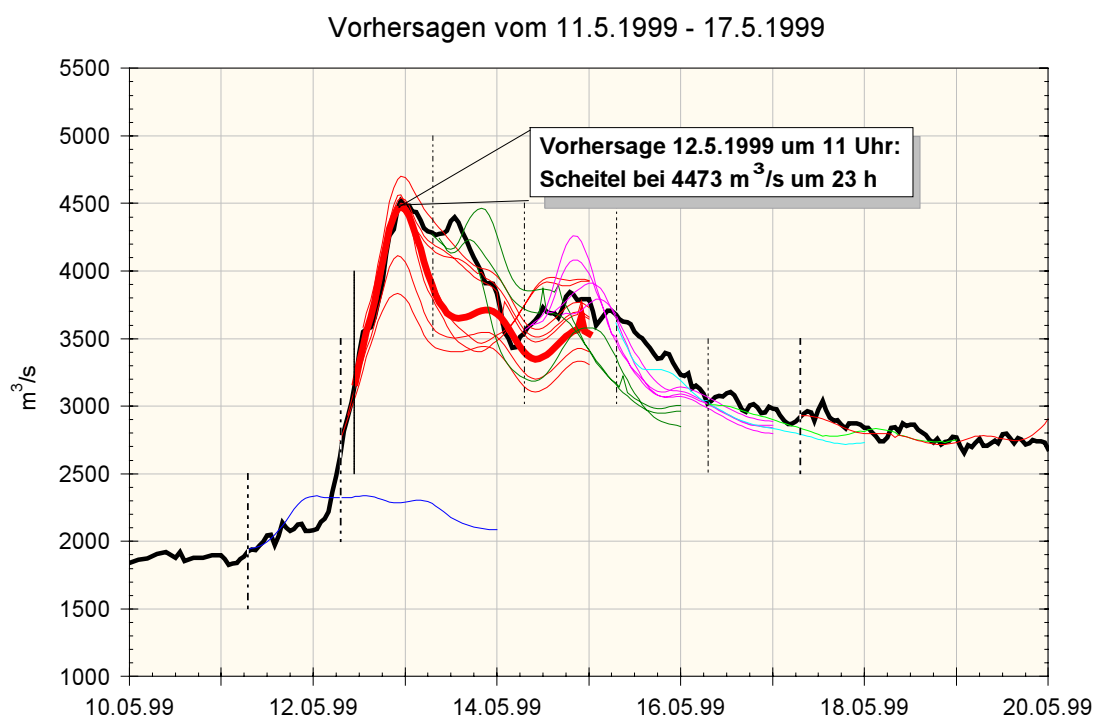


Abb. 22 Vergleich der Vorhersage- mit den gemessenen Abflusswerten vom 11.-17.5.99. Die schwarze Linie zeigt den gemessenen Abfluss, die farbigen Linien die Vorhersagen, wobei jeweils eine Farbe pro Tag gewählt wurde.

An Hand der Abb. 22 werden im Folgenden die Vorhersagen der Hochwasserphase zwischen dem 11. und dem 17. Mai 1999 diskutiert. Auffällig ist sicher die Vorhersage vom 11.5.1999. Aufgrund der vorhergesagten Temperaturen und Niederschlagsmengen berechnete das hydrologische Modell einen maximalen Abfluss von rund 2324 m^3/s bzw. einen maximalen Wasserstand von 264.25 m. ü.M. Da die effektiv gefallene Niederschlagsmenge jedoch wesentlich höher war, wurde der Abfluss für den 12.5.99 06 Uhr um ca. 300 m^3/s und für 23 Uhr um ca. 2200 m^3/s unterschätzt. Der weitere Verlauf des steilen und raschen Anstieges konnte mit den Vorhersagen im Laufe des 12. Mai immer präziser vorhergesagt werden. Der Grund liegt darin, dass mit einer Umstellung auf ein 2-stündiges Berechnungsintervall die jeweils aktuellsten Abfluss- und Niederschlagsmesswerte ins Modell einfließen und die Niederschlagsvorhersagen bei der MeteoSchweiz laufend an die herrschende Wettersituation angepasst wurden. Damit konnte der Zeitpunkt, wie auch die Höhe des Hochwasserscheitels mit der Vorhersage von 11 Uhr präzise bestimmt werden. Die Berechnungen des frühen Morgens (Messwerte bis 06 Uhr), basierend auf den zu diesem Zeitpunkt bekannten meteorologischen Grössen, war nämlich nur in der Lage, den Zeitpunkt des Scheitels ziemlich genau vorherzusagen. Alle Berechnungen nach 11 Uhr bestätigten dann sowohl den Zeitpunkt wie auch die Scheitelhöhe.

Güte der Abflussvorhersage während des Hochwassers

Seit Beginn der operationellen Vorhersageberechnungen werden täglich das gemessene und drei vorhergesagte Abflusstagesmittel archiviert und statistisch ausgewertet. Bei den vorhergesagten Tagesmitteln handelt es sich um die Vorhersage für den Ausgabetag (Tag 0), jene für den nächsten (Tag 1) und jene für den übernächsten Tag (Tag 2). Die langjährigen Auswertungen zeigen, dass der Fehler für den Tag 0

unter 10 % liegt, jener für den Tag 1 und den Tag 2 jedoch deutlich grösser ist (Schädler, 1993). Wird nun dieselbe statistische Auswertung nur für die Vorhersagewerte von 8.30 Uhr (Ausgabezeitpunkt des ordentlichen Betriebs) des Monats Mai 1999 angewendet, so zeigt sich, dass die Resultate innerhalb der Werte der langjährigen Statistik liegen. Die beiden Tabellen Tab. 6 und Tab. 7 verdeutlichen dies an Hand einiger statistischer Kennwerte. Für den Tag 0 liegt der Streubereich zwischen $-325 \text{ m}^3/\text{s}$ und $+166 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Standardabweichung beträgt $77.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Damit liegt der Fehler aller 28 Tage für den jeweiligen Ausgabetag unterhalb von 10 %. Auch für den Tag 1 liegen immer noch 86 % der Vorhersagewerte unterhalb der Fehlerschwelle von 10 %.

Tab. 6 Statistische Kennwerte der Vorhersagen des Monats Mai 1999: Vorhersagefehler basierend auf den Tagesmittelwerten der Abflüsse des Rheins bei Rheinfelden .

	Abweichung vom gemessenen Wert in $[\text{m}^3/\text{s}]$			Abweichung vom gemessenen Wert in [%]		
	Tag 0	Tag 1	Tag 2	Tag 0	Tag 1	Tag 2
Grösste negative Abweichung	-325	-1175	-2017	-9	-34	-48
Mittel	13	-39	-147	0	-1	-4
Grösste positive Abweichung	166	302	328	5	11	12
Standardabweichung	77.8	281.3	488.1	2.3	8.1	13.2

Tab. 7 Fehlerbereiche der Vorhersagen des Monats Mai 1999: Absolute und prozentuale Verteilung der ausgegebenen Prognosen pro Fehlerbereich (Stichprobenmenge: 31 Tagesmittel für den Abfluss des Rheins bei Rheinfelden).

Fehlerbereich	Anzahl Tage			% der Tage		
	Tag 0	Tag 1	Tag 2	Tag 0	Tag 1	Tag 2
< 2 %	20	12	10	74	50	43
<10 %	28	24	22	100	86	76
>10 %	---	4	6	---	14	21

Sowohl die grafische Darstellung aller berechneten Vorhersagen (Abb. 22) wie auch die statistischen Auswertungen verdeutlichen die generell gute Qualität der Vorhersagen für den Rhein bei Rheinfelden während des Hochwassers im Mai.

Vorhersagen für verschiedene Teileinzugsgebiete des Rheins

Das hydrologische Vorhersagemodell der Landeshydrologie und -geologie ist in erster Linie für die Hochwasservorhersage des Rheins bei Rheinfelden konzipiert. Sein modularer Aufbau erlaubt es jedoch, auch Vorhersagen für die Teileinzugsgebiete der Aare, der Reuss, der Limmat und der Thur zu berechnen. Trotz einiger Unsicherheitsfaktoren, mit welchen die Modelle dieser Einzugsgebiete behaftet sind, geben ihre Vorhersagebulletins in Hochwasserfällen wichtige Hinweise für den Verlauf des Abflusses und dienen daher vielen Behörden als Grundlage für die Planung der Hochwasserschutz-Massnahmen. Deshalb wurden während des Hochwassers zusätzlich zu den Vorhersagen des Rheins bei Rheinfelden auch solche für die Stationen Rhein-

Rekingen, Thur-Andelfingen, Limmat-Baden, Reuss-Mellingen, Aare-Murgenthal sowie Aare-Brugg berechnet und als Bulletin an die betroffenen Behörden der Kantone Aargau, Thurgau und Zürich versandt.

6.3 Probleme bei der Erstellung von Abflussvorhersagen während eines extremen Hochwassers

Einige kleinere Mängel und Schwachstellen im hydrologischen Modell der LHG sind bekannt. Das extreme Hochwasser 1999 deckte jedoch auch noch weitere Probleme auf, mit welchen sicher auch in Zukunft zu rechnen ist. Zwei Hauptprobleme sollen hier diskutiert werden: die künstliche Regulierung des Abflusses aus dem Bielersee und die Ausuferung der Fliessgewässer.

Seeregulierung:

Im Normalfall wird der Abfluss aus dem Bielersee gemäss dem offiziellen Regulierschema für den Bielersee gesteuert. Dem Niederschlag-Abfluss-Modell für das Einzugsgebiet der Aare-Murgenthal kann eine Veränderung des Abflusses gemäss diesem Regulierschema eingegeben werden. Während des Hochwassers im Mai/Juni 1999 wurde nun von diesem Regulierschema abgewichen, um den Abfluss des Sees zeitlich mit dem Zufluss der Aare in den See und dem Zufluss der Emme in die Aare so zu steuern, dass die überschwemmten Gebiete im ganzen Einzugsgebiet der Aare möglichst kleinflächig blieben. Um dennoch präzise Vorhersagen berechnen zu können, war das Vorhersageteam der LHG auf eine enge Zusammenarbeit mit den betroffenen Behörden angewiesen. Da es sich um eine Extremsituation handelte, mussten die notwendigen Kommunikationswege zwischen den Beteiligten neu aufgebaut werden, damit die ausgehandelten Pläne der Seeregulierung unverzüglich dem Vorhersageteam der LHG mitgeteilt werden konnten. Dieses berücksichtigte die Absichten der kantonalen Behörden bei seiner Berechnung der nächsten Vorhersage.

Ausuferung:

Ein weiterer Aspekt, welcher im Niederschlag-Abfluss-Modell nicht eingeplant werden kann, ist jener der Ausuferung. Sobald ein Fluss über die Ufer tritt, werden die Abflussspitzen gebrochen, die Hochwasserwellen abgeflacht und die vorher berechneten Vorhersagen können nicht mehr stimmen. Dies geschah, als am 14. Mai 1999 die Reuss bei Mellingen (Fischerhüsi) über die Ufer trat. Solange Ausuferungen stattfanden, überschätzte das Modell den Abfluss an der Station Reuss-Mellingen. Daher wurden am 14.5.1999 die Vorhersagebulletins für diese Stelle mit dem Vermerk „Modellprobleme in Folge Ausuferung“ versehen.

Das Hochwasser 1999 hat unter anderem gezeigt, dass allein auf Modelle gestützte Vorhersagen den Leuten des Hochwasserschutzes nur bis zu einem gewissen Grad ausreichende Informationen bieten. Eine Diskussion zwischen dem Vorhersageteam und den direkt Betroffenen ist unumgänglich, da einerseits das Vorhersageteam das Verhalten der Modelle bei extremen Situationen kennt und bei der Interpretation der Modellresultate den Betroffenen wichtige Hinweise geben kann. Andererseits erfährt das Vorhersageteam oftmals nur von den Betroffenen, wie die Situation vor Ort effektiv aussieht. Soweit es möglich ist, sollten die Resultate dieser gemeinsamen Diskussion bei der Erstellung der nächsten Vorhersage berücksichtigt werden können, und sei es auch nur in Form einer Anmerkung auf dem Bulletin der nächsten Vorhersage.

6.4 Beratung und Information

Kunden

Zu unseren langjährigen Kunden gehören diverse Kraftwerke entlang des Rheins, die Rheinschifffahrt und verschiedene Vorhersagezentren flussabwärts in Frankreich und Deutschland. Sie erhalten die täglich erarbeiteten Vorhersagebulletins. Im Hochwasserfall vergrössert sich der Kundenkreis um die lokalen und kantonalen Einheiten des Katastrophenschutzes in den Kantonen Aargau, Thurgau und Basel sowie um weitere Kraftwerke an den Zuflüssen zum Rhein. Diese erhalten jeweils die Vorhersagebulletins der vom Hochwasser betroffenen Einzugsgebiete. Auch diese Bulletins werden in denselben Intervalls wie jene von Rhein-Rheinfeldern erstellt und verteilt. Zusätzlich zu den versendeten Bulletins werden in vielen Fällen die Behörden direkt telefonisch beraten. Beides ist ein wichtiger Teil für die Planung der Hochwasserschutz-Massnahmen.

Während des Hochwassers im Mai vergrösserte sich der Kreis der interessierten Personen entsprechend den vom Hochwasser betroffenen Regionen der Schweiz. Institutionen, Behörden sowie die Medien verlangten die Vorhersagen der Wasserstände in den Schweizerflüssen.

Weitere Beratungstätigkeit

Nicht nur für die direkt an den Flussläufen gelegenen Regionen erstellte die LHG Vorhersagen. Die aussergewöhnlich hohen Pegelstände vieler Seen weckte auch in diesen Gebieten das Bedürfnis, den Verlauf der Seestände der nahen Zukunft zu kennen. Die LHG wurde deshalb verschiedentlich angefragt, ob sie in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen spezielle Vorhersagen für den Thuner-, Vierwaldstätter- und Bodensee sowie die Zuflüsse des Walen- und Zürichsees erarbeiten und die betreffenden Behörden beraten würde. Mit einfachen und speziell auf diese Bedürfnisse zugeschnittenen Berechnungen, wurde in der Folge diesem Wunsch nachgekommen. Die Resultate wurden telefonisch oder als Fax-Bulletin an die Kunden weitergeleitet. Am Beispiel des Bodensees wird nachstehend gezeigt, wie solche spezielle Vorhersagen aussahen. Gleichzeitig wird damit die Bedeutung der internationalen Zusammenarbeit illustriert.

Zwischen dem 4. und dem 24. Juni 1999 erarbeitete die LHG in Zusammenarbeit mit der MeteoSchweiz, dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos, der Hochwasservorhersagezentrale Karlsruhe und dem Hydrographischen Dienst Vorarlberg ein Vorhersage-Bulletin für den Wasserstand des Bodensees für die kommenden drei Tage. Das Bulletin stand im Internet allen interessierten Personen unentgeltlich zur Verfügung. Die Vorhersagen beruhten auf den Messungen der Zuflüsse in den See, einer Abschätzung des Anteils des schmelzenden Schnees und auf der gemessenen sowie der vorhergesagten Niederschlagsmenge. Das Bulletin enthielt je einen kurzen Text zu den Wetteraussichten, zur Lage der Schneegrenze und der Entwicklung der Schneeschmelze. Die Abschätzungen der Zuflüsse und die Entwicklung des Wasserstandes des Bodensees wurden mit einem Kurztext erläutert. Mit einer Tabelle wurden für den Pegel Romanshorn die vorhergesagten Wasserstände als Bereich mit einer unteren und oberen Grenze konkretisiert. Ein Beispiel eines Vorhersage-Bulletins findet sich im Anhang 4. Die Abb. 23 zeigt eine Zusammenstellung über die gemessenen und die von der LHG vorhergesagten Wasserstände.

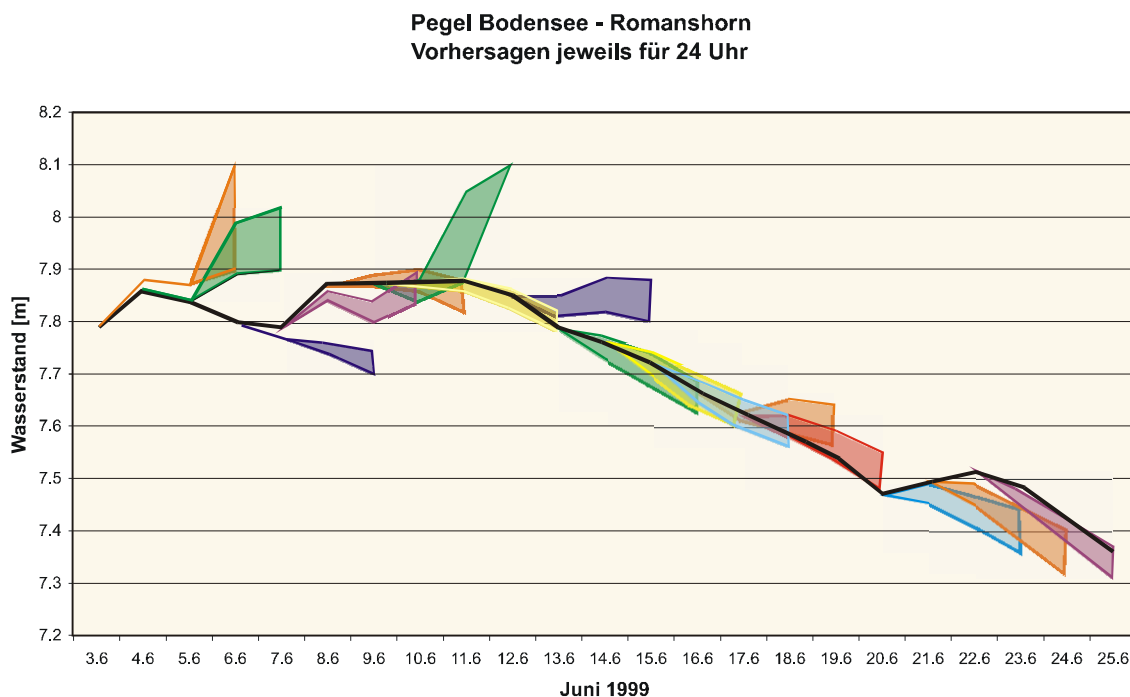


Abb. 23 Vorhersagen für den Bodensee bei Romanshorn.

Umgang mit den Medien

Mit diesem aussergewöhnlichen Ereignis ist die LHG als Fachstelle, jedoch insbesondere auch das Vorhersageteam, mit neuen Aufgaben im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit konfrontiert worden. Bis zu diesem Grossereignis wurde von Seiten des Vorhersageteams vor allem Kundenberatung betrieben. Bis anhin war es eher selten, dass Auskünfte an Medien erteilt werden mussten, da diese in den meisten Fällen ihre Wünsche an den Informationsdienst der LHG richteten. Sie erkundigten sich dort in der Regel nach gemessenen und allenfalls nach vorhergesagten Wasserständen. Mit dem Hochwasser im Mai stieg jedoch auch bei den Medien das Interesse daran, wie solche Abflussvorhersagen erstellt werden. Da diese Art von Informationsabgabe und vor allem die grosse Zahl von Anfragen in kürzester Zeit für das Vorhersageteam neu waren, musste gerade der Umgang mit den verschiedenen Medien (Radiointerviews, Fernsehauftritte, Interviews am Telefon) am Ereignis selbst geübt werden.

Organisatorisch ist daher das Vorhersageteam an seine Grenzen der Kapazität gestossen. Die Teamgrösse von drei Personen, im Normalfall ausreichend, ist während eines Ereignisses, wie es das Hochwasser Mai /Juni 1999 war, eher zu klein. Musste doch dieselbe Person oftmals gleichzeitig die neusten Vorhersagen berechnen und Auskünfte erteilen. Eigentlich könnten diese beiden Aufgaben von verschiedenen Personen erfüllt werden. Wir stellten jedoch fest, dass gerade jene Person, welche die Vorhersagen berechnet, am besten in der Lage ist, Auskünfte zu erteilen und zu beraten. Sie besitzt im Moment den umfassendsten Wissensstand über die Situation.

6.5 Ausblick

Noch dieses Jahr wurde – wie schon lange geplant - ein neues Vorhersageverfahren eingeführt (Schädler, 1999). Das Verfahren ist sowohl von der Daten- wie auch von der Modellseite her völlig neu konzipiert. In die Berechnungen des neuen Modells fließen automatisch abgefragte Abflusswerte von über 30 Stationen und die meteorologischen Messwerte (Niederschlag, Temperatur) von ca. 80 Regenmessstationen ein. Für die meteorologischen Vorhersagen werden nicht mehr speziell für die LHG konzipierte Vorhersagen verwendet, sondern das System rechnet normalerweise mit den numerischen Vorhersagen des sogenannten Schweizmodells der MeteoSchweiz. Gleichzeitig mit der Verfeinerung der Eingabedaten wurde auch das Einzugsgebiet des Rheins in kleinere Teileinzugsgebiete unterteilt. Wurden im alten Modell Berechnungen für 13 Gebiete erstellt, so sind es heute an die 50 kleine Einzugsgebiete. Zusätzlich wurde auf ein völlig anderes hydrologisches Modell umgestellt. Hier wird nun das in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich weiterentwickelte konzeptionelle Niederschlags-Abfluss-Modell HBV von Bergström (1976) eingesetzt. Das Vorhersagebulletin wird heute nicht mehr nur als Fax an die Abonnenten verschickt, sondern steht ebenso digital aufbereitet und abrufbar bereit (Beispiel im Anhang 5).

Dank all diesen Verbesserungen erhofft sich die LHG, dass einige Probleme bei der Abflussberechnung von Teileinzugsgebieten wegfallen werden. Jene der Seeregulierung und der Ausuferung können jedoch auch in Zukunft nicht vollumfänglich mit dem neuen Modell beseitigt werden. Eine enge Zusammenarbeit mit internationalen und nationalen Fachstellen und Behörden bleibt daher unumgänglich.

7. Statistische Einordnung

7.1 Allgemeines

Die LHG hat 1986 begonnen, die Daten des Abflussmessnetzes hinsichtlich der jährlichen Spitzenabflüsse systematisch statistisch auszuwerten und die Resultate in ihrer Reihe „Hydrologische Mitteilungen“ zu veröffentlichen. Auf den ersten Band folgten weitere drei, welche schliesslich nicht nur das eigene, sondern auch die damals bestehenden kantonalen Messnetze praktisch vollständig abdeckten (Spreafico und Stadler, 1986/88; Spreafico und Aschwanden, 1991). Für Messstationen mit über 30-jähriger Beobachtungsdauer erfolgte die Berechnung auf den Stand von 1984, für kürzere Messreihen auf 1988. Nachberechnungen einzelner Stationen erfolgten meist im Anschluss an grosse Hochwasser (1987, 1993 und 1994), für alle Stationen letztmals mit Stand 1990 für das Blatt 5.6 des Hydrologischen Atlases (Aschwanden und Spreafico, 1995).

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den bisherigen Arbeiten hält sich die LHG an die „Empfehlungen zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ (DVWK, 1976), wenngleich in der Zwischenzeit diesbezüglich der Entwurf einer neueren Fassung vorliegt (DVWK, 1998). Die Analyse umfasst die deskriptive Statistik der Hochwassermessreihe mit allen notwendigen Kenngrössen für die Anpassung einer Verteilungsfunktion (je nach Parameterausprägung log-Pearson-III, Pearson-III oder Gamma) und die Berechnung der Hochwasserspitzenwerte für verschiedene Jährlichkeiten ($T = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$ und 1000 Jahre). Die Ausgabe der Resultate erfolgt in Form eines Resultatblattes (siehe Anhang 6) sowie zwei Graphiken. Diese stellen die Messreihe der jährlichen Hochwasserspitzenwerte als Balkendiagramm sowie die Hochwasserwahrscheinlichkeiten mit eingetragener Verteilungsfunktion und den Messwerten dar (vgl. Abb. 24).

Um dem Bedarf der raschen Verfügbarkeit statistischer Analysen nachzukommen, hat die LHG die Berechnung von statistischen Hochwasserdaten auf eine andere Basis gestellt. Die neue Lösung - als Datenbank konzipiert - ermöglicht das Speichern und Verwalten von jährlichen Hochwasserspitzenwerten, das Auswählen beliebiger Untersuchungsperioden sowie die Durchführung der statistischen Analyse. Die statistischen Kenngrössen werden in die Datenbank zurückgeschrieben und stehen für weitergehende Untersuchungen zur Verfügung. Die Konzeption der Datenbank sieht vor, dass provisorische Werte in die Berechnungen einfließen können, so dass nach Hochwasserereignissen in kurzer Zeit eine Aktualisierung der statistischen Kennwerte erfolgen kann (Aschwanden, 1999).

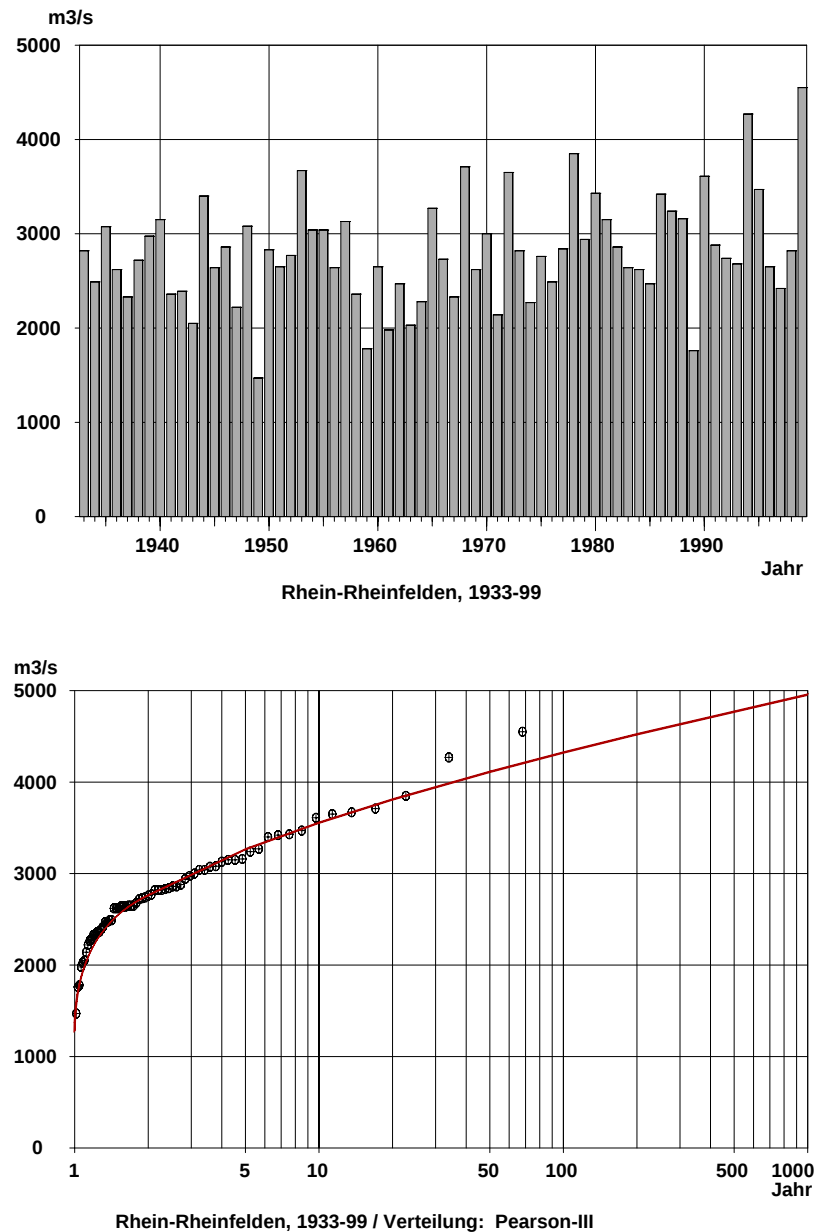


Abb. 24 Rhein-Basel 1869-1999: jährliche Abflusshöchstwerte und Frequenzdiagramm

7.2 Fließgewässer

Auf der bestehenden Datengrundlage mit den provisorischen Werten von 1999 wurde für alle betroffenen Stationen die Hochwasserstatistik mit dem in der LHG üblichen Verfahren (DVWK, 1976) nachgeführt. Die Abb. 25 zeigt einen Überblick der für die einzelnen Stationen berechneten Wiederkehrperioden. Auch wenn bei der Interpretation der Resultate wegen der Länge der zur Verfügung stehenden Messreihen eine gewisse Vorsicht angezeigt ist, liefert die Darstellung dennoch ein verlässliches Bild, wie häufig mit einer vergleichbaren Situation gerechnet werden muss.

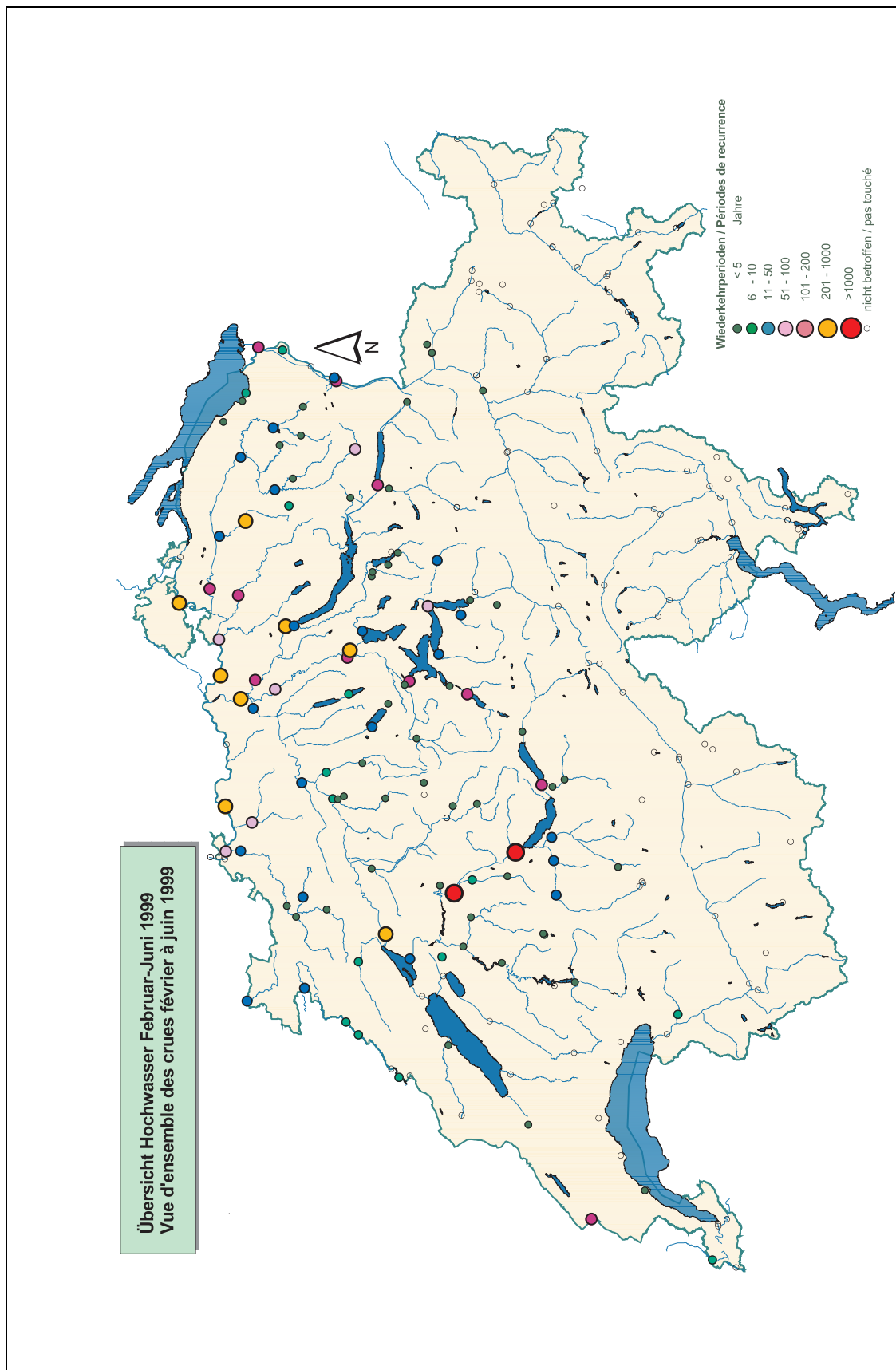


Abb. 25 Übersicht der für die betroffenen Stationen berechneten Wiederkehrperioden.

Es fällt auf, dass die hohen Wiederkehrperioden vor allem am Mittel- und Unterlauf der grossen Flüsse aufgetreten sind; allen voran an der Aare, wo ja in Thun und Bern die bisherigen Abflussspitzenwerte um mehr als 35% übertroffen worden sind. Die berechneten Wiederkehrperioden von mehr als tausend Jahren widerspiegeln diese starke Abweichung vom bisherigen Rekordwert. Interessant ist weiter und besonders gut im Thurgau zu erkennen, dass die Zuflüsse deutlich tiefere Wiederkehrperioden aufweisen und dass erst deren Überlagerung und Zusammentreffen im Hauptfluss zur grossen Seltenheit führt. Diese Beobachtung ist mit dem Auffahrts-Niederschlagsereignis zu erklären, das sich nicht durch hohe Intensitäten sondern durch die Dauer auszeichnete. Schliesslich kann noch festgestellt werden, dass die hohen Wiederkehrperioden fast durchwegs unterhalb der Seen aufgetreten sind. Da auch hier die Zuflüsse alle deutlich tiefere Wiederkehrperioden ausweisen, kann die Erklärung nur in der Dauer und damit dem Volumen liegen. Durch die Überlagerung der intensiven Schneeschmelze mit einem andauernden Niederschlag sind den Alpenrandseen konzentriert auf wenige Tage enorme Wassermassen zugeflossen (vgl. Tab. 8). Da der Seeausfluss bei geöffneten Schleusen vollständig von der Höhe des Seespiegels abhängt, sind die hohen Wiederkehrperioden ein direktes Abbild der übervollen Seen.

Tab. 8 Gesamtzufuss zu den Seen: Abflusshöhen bezogen auf die jeweilige Seefläche.

Name	Fläche [km ²]	Auffahrtseignis [cm]	Pfingstereignis [cm]	Monat Mai [cm]
Brienzersee	29.8	388 (11.-15.5)	160 (20.-22.5.)	1668
Thunersee	48.4	477 (11.-15.5)	210 (20.-22.5.)	2074
Vierwaldstättersee	113.6	241 (10.-15.5.)	147 (19.-22.5.)	883
Walensee	24.2	540 (11.-15.5.)	448 (20.-23.5.)	2302
Bodensee (Obersee)	541.2	118 (10.-13.5.)	104 (20.-22.5.)	597

Im Anhang 7 befindet sich eine Tabelle mit den aktualisierten statistischen Masszahlen all jener Messstationen der LHG, bei denen das Hochwasser von 1999 mindestens den Rang 5 einnimmt. Dazu gehören auch Schätzwerte für Hochwasser mit einer bestimmten Wiederkehrperiode HQ_x ($x=5,10,50,100$ und 200 Jahre). Für ausgesuchte Stationen mit einem neuen gemessenen Spitzenabfluss sind auch die Messreihen als Balkengrafik und das Frequenzdiagramm ausgewiesen (Anhang 10).

Im Zusammenhang mit der Nachführung der Hochwasserstatistik und aufgrund einer Kundenanfrage wurden die Werte der Station Linth-Weesen, Gäsi überprüft. Für die Jahre 1953 und 1954 werden im Datenbestand der LHG zwei Extremhochwasser ausgewiesen, die sich zwar mit Pegelständen von 10.10 m (1953) und 10.14 m (1954) nur unwesentlich unterscheiden, denen aber mit 340 m³/s (1953) und 430 m³/s (1954) stark unterschiedliche Abflüsse zugeordnet sind. Die Analyse der Daten hat nun gezeigt, dass zwischen 1953 und 1954 eine erhebliche Modifizierung der P/Q-Kurve im Hochwasserbereich vorgenommen worden ist, welche aus heutiger Sicht nicht mehr plausibel erscheint. Aufgrund durchgeführter Abflussmessungen und der Beurteilung des Messquerschnittes müssen die höchsten beobachteten Werte wie folgt korrigiert werden:

Jahr	Pegel [m]	Abfluss Jahrbuch [m ³ /s]	Abfluss neu [m ³ /s]
1910	10.14	430	400
1922	9.69	300	315
1939	9.68	295	315
1953	10.10	340	390
1954	10.14	430	400

Die Aussagekraft der Wiederkehrperiode hängt stark von der Länge der zur Verfügung stehenden Messreihe ab. Vor allem grosse Hochwasserereignisse verändern die statistischen Masszahlen stark und sollten Anlass sein, neue Schätzwerte für HQx zu berechnen. Um zu untersuchen, wie sich HQx-Werte im Verlaufe der Zeit ändern, wurde für ausgesuchte Fliessgewässer die Messreihe 1920-1999 genauer analysiert. Ausgehend von den Werten von 1920-60 wurden die HQx-Werte erstmals und danach sukzessive für jedes zusätzliche Jahr neu berechnet und aufgezeichnet. Zusammen mit den Jahreshöchstwerten entsteht eine Grafik, die zeigt, wie sich HQx-Werte in Abhängigkeit der jährlichen Spitzenabflüsse sowie der Messdauer verändern. In Abb. 26 ist das Beispiel der Aare-Brugg dargestellt; weitere finden sich im Anhang 8. Es ist zu erkennen, dass sämtlich HQx-Werte seit 1960 grösser geworden sind, meist im Umfang von 10-15%. Diese Zunahme erfolgt einerseits in Sprüngen nach grossen Hochwasserereignissen (z.B. 1968, 1972, 1999) andererseits aber auch kontinuierlich wie zwischen 1977-88, als in diesem Zeitraum im Vergleich zur übrigen Periode von 1960-99 relativ hohe jährliche Spitzenabflüsse mit einer kleiner Variationsbreite registriert wurden. Ändert sich die Variationsbreite gegenüber der Gesamtreihe nicht oder nur wenig, verharren die HQx-Werte auf gleichem Niveau oder gehen sogar leicht zurück (1960-67, 1989-93). Der Trend in den HQx-Werten hat für die Station Aare-Brugg zur Folge, dass ein Abfluss der Grössenordnung von 1300 m³/s 1960 noch als 1000-jährliches Hochwasserereignis galt, 1999 aber nur noch als ein 100-jährliches.

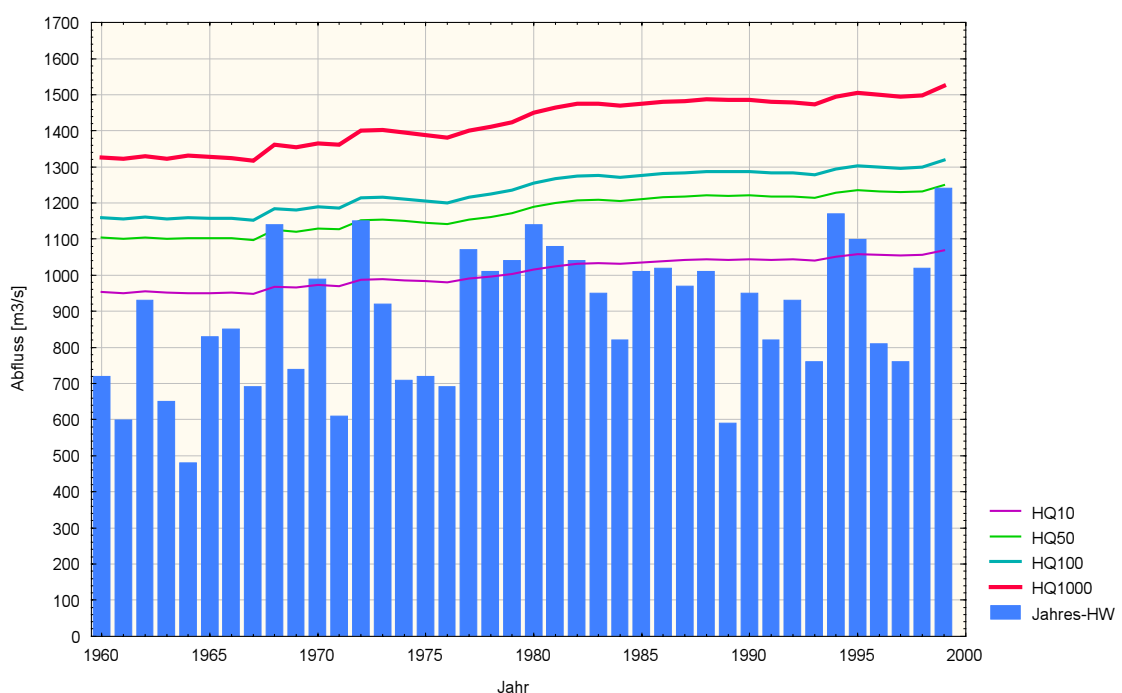


Abb. 26 Aare-Brugg: Entwicklung der Hochwasser mit einer bestimmten Wiederkehrperiode HQx (x=10,50,100 und 1000 Jahre).

Im Rahmen der Beschreibung der Hochwasser 1999 wurde diese Analyse für vorerst 8 Stationen durchgeführt (vgl. Tab. 9). Es zeigt sich, dass die Zunahme der HQx-Werte bei 6 der 8 Stationen festzustellen ist, auch die Grössenordnung von 10-15% im Zeitraum 1960-99. Die Ausprägung der Zunahme über die vergangenen 40 Jahre ist allerdings unterschiedlich. Bei allen Stationen hat das Ereignis von 1999 jedoch zu einem markanten Anstieg der HQx-Werte geführt (vgl. Abb. 27). Auch insgesamt fallende Tendenz kann festgestellt werden; ausgeprägt bei der Limmat-Baden. Durch das Fehlen

„mittlerer Hochwasser“ infolge Kraftwerkeinfluss und Seeregulierung wirken sich allerdings grosse Hochwasser (1978, 1999) jeweils sehr stark auf die HQx-Werte aus.

Tab. 9 Entwicklung der Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 50, 100 und 1000 Jahre zwischen 1960 und 1999.

Name	HQ50 [m ³ /s]			HQ100 [m ³ /s]			HQ1000 [m ³ /s]		
	1960	1999	Δ	1960	1999	Δ	1960	1999	Δ
Rhein-Neuhausen	1070	1067	-3	1122	1121	-1	1277	1282	5
Thur-Andelfingen	848	980	132	899	1048	149	1052	1253	201
Rhein-Basel	3851	4332	481	4022	4578	600	4528	5327	799
Aare-Bern	437	481	44	451	505	54	491	579	88
Aare-Brugg	1104	1250	146	1160	1319	159	1326	1524	198
Lorze-Frauenthal	26	31	5	27	33	6	32	39	7
Reuss-Mellingen	630	725	95	656	767	101	732	901	169
Limmat-Baden	607	572	-35	666	621	-45	885	792	-93

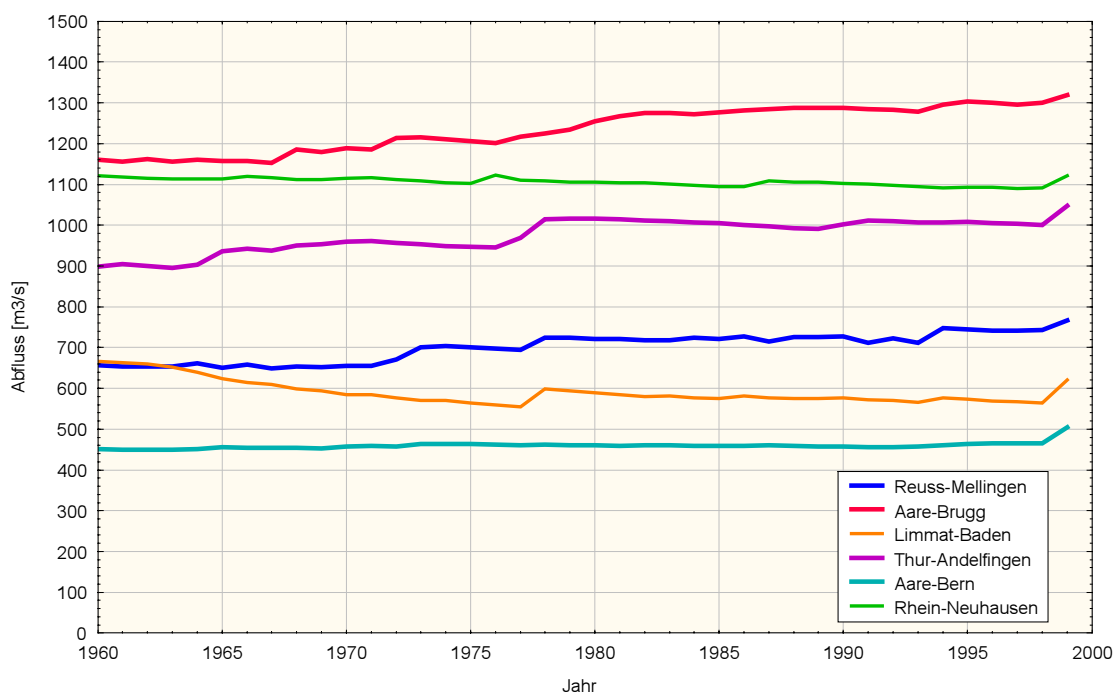


Abb. 27 Entwicklung der Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren zwischen 1960 und 1999.

Die Zunahme der HQx-Werte ist im Ausmass erstaunlich und es ergibt sich hier ein Erklärungsbedarf. Frei und Schär (1999) haben in einer neuen Arbeit eine Zunahme der intensiven Niederschläge in der Schweiz nachgewiesen. Inwieweit die Zunahme der HQx-Werte damit auch erklärt werden kann, muss im Moment noch offen bleiben.

Es stellt sich natürlich auch die Frage, ob die Hochwasser häufiger auftreten. Die LHG hat erstmals für das Blatt 5.6 des Hydrologischen Atlases HADES (Aschwanden und Spreafico, 1995) von einigen ausgewählten Stationen eine Schwellenwertstatistik veröffentlicht (Stand 1990). Für eine solche Statistik werden alle Hochwasser über einem bestimmten Schwellenwert betrachtet. Im Rahmen der Datenanalysen für diesen Bericht wurde jene Statistik nachgeführt. Üblicherweise wird als Schwellenwert die kleinste jährliche Hochwasserspitze der Messreihe verwendet. Aus Gründen der Kompatibilität mit der Studien für den HADES wurde dieser z.T. etwas höher angesetzt. Die Abb. 28 zeigt die Häufigkeit von Sommer- und Winterhochwasser einzelner Stationen von 1922-1999 ausgewertet nach Jahrzehnten. Als Winter wird hier der Zeitraum von Oktober bis März verstanden. Im Vergleich zu den anderen Stationen ist die Limmat-Zürich relativ stark durch die Kraftwerke am Sihlsee (Inbetriebnahme 1937) sowie die Seeregulierung betroffen. Die Resultate weichen denn auch von denjenigen der übrigen Stationen ab, in dem der Zeitraum 1920-39 noch deutlich mehr Hochwasser aufweist als spätere Jahrzehnte. Bei den anderen betrachteten Stationen sind die Dekaden von 1980-99 sowohl einzeln als auch in der Summe die am meisten von Hochwassern betroffenen des Jahrhunderts ab 1922. Welche Rolle die 2. Juragewässerkorrektion für die Station Aare-Brugg spielt, müsste vertieft untersucht werden. Da seither im Bielersee die Hochwasser-Seestände deutlich tiefer liegen (Abb. 29), könnte vermutet werden, dass im Vergleich zu früher bereits kleinere Niederschlagsereignisse im Unterlauf der Aare für diese Schwellenwertstatistik relevant werden. Insgesamt lässt sich feststellen, dass vor allem die Hochwasser im Winterhalbjahr häufiger werden. Ob bereits von einer signifikanten Zunahme der Häufigkeit gesprochen werden darf oder ob sich die Zahlenwerte im Rahmen der natürlichen Variabilität bewegen, lässt sich angesichts der für diese Fragestellung zu kurzen Messreihen nicht beantworten.

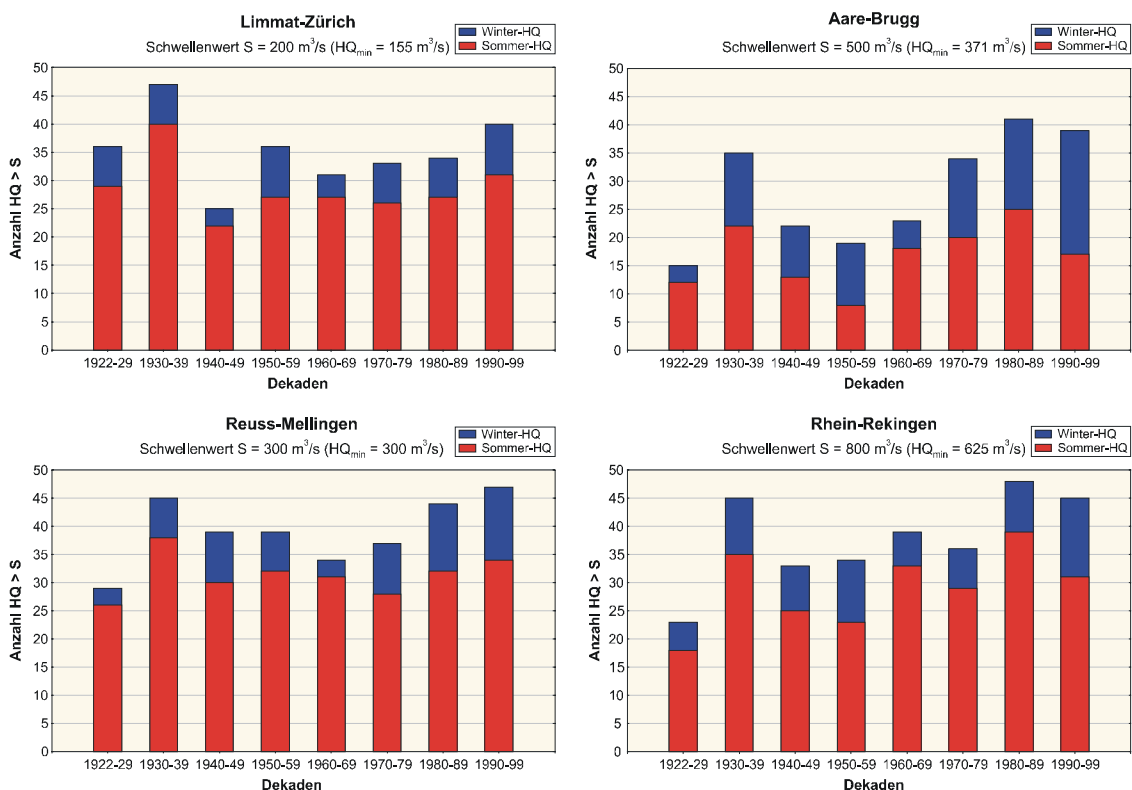


Abb. 28 Schwellenwertstatistik: Häufigkeit von Sommer- (Apr.-Sep.) und Winterhochwasser (Okt.-Mrz) von 1922-99 (Auswertung nach Dekaden).

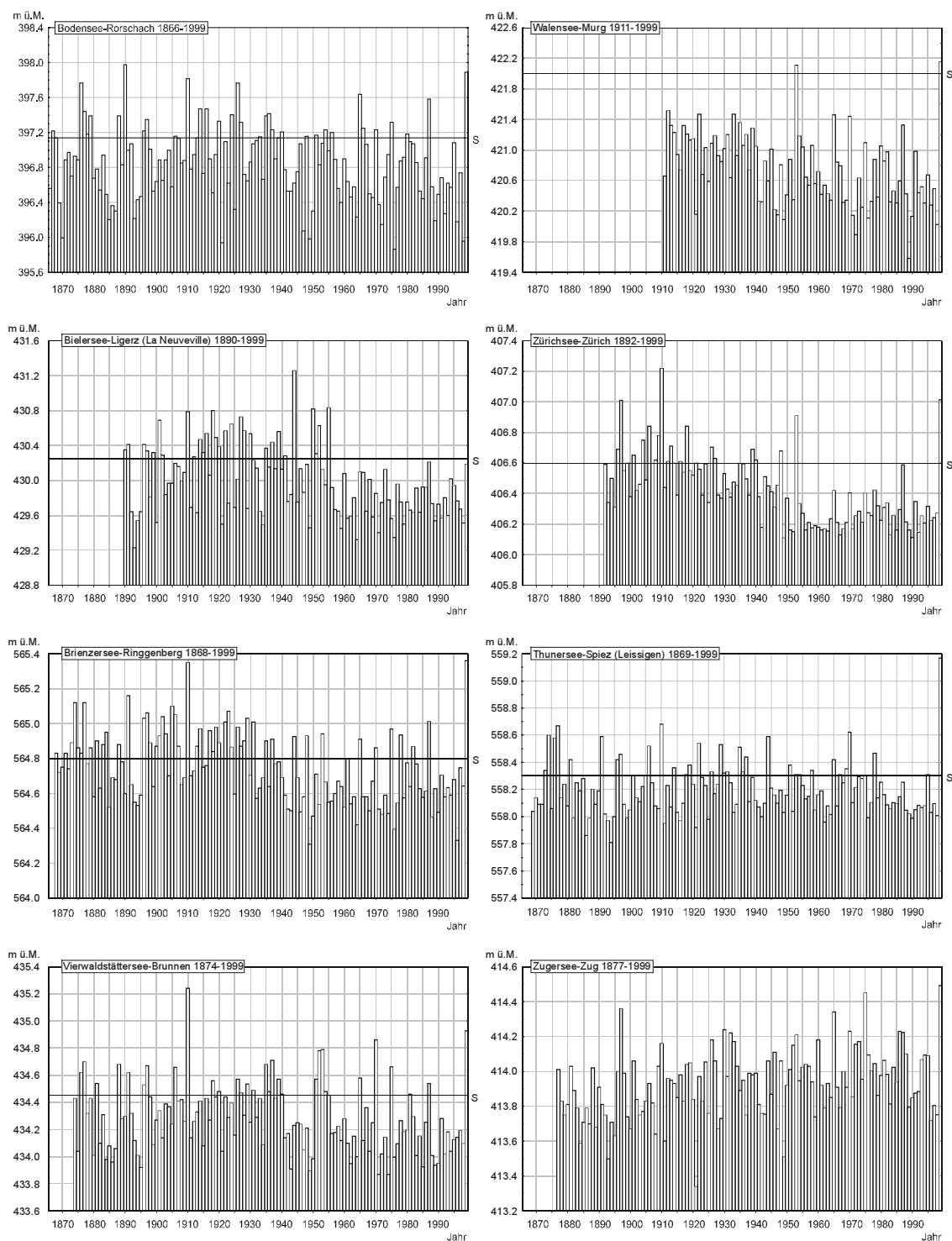


Abb. 29 Jahreshöchststände ausgewählter Seen (Messnetz LHG, S: 1999 gültige Schaffensgrenzen).

7.3 Seen

Die LHG hat bisher darauf verzichtet, für die Seen eine Hochwasserstatistik zu führen. Dies vor allem deswegen, weil mit Ausnahme des Walensees und des Bodensees die Seen reguliert und die statistischen Berechnungen kaum aussagekräftig sind. Um trotzdem eine Bewertung der Ereignisse von 1999 an den Seen vornehmen zu können, wurden in Abb. 29 die jährlichen maximalen Pegelstände seit Beginn der Messungen aufgetragen und den jeweiligen Schadensgrenzen gegenübergestellt. Diese wurden – wo überhaupt – zu unterschiedlichen Zeitpunkten festgelegt: Bodensee (1966), Zürichsee (1938), Vierwaldstättersee (1958), Thuner- und Brienersee (zwischen 1960-70), Jurarandseen (1959). Gesamthaft fällt auf, dass die definierten Schadensgrenzen recht häufig überschritten werden. Bei den meisten Seen dürfte dies alle 3-6 Jahre der Fall sein. Die Ausnahme bilden die Jurarandseen, wo die zweite Juragewässerkorrektur ab den 70-Jahren ihre Wirkung zeigt und die Schadensgrenzen seither nicht mehr erreicht wurden. Dasselbe gilt mit wenigen Ausnahmen auch für den Zürichsee nach dem Bau des neuen Wehrs beim Platzspitz sowie für den Walensee, wo die Schadensgrenze offensichtlich sehr hoch liegt.

Auch wenn an allen Alpenrandseen das Ereignis von 1999 eine hervorragende Stellung (Rang 1 oder 2) einnimmt, kann aufgrund der Abb. 29 eine differenziertere Betrachtung vorgenommen werden: Beim Thuner-, Briener- und Walensee hebt sich das Hochwasser von 1999 deutlich als ausserordentliches Ereignis ab. Entweder ist es das einzige dieser Grössenordnung oder es existiert höchstens noch ein Ereignis gleichen Ausmasses. Dies trifft mit Einschränkungen auch auf den Zürichsee zu. Zwar hat es dort zu Beginn des Jahrhunderts und noch einmal 1953 grosse Ereignisse gegeben (Seespiegel über 406.80 m ü.M.), aber seit der Mitte der 50er-Jahre wurde die Schadensgrenze nicht mehr erreicht, 1987 allerdings nur sehr knapp nicht. Zuvor im 19. Jahrhundert sah es am Zürichsee ganz anders aus. Obwohl seit dem Mittelalter mehr oder weniger reguliert, lag der mittlere Hochwasserspiegel des Sees auf einer Kote von 406.97 m ü.M., also in der Grössenordnung des Ereignisses von 1999. Die graphische Umsetzung der Zahlenangaben von Welti (1895) im Anhang 9 zeigt, dass dieser Seestand im Durchschnitt über die Beobachtungsperiode von 1811-1880 jedes zweite bis dritte Jahr erreicht oder überschritten wurde. Die grossen Hochwasser von 1817 (Maximum mit 407.77 m ü.M.), 1821, 1824 und 1876 lagen rund 50 cm und mehr über dem Seespiegel von 1999. Der höchste bekannte Wert stammt aus dem Jahre 1762 (Eidg. Hydrometrisches Büro, 1909). Die Kote von 408.06 m ü.M. übertrifft die jetzt definierte Schadensgrenze um 1.46 m! Durch die Änderung des Regulierwesens im Verlaufe der Zeit ist die Datenreihe nicht homogen. Dadurch lässt sich zwar aussagen, dass im letzten Jahrhundert die Hochwasser im Zürichsee zu einem höheren Seestand geführt haben, wie die Ereignisse aus hydrologischer Sicht (z.B. in Bezug auf Volumen oder Spitzenabflüsse, Wiederkehrperioden) einzuordnen sind, bleibt aber verwehrt.

Beim Vierwaldstättersee und beim Zugersee handelt es sich um Hochwasser mit sehr hohen Pegelständen, welche aber in der rund 125 Jahre dauernden Beobachtungszeit weitere 3-4 Mal annähernd erreicht oder gar überschritten worden sind.

Beim Bodensee schliesslich lässt sich feststellen, dass ein Ereignis der Grössenordnung von 1999 (Seespiegel über 397.60 m ü.M.) im Verlaufe der Beobachtungszeit seit 1866 rund alle 25 Jahre auftritt. Luft (1990: 28) hat nachgewiesen, dass in der Zeitperiode von 1887-1987 die jährlich höchsten täglichen Wasserstände des Untersees und des Obersees einem signifikanten Trend unterliegen. Dieser beträgt -25 cm/100 Jahre bzw. -27 cm/100 Jahre. Diese Trends werden auf zwei Effekte zurückgeführt: auf die Veränderungen der hydraulischen Auslaufbedingungen im Bereich des Konstanzer Trichters sowie auf Veränderungen des Zuflussregimes beim Alpenrhein bedingt durch den Betrieb der Kraftwerkspeicher. Berücksichtigt man diesen Aspekt sowie die Angaben der Kraftwerksbetreiber (BWG, 2000), wonach zwischen dem 10.5. und 24.5.1999 rund 81 Mio m³ Wasser (entsprechend rund 20 cm Pegeldifferenz im Bodensee) in den Stauanlagen zurückgehalten wurde, muss das Ereignis von 1999 trotz leicht tieferem Pegelstand gegenüber 1890 (bisheriger Höchstwert) mit grosser Wahrscheinlichkeit als grösstes an den LHG-Stationen gemessenes Ereignis betrachtet werden. Wie aber Messungen am deutschen Pegel Konstanz (seit 1816) belegen, werden diese beiden Seehochstände noch von den Ereignissen in den Jahren 1817 und 1821 übertroffen. Im Jahre 1817, welches als eigentliches Rekordjahr der jüngeren Geschichte angesehen wird, lag der Seespiegel bei ca. 398.44 m ü.M. (Eidg. Oberbauinspektorat, 1897). Noch weiter zurück sind die Ereignisse von 1770 (ca. 397.86 m ü.M.), 1640 (ca. 397.73 m ü.M.), 1566 (ca. 398.22 m. ü.M.) und 1511 (398.19 m ü.M.) mit 1999 zu vergleichen. Die Internationale Gewässerschutzkommission des Bodensees (IGKB, 2000) stuft das Ereignis von 1999 als 100-jährliches Ereignis ein.

Charakteristisch für die Ereignisse von 1999 an den Seen waren aber nicht nur die Pegelhöchststände sondern auch die Dauer. Zum Vergleich mit anderen Ereignissen sind deshalb in der Tab. 10 für die herausragenden Hochwasser die Anzahl Tage aufgeführt, während denen die Seespiegel über den heute definierten Schadensgrenzen verharrten. Man kann unschwer feststellen, dass 1999 in dieser Beziehung ein herausragendes Ereignis ist: Noch nie seit Beginn der Messungen lagen die Seespiegel des Zürich- (+2 Tage über dem bisherigen Höchstwert), des Briener- (+3 Tage) und des Vierwaldstättersees (+8 Tage) so lange ununterbrochen über der Schadensgrenze. Beim Thunersee dauerte nur das Ereignis des Jahres 1970 noch länger, beim Bodensee dasjenige von 1926, als 59 Tage registriert wurden. Laut Pfister (2000) dürfte das grösste Ereignis in der jüngeren Geschichte des Bodensees von 1817 gar gegen 90 Tage gedauert haben. 1910 kristallisiert sich als dasjenige Jahr heraus, welches bei allen Seen zu ausserordentlichen Hochwassern geführt hat.

Tab. 10 Dauer der Hochwasser an Schweizer Seen: Anzahl Tage, an denen der Seespiegel über der heute definierten Schadensgrenze (S) lag (Daten: Messnetz LHG).

See	Schadensgrenze (S) [m ü.M.]	Jahr	P _{max} [m ü.M.]	Dauer (Anzahl Tage mit Pegelstand > S)
Bodensee (Obersee)	397.14	1876	397.77	40
		1890	397.98	19
		1910	397.82	45
		1926	397.77	59
		1965	397.64	34
		1987	397.59	12 + 24 (5 Tage Unterbruch)
		1999	397.89	48
Walensee	422.00	1953	422.11	1
		1999	422.16	1

See	Schadensgrenze (S) [m ü.M.]	Jahr	P _{max} [m ü.M.]	Dauer (Anzahl Tage mit Pegelstand > S)
Zürichsee	406.60	1897	407.01	3 (Juni), 3 (Aug.), 14 + 2 (Sep., 1 Tag Unterbruch)
		1910	407.22	17
		1953	406.91	8
		1999	407.01	19
Brienzersee	564.80	1891	565.16	6
		1910	565.35	5
		1999	565.36	9
Thunersee	558.30	1910	558.68	5
		1944	558.59	4
		1970	558.63	22
		1999	559.17	16
Vierwaldstättersee	434.45	1910	435.24	17
		1952	434.78	2
		1953	434.79	16
		1970	434.86	22
		1999	434.93	30

Wie bereits erwähnt, ist bei der Interpretation der Messreihen von Seepegelständen eine gewisse Vorsicht angebracht. Zum Einen sind mit Ausnahme des Boden- und Walensees die Seen reguliert und zum Anderen wird je nach Situation in den Speicherseen der Alpen mehr oder weniger Wasser zurückgehalten. So ist belegt (Aschwanden u. Schädler, 1988: 38), dass zum Beispiel auch während des Hochwassereignisses von 1987 die Kraftwerke massgebend zu einer Dämpfung der Hochwasserspitzen und der Seestände beigetragen haben. Diese für den Hochwasserschutz erwünschten Effekte der Speicherkraftwerke erschweren aber die Vergleichbarkeit und die extremwertstatistische Auswertung der hydrologischen Messungen. Aktuelle Zahlenwerte des Rückhaltes in den Speicherkraftwerken während des Ereignisses von 1999 sind in BWG (2000) zu finden.

7.4 Vergleich mit anderen Jahren

Wie in Abb. 4 dargestellt, waren neben den Alpenrandseen die Fliessgewässer von weiten Teilen der Nordschweiz östlich der Aare betroffen. Um festzustellen wie die Frühjahrshochwasser 1999 gesamthaft in die hydrologische Geschichte des Jahrhunderts einzuordnen sind, wurden für jede Messstelle aufgrund der geordneten Reihe der Jahresmaxima diejenigen Jahre bestimmt, deren Abfluss über einem bestimmten Schwellenwert liegt. Als Kriterium diente das 20-jährliche Hochwasser oder 85% des höchsten gemessenen Hochwassers (HHQ) der Messreihe. Summiert man für die einzelnen Jahre die Messstationen, welche eines der obengenannten Kriterien erfüllen, und zeichnet sie auf, lässt sich räumlich und quantitativ ein Bild gewinnen, welche Jahre als „Hochwasserjahre“ zu bezeichnen sind. Die Tab. 11 fasst die Zahlen zusammen.

Tab. 11 Jahre mit besonderen Hochwassersituationen (Grundlage: Messstationen LHG 1910-99).

Jahr	Anzahl Stationen gemäss untenstehenden Kriterien			Auswertung: Anzahl Stationen	
	A Maximum	B Y20	C P15	mindestens ein Kriterium A-C ist erfüllt	Messnetz
1910	8	16	16	18	39
1914	3	10	9	13	59
1918	2	7	11	14	69
1920	7	13	14	17	81
1954	9	22	19	26	121
1968	7	18	20	25	169
1977	16	24	33	35	185
1978	8	20	24	29	186
1987	21	46	49	55	194
1990	12	21	24	28	196
1999	32	45	50	52	115**

Legende:

Maximum	HQ des Jahres ist gleichzeitig grösstes Ereignis (HHQ) der gesamten Datenreihe
Y20	HQ des Jahres hat mindestens die Jährlichkeit 20 Jahre
P15	HQ des Jahres ist höchstens 15% kleiner als das grösste Ereignis der gesamten Datenreihe
Bemerkung:	** Anzahl ausgewertete Messreihen

Der Vergleich der einzelnen Jahre untereinander wird durch die unterschiedliche Messnetzgrösse zu den jeweiligen Zeitpunkten etwas verfälscht. Auch fallen bei einer solchen globalen Betrachtungsweise regionale Hochwassersituationen wegen der zumeist geringen Anzahl betroffener Messstationen nicht speziell auf. Als Beispiel dazu dient das Jahr 1993, wo die Alpensüdseite und das Wallis von schweren Hochwassern betroffen waren (LHG, 1994). Weiter ist zu beachten, dass diese Analyse nicht ereignisbezogen ist, sondern immer die Hochwasser eines ganzen Jahres betrachtet. Nimmt man die Anzahl Ereignisse als Mass, steht das Jahr 1987 (55 Ereignisse) an der Spitze, gefolgt von 1999 (52) und 1977 (35). Als Nächste folgen praktisch gleichbedeutend die Jahre 1978, 1990, 1954 und 1968. Aufgrund dieser Betrachtungsweise ist das Jahr 1999 unzweifelhaft als ausserordentlich einzustufen. Bezieht man die Messnetzgrösse in die Betrachtung mit ein, sticht besonders das Jahr 1910 hervor, als fast die Hälfte aller damaligen Messstationen von einem Hochwasser betroffen war. Ein detaillierterer Vergleich der beiden Jahre aufgrund der heute noch in Betrieb stehenden 13 Stationen zeigt, dass in der Mehrzahl der Fälle die Wassermengen 1910 noch etwas höher waren als 1999. Zudem waren auch Stationen in der Westschweiz betroffen. Aus diesem Blickwinkel muss man annehmen, dass auch 1910 eine ganz aussergewöhnliche Situation zu verzeichnen war.

Die Abb. 30 zeigt die Verteilung der Hochwassersituationen in Fliessgewässern und setzt sie in Bezug zur Zeitachse und zur Messnetzgrösse. Aufgrund des gewählten Vorgehens nimmt mit der Grösse des Messnetzes die Anzahl der Ereignisse, welche die Kriterien erfüllen, ebenfalls zu. Die Zunahme erfolgt allerdings überproportional. Wurden bis 1950 bei 100 Messstationen maximal 60 Ereignisse pro Dekade ausgewählt, sind es seit 1970 bei nicht ganz einer Verdoppelung der Messnetzgrösse maximal rund drei Mal so viele Hochwassereignisse. Dies trifft auch auf die Reihenmaxima zu, welche zu Beginn des Jahrhunderts rund 10-20 Mal pro Jahrzehnt gezählt werden, seit 1970 aber markant häufiger in diesem Zeitraum auftreten. Rund 70 der 1999 in Betrieb stehenden Messstationen der LHG verzeichnen ihr Reihenmaximum zwischen 1990-99.

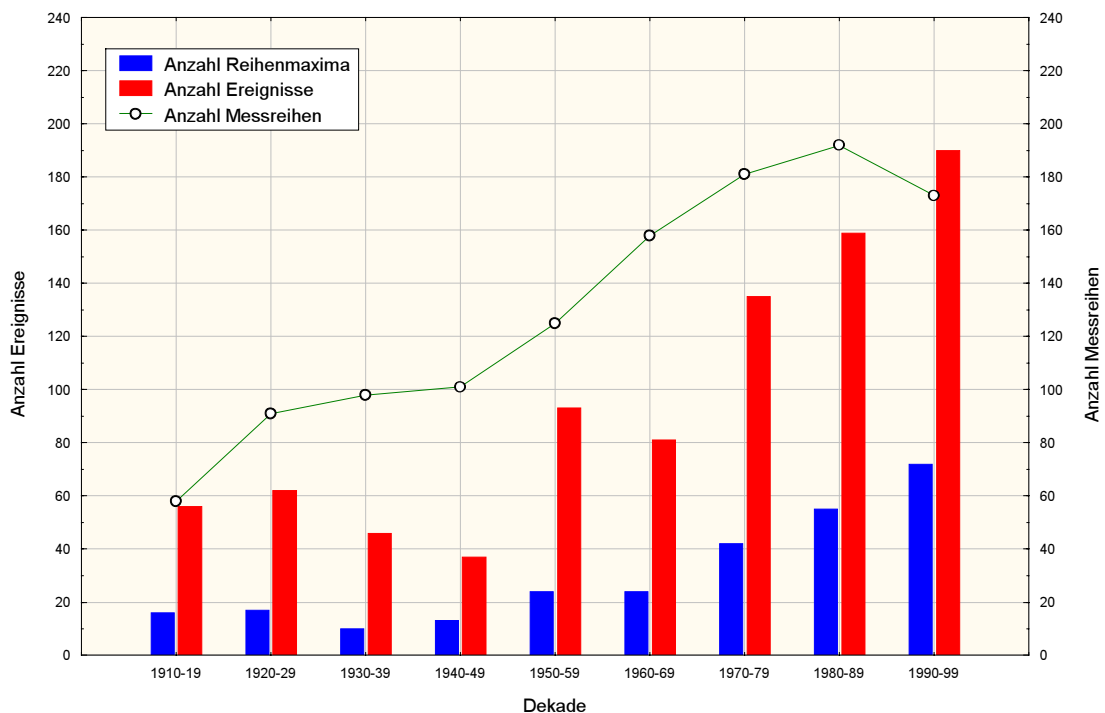
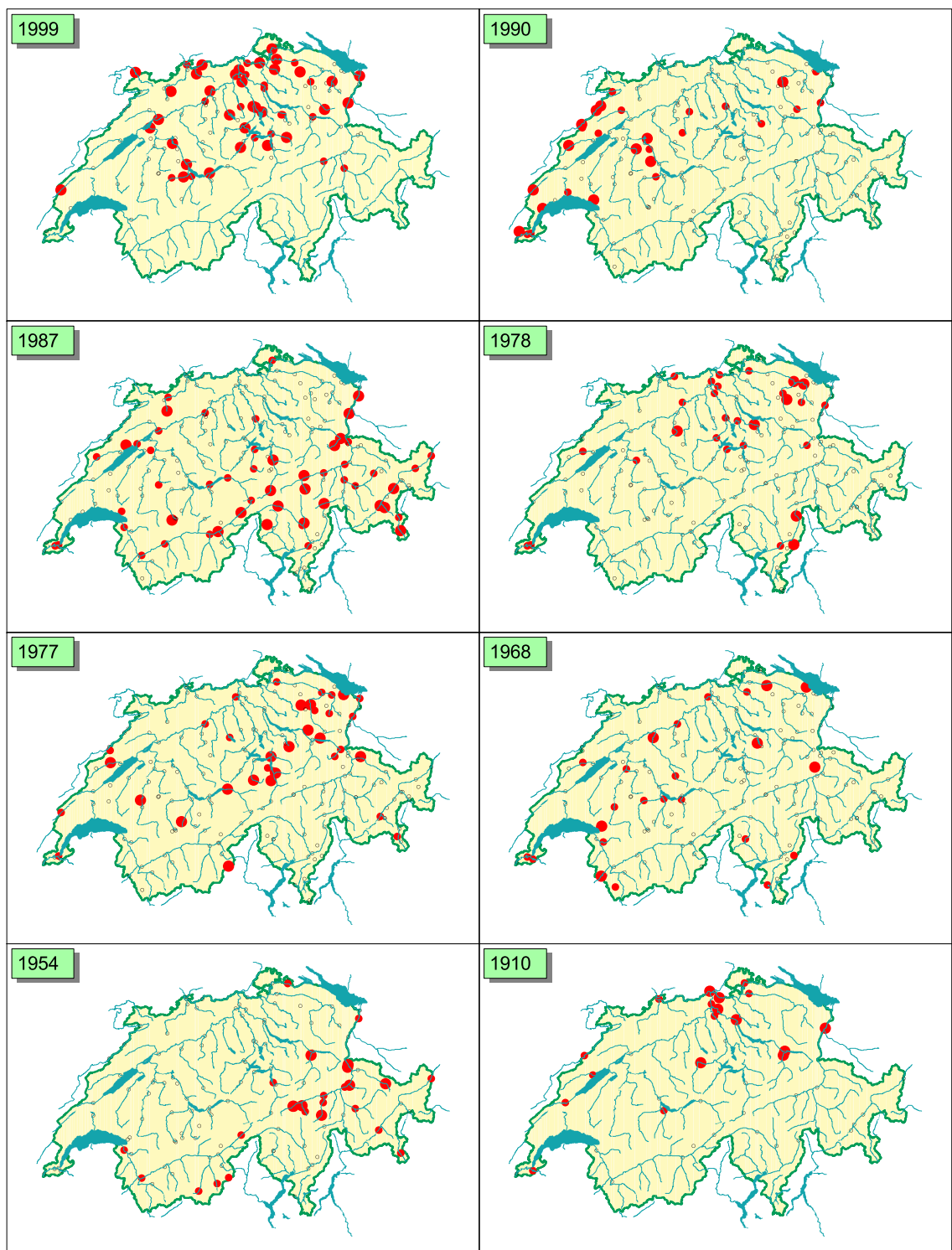


Abb. 30 Zeitliche Verteilung der Hochwassersituationen 1910-99 (Datengrundlage: Messnetz LHG).

Die Abb. 31 zeigt die geografische Umsetzung der Werte von Tab. 11. Das Ausmass des Hochwassers von 1999 wird hier noch einmal ersichtlich. Einzig die Ereignisse von 1987 im Alpenraum und 1977 in den Voralpen und am Alpenrand erreichen annähernd die gleiche überregionale Verbreitung. Im Jahre 1978 war zwar die gleiche Region wie 1999 betroffen, doch das Ereignis war insgesamt weniger ausgeprägt. Dies lässt sich daran erkennen, dass bei weniger Stationen das grösste Ereignis der Messperiode registriert wurde. Das Ereignis von 1990 konzentrierte sich auf den Jura und die Berner Voralpen westlich der Aare, dasjenige von 1954 vorwiegend auf das Bündnerland. Mangels Messstationen lassen sich die Hochwasser von 1910 bezüglich ihrer Ausbreitung nur schlecht beurteilen. Wie obenstehend ausgeführt, deutet jedoch Einiges darauf hin, dass die Situation mit 1999 vergleichbar gewesen ist.



Bedeutende Hochwassersituationen 1910-1999

- Maximum der Messreihe im betreffenden Jahr
- Grösseres Hochwasser
- Station nicht von grösserem Hochwasser betroffen

Abb. 31 Bedeute Hochwassersituationen 1910-99: betroffene Messstationen an Fliessgewässern (Messnetz LHG).

Interessanterweise sind bei dieser Gesamtbetrachtung Jahre mit schneereichen, messtechnisch erfassten Wintern (1945, 1951, 1960, 1966, 1968, 1970, 1975, 1980, 1982, 1984) unter den Jahren mit besonderen Hochwassersituationen nicht vertreten. Die Ausnahme bildet das Jahr 1968. Obwohl damals im Januar und Februar grosse Niederschlagsmengen (bis 400% des Mittelwertes) fielen und der April sommerlich warm war (Tagestemperatur in Zürich 29.5°C), bescherte die Schneeschmelze einzig hohe April-Abflussmittelwerte. Die in Abb. 31 dargestellten Hochwasser fanden erst im September als Folge eines Starkniederschlages statt. In den jährlich erscheinenden hydrologischen Jahrbüchern (LHG) wird in einem einleitenden Teil der hydrographische Charakter des jeweiligen Jahres beschrieben. Die Tab. 12 beinhaltet die Charakterisierung der erwähnten Jahre mit schneereichen Wintern.

Tab. 12 Hydrographische Charakterisierung der Jahre mit schneereichen Wintern auf der Alpennordseite.

Jahr	Hydrographische Charakterisierung
1910	Intensive Niederschläge im Januar; Februar/März eher zu warm; April/Mai kühl und nass; April sogar winterlich; Juni warm und gewitterhaft mit starker Schneeschmelze; ab 14.6. starke und andauernde Niederschläge bei hoher Nullgradgrenze; grosse Hochwasser in den Fliessgewässern und Hochstände in den Alpenrandseen (Pfister, 2000).
1945	Ausserordentlich warmer April und Mai; hohe Maiabflusswerte. Grenzkurve der höchsten Seestände für wenige Tage überschritten beim Bodensee (Obersee), Walensee, Thuner- und Brienzersee; keine Hochwasser.
1951	Trotz sehr hohen Niederschlägen im Februar und März normal verlaufende Schneeschmelze; erhöhte Seestände. Thunersee für 2 Tage im Juli über der Grenzkurve der höchsten bis anhin beobachteten Werte. Grosses Hochwasser am Hinterrhein (27.5.).
1960	April-Juni niederschlagsarm, Mai sehr sonnig; ab Juli Regenperiode bis Dezember mit Hochwassern. Seestände entsprechen dem Mittelwert.
1966	Niederschlagsreiche Monate Januar-März, Februar mit hohen Temperaturen; April und Mai mild und feucht. Wasserführung dauernd überdurchschnittlich. Trockenperiode September bis Dezember. Seestände stark erhöht, Thunersee, Zugersee und Walensee sogar über der Hochwassergrenze. Fliessgewässer: keine Hochwasser.
1968	Sehr ausgiebige Niederschläge im Januar und Februar (bis 400% der Monatsmittel); März trocken, April sommerlich warm mit starker Schneeschmelze; Mai kalt. Hohe Seestände über der Grenzkurve der höchsten Werte bei vielen Seen. Fliessgewässer: starkes Hochwasser im September in Folge eines Starkniederschlages.
1970	Insgesamt ein ausserordentlich nasses Jahr. Hohe Niederschläge im Februar (350-450% des Mittels). Schneeschmelze ab Mitte April in Verbindung mit Regen; trotz eher trockenem und kaltem Mai hohe Abflussmengen. Im Juni weiterhin Schneeschmelze und zusammen mit einer Tiefdruckperiode Hochwasser an den meisten Seen.
1975	Feuchter, milder Januar gefolgt von trockenem Februar; März feucht (bis 200% des Mittels); Niederschläge April-Juni unterdurchschnittlich. Ergiebiger Abfluss April bis Juni. Seestände über dem Mittel, Höchststände aber erst im Sommer.
1980	Reichliche Niederschläge Januar und Februar (bis 220% der Monatsmittel) und z.T. März. Weiterhin nasse Witterung bis Juli. Leicht überdurchschnittliche Seestände, insgesamt aber ein Jahr ohne besondere hydrologische Ereignisse.
1982	Von Januar bis Oktober Periode mit durchschnittlichen bis sehr geringen Abflüssen. Lokale Hochwasser durch Gewitterstürme im Juli und August.
1984	Verzögerte und verringerte Schnee- und Gletscherschmelze in Folge unterdurchschnittlicher Temperaturen.
1999	Hohe Niederschlagssummen Januar und Februar; überdurchschnittlich warmer und eher trockener März; April nass mit überdurchschnittlichen Temperaturen; Starkniederschläge im Mai

Die Zusammenstellung zeigt, dass nicht zwangsläufig jeder Winter mit hohen Schneemengen zu Hochwassern führt und dass in der Mehrzahl der Fälle die Hochwassersituationen auf die Seen beschränkt bleiben. Ausschlaggebend ist der Witterungsverlauf während der Schneeschmelze und im Frühsommer. So treten in Jahren, wo die Witterung während der Ablationsperiode durchschnittlich verläuft, trotz hohen Schneemengen, kaum Hochwassersituationen auf. Typisch ist aber, dass die Seestände allgemein während dieser Zeit über dem Durchschnitt liegen. Kritisch wird es jeweils dann, wenn entweder die Temperatur, die Niederschläge oder beides gleichzeitig überdurchschnittlich ausfallen. Dies ist beispielsweise in den Jahren 1910, 1966, 1968 und 1970 eingetreten. Die Seen erreichten ihre Hochwassergrenzen und auch die Fließgewässer im Unterlauf führten Hochwasser. Für die übrigen Fließgewässer sind fast immer starke Niederschläge der Auslöser für Hochwasser. Im Mittelland kann auch die Schneeschmelze wegen der geringen Höhenausdehnung und der sich daraus ergebenden grossen Schmelzvolumina bereits in Kombination mit einem weniger starken Niederschlag zu kritischen Situationen führen.

8. Bibliographie

AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) (1999): Vorsorgliche Absenkung des Zürich-sees garantiert keinen Schutz vor extremen Hochwasserständen. in: „wasser, energie, luft – eau, énergie, air“, 91. Jg., Heft 5/6: 105.

Aschwanden H. (1999): Die Maihochwasser 1999 – Eine erste Analyse. in: Nouvelles, Nr. 99/2:4-5, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

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

Aschwanden H., Spreafico M. (1995): Hochwasserabflüsse - Analyse langer Messreihen. in: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.6, 2. Lieferung, Landeshydrologie und -geologie (Hrsgb.), Bern.

Bergström S. (1976): Development and Application of a Conceptual Model for Scandinavian Catchments, Bull. Series A, 52, University of Lund, 134 p.

Bundesamt für Wasser und Geologie (2000): Hochwasser 1999- Analyse der Ereignisse. Studienbericht Nr. 9., Biel.

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau) (1998): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Entwurf Neubearbeitung Regel 101, Bonn.

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau) (1976): Empfehlungen zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Heft 101, Verlag Paul Parey, Hamburg.

Eidgenössisches Oberbauinspektorat (Hydrometrische Abteilung) (1897): Tabellarische Zusammenstellung der Haupt-Ergebnisse der Schweizerischen hydrometrischen Beobachtungen für das Jahr 1890. Bern.

Frei Ch. und Schär Ch. (1999): Detection probability of trends in rare events: theory and application to heavy precipitation in the alpine region. submitted to Journal of Climate.

Grebner D., Roesch Th. (1999): Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999. in: „wasser, energie, luft“, 91. Jg., H. 5/6: 127-132, Baden.

Grebner D., Roesch Th., Schwarb M. (1999): Extreme Gebietsniederschläge unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden. in: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Landeshydrologie und -geologie, Blatt 2.5, Bern.

Honsell M., 1879: Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände – Eine hydrologische Studie. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.

IGKB (Internationale Gewässerkommission für den Bodensee) (2000): Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999. Erfahrungsbericht (Entwurf).

Kleindienst H., Voigt St., Wunderle St. (2000): Monitoring und Prognose der Schneedeckentwicklung anhand von Satellitendaten. in: Forum Hochwasser 1999 – Analysen der Hochwasserereignisse im Frühjahr 1999 aus der Sicht der Forschung und der öffentlichen Hand – Zusammenfassung der Referate vom 3.2.2000, Bern.

Landeshydrologie und -geologie (1994): Die Hochwasser 1993 im Wallis und Tessin – Messdaten und ausgesuchte Auswertungen. Mitteilung Nr. 19, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Luder B. (1999): Die Landeshydrologie und -geologie im World Wide Web. in: Nouvelles, Nr. 99/2:8-9, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Luder B. (1996): Digitale Messwerterfassung in der Hydrologie. in: Gas-Wasser-Abwasser, H5: 387-392.

Luft G., van den Eertwegh G., Vieser H. (1990): Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987. Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Stuttgart.

Mani P. (2000): Schneeschmelz- und Abflussprognose im Berner Oberland – Ein Erfahrungsbericht. in: Forum Hochwasser 1999 – Analysen der Hochwasserereignisse im Frühjahr 1999 aus der Sicht der Forschung und der öffentlichen Hand – Zusammenfassung der Referate vom 3.2.2000, Bern.

Müller E., Hächler P. (2000): Die synoptische Entwicklung, die zu den Starkniederschlägen im Mai 1999 führte. in: Forum Hochwasser 1999 – Analysen der Hochwasserereignisse im Frühjahr 1999 aus der Sicht der Forschung und der öffentlichen Hand – Zusammenfassung der Referate vom 3.2.2000, Bern.

OcCC - Beratendes Organ für Klimaforschungsfragen des EDI und UVEK (1999): Folgt dem Schnee die Taulut? Pressekonferenz 3.3.1999, Bern.

Pfister Ch. (1999): Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Paul Haupt Verlag, Bern.

Pfister Ch. (2000): Historische Analogfälle als Hilfsmittel zur Risikoabschätzung – Die Hochwasser von 1566 und 1817 im Vergleich mit dem Hochwasser 1999. in: Forum Hochwasser 1999 – Analysen der Hochwasserereignisse im Frühjahr 1999 aus der Sicht der Forschung und der öffentlichen Hand – Zusammenfassung der Referate vom 3.2.2000, Bern.

Proclim (2000): Forum Hochwasser 1999 – Analysen der Hochwasserereignisse im Frühjahr 1999 aus der Sicht der Forschung und der öffentlichen Hand – Zusammenfassung der Referate vom 3.2.2000, Bern.

Schädler B. (1999): Abflussvorhersagen im Rheingebiet. in: Nouvelles, Nr. 99/2:6-7, Landeshydrologie und -geologie, Bern

Schädler B. (1993): Operationelle Abflussvorhersagen für Rhein-Rheinfelden - Grenzen und Möglichkeiten. In: Aktuelle Aspekte der Hydrologie, Zürcher Geographische Schriften Nr. 53, Zürich

Schädler B., Weingartner R. (1992): Natürliche Abflüsse 1961-1980. in: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.4, Landeshydrologie und -geologie (Hrsgb.), Bern.

SLF – Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1999): Ereignisanalyse des Lawinenwinters 1999 – Zwischenbericht. Davos.

SMA-Meteo Schweiz (1999): Witterungsberichte. erscheint monatlich, Zürich.

Spreadico M., Stadler K. (1986, 1988): Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern:

- Abflussmessreihen mit mehr als 30 Jahren in den Einzugsgebieten des Rheins und der Aare. Band I, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 7, Bern.
- Abflussmessreihen mit mehr als 30 Jahren in den Einzugsgebieten der Reuss, der Limmat, der Rhone, des Tessin, der Adda und des Inn. Band II, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 8, Bern.

Spreadico M., Aschwanden H. (1991): Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern:

- Abflussmessreihen aus den Messnetzen der Landeshydrologie und -geologie, der Kantone, der Hochschulen und privater Institutionen in den Einzugsgebieten des Rheins und der Aare (Beobachtungsdauer vorwiegend zwischen 10 und 30 Jahren) - Band III, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 16, Bern.
- Abflussmessreihen aus den Messnetzen der Landeshydrologie und -geologie, der Kantone und der Hochschulen in den Einzugsgebieten der Reuss, der Limmat, der Rhone, des Tessin, der Adda und des Inn (Beobachtungsdauer vorwiegend zwischen 10 und 30 Jahren) - Band IV, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 17, Bern.

TBA (Tiefbauamt), WEA (Wasser- und Energiewirtschaftsamt), KAWA (Amt für Wald) (1999): Bulletin – Die kantonale Arbeitsgruppe Schnee-Wasser informiert. Thun.

Welti K.(1895): Die Bewegungen des Wasserstandes des Zürichsees während 70 Jahren und Mittel zur Senkung seiner Hochwasser. Bericht an die Tit. Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Zürich, Verlag von Hofer & Burger, Zürich.

Zürichseezeitung (1999): Die Kraftwerke hielten kräftig Wasser zurück. Ausgabe vom 21.5.99

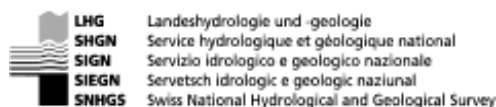
Anhang

- Anhang 1 Hochwasserabflussspitzen 1999 im Vergleich mit den bisherigen Höchstwerten sowie Jährlichkeit des Ereignisses: Stationen aus dem Beobachtungsnetz der LHG bei denen das Mai-HQ von 1999 den Rang 1-10 einnimmt (alphabetische Reihenfolge.)
- Anhang 2 Beispiel: Hydrologisches Bulletin
Verfügbar unter <http://www.bwg.admin.ch>, täglich aktualisiert
- Anhang 3 Beispiel: 7-Tages-Plot
Verfügbar unter <http://www.bwg.admin.ch>, täglich aktualisiert
- Anhang 4 Beispiel: Bodensee-Wasserstandsbulletin vom 18. Juni 1999
- Anhang 5 Beispiel: Vorhersagebulletin vom 22.3.2000 für Rhein-Rheinfelden
- Anhang 6 Beispiel: Resultatblatt HQ-Statistik Rhein-Basel 1869-1999
- Anhang 7 Extremwertstatistik: Statistische Masszahlen und Wiederkehrperioden HQx [x=5,10,50,100 und 200 Jahre]; LHG-Stationen bei denen das Mai-HQ von 1999 den Rang 1-5 einnimmt (alphabetische Reihenfolge).
- Anhang 8 Entwicklung der Hochwasser mit einer bestimmten Wiederkehrperiode HQx (x=10,50,100 und 1000 Jahre):
- Reuss - Mellingen
 - Thur - Andelfingen
 - Lorze - Frauenthal
 - Aare - Bern
 - Limmat - Baden
 - Rhein - Neuhausen
- Anhang 9: Zürichsee: maximale jährliche Seestände 1811 - 1999
- Anhang 10 Maximale jährliche Abflussspitzen und Frequenzdiagramme ausgesuchter LHG-Stationen:
- | | |
|----------------------------------|-----------|
| - Aare - Bern, Schöna | 1918-1999 |
| - Aare - Brugg | 1916-1999 |
| - Aare - Untersiggenthal, Stilli | 1904-1999 |
| - Limmat - Baden | 1951-1999 |
| - Linth - Mollis | 1914-1999 |
| - Linth - Weesen, Biäsche | 1907-1999 |
| - Lorze - Frauenthal | 1914-1999 |
| - Reuss - Mellingen | 1910-1999 |
| - Rhein - Basel | 1869-1999 |
| - Rhein - Rekingen | 1904-1999 |
| - Rhein - Rheinfelden | 1933-1999 |
| - Sihl - Zürich, Sihlhölzli | 1938-1999 |
| - Thur - Andelfingen | 1904-1999 |
| - Töss - Neftenbach | 1921-1999 |

Fließgewässer- Station	Ereignis 1999								bisherige Höchstwerte			
	Q m³/s	Rang	Jährlichkeit T					Länge Reihe	Datum	Q m³/s	Jahr	beob. seit
			-10	-50	-100	-200	> 200					
Aabach - Hitzkirch, Richensee	5.2	4	x					24	15.05.99	6	1981	1976
Aach - Salmsach, Hungerbühl	24	10	x					38	14.05.99	48.5	1968	1962
Aare - Bern,Schönau	620	1					x	82	16.05.99	450	1995	1918
Aare - Brugg	1250	1		x				84	12.05.99	1170	1994	1916
Aare - Brügg, Ägerten	770	1					x	95	20.05.99	700	1944	1905
Aare - Hagneck	940	1		x				16	14.05.99	933	1994	1984
Aare - Murgenthal	910	7		x				84	17.05.99	1020	1981	1916
Aare - Ringgenberg, Goldswil	270	1				x		74	15.05.99	244	1987	1926
Aare - Thun	570	1					x	94	15.05.99	400	1970	1906
Aare - Untersiggenthal, Stilli	2620	1					x	96	12.05.99	2320	1994	1904
Allaine - Boncourt, Frontière	64	1		x				16	13.05.99	56	1994	1984
Allondon - Dardagny	76	3	x					14	22.02.99	115	1990	1986
Alp - Einsiedeln	94	3	x					8	12.05.99	98	1993	1992
Biber - Biberbrugg	31	2	x					10	13.05.99	32	1991	1990
Biberenkanal - Kerzers	12.3	7	x					44	19.05.99	19.1	1969	1956
Birs - Münchenstein, Hofmatt	220	9		x				83	13.05.99	330	1973	1917
Birse - Soyhières, Bois du Treuil	130	9	x					17	12.05.99	160	1995	1983
Doubs - Combe des Sarrasins	290	6	x					51	22.02.99	360	1990	1949
Doubs - Le Noirmont, La Goule	290	3	x					29	22.02.99	365	1990	1971
Doubs - Ocourt	380	4		x				84	22.02.99	548.2	1918	1916
Doubs à la sortie du lac Brenets	250	3	x					48	22.02.99	345	1990	1952
Dünnern - Olten, Hammermühle	135	1		x				22	12.05.99	115	1981	1978
Emme - Eggwil, Heidebühl	110	6	x					25	22.05.99	245	1997	1975
Engelberger Aa - Buochs	120	2		x				84	22.05.99	125	1960	1916
Ergolz - Liestal	155	1			x			86	12.05.99	155	1994	1914
Glatt - Herisau, Zellersmühle	33	9	x					39	13.05.99	96	1984	1961
Glatt - Rheinsfelden	155	1			x			24	12.05.99	120	1994	1976
Goldach - Goldach	64	5	x					37	13.05.99	95.5	1977	1963
Grande Eau - Aigle	53	10	x					65	12.05.99	122.5	1944	1935
Grosstalbach - Isenthal	48	1		x				43	22.05.99	46	1977	1957
Gürbe - Belp,Stockmatt	45	8	x					77	14.05.99	59	1938	1923
Gürbe - Burgistein	38	4	x					18	25.05.99	92.5	1990	1982
Ilfis - Langnau	110	6	x					10	13.05.99	245	1997	1990
Kander - Hondrich	170	5		x				97	12.05.99	190	1926	1903
Kleine Emme - Werthenstein	195	7	x					15	12.05.99	340	1997	1985
Langeten - Huttwil, Häberenberg	21	7	x					34	12.05.99	55	1978	1966
Liechtenst. Binnenk. - Ruggell	44	3		x				25	22.05.99	47	1987	1975
Limmat - Baden	660	1				x		49	22.05.99	590	1953	1951
Limmat - Zürich, Unterhard	590	2					x	94	22.05.99	657	1910	1906
Linth - Weesen, Biätsche	320	2				x		93	23.05.99	337.5	1910	1907
Lorze - Frauenthal	35	1					x	86	21.05.99	32	1993	1914
Lorze - Zug, Letzi	61	1		x				17	13.05.99	57	1984	1983
Luthern - Nebikon	34	3	x					12	13.05.99	45	1995	1988
Minster - Euthal, Rüti	115	9	x					39	12.05.99	205	1977	1961
Muota - Ingenbohl	290	2			x			83	22.05.99	315	1977	1917

Fließgewässer- Station	Ereignis 1999								bisherige Höchstwerte			
	Q m³/s	Rang	Jährlichkeit T					Länge Reihe	Datum	Q m³/s	Jahr	beob. seit
			-10	-50	-100	-200	> 200					
Murg - Frauenfeld	140	2		x				40	12.05.99	152.5	1968	1960
Murg - Wängi	60	1					x	46	12.05.99	43	1968	1954
Necker - Mogelsberg, Aachsäge	150	7	x					28	22.05.99	325	1978	1972
Orbe - Le Chenit, Frontière	18.1	1				x		29	22.02.99	11.8	1990	1971
Promenthuse - Gland	26	5	x					14	22.02.99	43	1990	1986
Reuss - Luzern	430	1				x		78	23.05.99	390	1953	1922
Reuss - Mellingen	760	1			x			90	14.05.99	740	1994	1910
Reuss - Mühlau, Hüenenberg	710	1				x		94	14.05.99	640	1984	1906
Rhein - Basel	5090	3			x			131	12.05.99	5700	1876	1869
Rhein - Diepoldsau, Rietbrücke	1890	10	x					81	22.05.99	2665	1987	1919
Rhein - Neuhausen	1190	1					x	96	11.06.99	1072	1926	1909
Rhein - Rekingen	2030	2					x	96	22.05.99	2250	1910	1904
Rhein - Rheinfelden	4550	1					x	67	12.05.99	4270	1994	1933
Rheint. Binnenk. - St.Margrethen	140	1				x		81	22.05.99	130	1991	1919
Rietholzbach - Mosnang	6.92	6	x					24	12.05.99	12.04	1994	1976
Rot - Roggwil	16.5	8	x					19	22.02.99	40	1986	1981
Sarner Aa - Sarnen	59	1				x		77	14.05.99	52.5	1944	1923
Scheulte - Vicques	65	1		x				8	12.05.99	54	1996	1992
Schlich. Brünnen - Muotathal	14.9	1		x				11	22.05.99	13.7	1991	1989
Sellenbodenbach - Neuenkirch	7	5	x					9	13.05.99	10.4	1992	1991
Sihl - Zürich, Sihlhölzli	240	7		x				81	22.05.99	277.5	1939	1938
Simme - Latterbach	210	1		x				14	12.05.99	205	1990	1986
Simme - Oberwil	135	6		x				79	12.05.99	200	1944	1921
Sitter - St.Gallen, Bruggen/Au	480	1		x				19	22.05.99	430	1989	1981
Sorne - Delémont	42	7	x					17	12.05.99	59	1995	1983
Steinenbach - Kaltbrunn	32	9	x					32	13.05.99	48.5	1977	1968
Suhre - Oberkirch	4.3	1		x				76	18.05.99	4.1	1977	1924
Suze - Sonceboz	46	4	x					39	22.02.99	96	1991	1961
Taschinasbach - Grösch	44	6	x					28	21.05.99	70.5	1977	1972
Thur - Andelfingen	1130	1					x	96	13.05.99	1100	1910	1904
Thur - Halden	920	3		x				35	12.05.99	1170	1978	1965
Thur - Jonschwil, Mühlau	510	5		x				34	12.05.99	565	1977	1966
Thur - Stein, Ittishag	150	1			x			36	22.05.99	115	1990	1964
Töss - Neftenbach	290	1				x		79	12.05.99	270	1953	1921
Werdenberger Binnenk. - Salez	120	1				x		69	22.05.99	115	1990	1931
Wigger - Zofingen	105	3	x					20	13.05.99	125	1995	1980
Worble - Ittigen	12.4	4	x					11	13.05.99	30	1990	1989

Stand: Mai 2000



Bern, 17.05.2000 08:07 h
Seite 1/3

Tägliches Bulletin Bulletin journalier Bollettino quotidiano Daily Bulletin

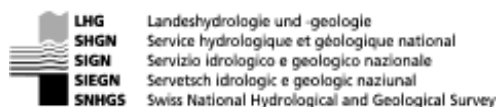
Wasserstände [m.ü.M] Niveaux d'eau [m s.m] Livelli d'acqua [m s.m] Water levels [m a.sl.]

Gewässer	Ort	Minimum	Mittelwert	Maximum	letzter Messwert
Cours d'eau, lac	Localité	Minimum	Moyenne	Maximum	Dernière mesure
Corso d'acqua, lago	Località	Minimo	Media	Massimo	Ultimo val. mis.
River, stream, lake	Locality	Minimum	Mean	Maximum	Last reading
		16. 5.2000	16. 5.2000	16. 5.2000	17. 5.2000 MEWZ
		P [m a.sl.]	P [m a.sl.]	P [m a.sl.]	P [m a.sl.]
Rhein	Rheinfelden	263.21	263.28	263.33	263.22 5.30
Rhein	Basel, Klingenthalf.	245.46	245.54	245.62	245.48 4.30
Bielensee	Ligerz	429.47	429.49	429.51	429.48 5.40
Bodensee	Romanshorn	396.27	396.28	396.29	396.30 5. 0
Bodensee	Berlingen	396.14	396.15	396.17	396.17 5.20
Brienzersee	Ringgenberg	564.26	564.27	564.30	564.30 5. 0
Lac Léman	St-Prex	371.95	371.96	371.97	371.96 5.50
Lago di Lugano	Melide	270.59	270.60	270.62	270.58 4.40
Lago Maggiore	Locarno	193.89	193.90	193.92	193.87 5.50
Lac de Neuchâtel	Neuchâtel	429.51	429.51	429.52	429.50 5.40
Murtensee	Murten	429.51	429.52	429.54	429.51 5. 0
Sempachersee	Sempach	503.64	503.64	503.65	503.64 5.20
Silsersee	Sils	1790.66	1790.67	1790.67	1790.67 4.30
Thunersee	Spiez	557.64	557.65	557.66	557.67 5.20
Vierwaldstättersee	Luzern	433.72	433.73	433.74	433.73 5. 0
Walensee	Murg	420.35	420.36	420.38	420.38 5.50
Zugersee	Zug	413.48	413.48	413.49	413.48 5.30
Zürichsee	Zürich	406.10	406.10	406.11	406.10 4.30

Abflüsse [m³/s] Débits [m³/s] Deflussi [m³/s] Discharges [m³/s]
Wasserstände [m.ü.M] Niveaux d'eau [m s.m] Livelli d'acqua [m s.m] Water levels [m a.sl.]

Gewässer	Ort	Minimum	Mittelwert	Maximum	letzter Messwert
Cours d'eau, lac	Localité	Minimum	Moyenne	Maximum	Dernière mesure
Corso d'acqua, lago	Località	Minimo	Media	Massimo	Ultimo val. mis.
River, stream, lake	Locality	Minimum	Mean	Maximum	Last reading
		16. 5.2000	16. 5.2000	16. 5.2000	17. 5.2000 MEWZ
		Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s] P [m a.sl.]
Aach	Salmsach	0.13	0.17	0.21	0.14 405.95 5. 0
Aare	Ringgenberg	98.30	104.84	108.30	105.30 564.22 5. 0
Aare	Brienzwiler	41.80	73.92	91.87	73.13 570.83 4.40
Aare	Thun	197.65	208.26	214.29	212.91 549.47 4.50
Aare	Bern	204.35	212.82	216.81	219.00 502.89 5.30
Aare	Hagneck	222.00	308.51	392.00	266.00 437.96 5. 0
Aare	Brügg, Aegerten	366.60	369.75	374.80	365.00 427.43 4.50
Aare	Murgenthal	407.03	411.42	420.32	404.40 399.58 5. 0
Aare	Brugg	400.24	418.54	435.37	411.18 333.26 5.10
Aare	Untersiggenthal	793.27	815.63	829.34	806.65 326.33 5.40
Albula	Tiefencastel	38.70	44.56	49.63	46.56 837.63 4.30

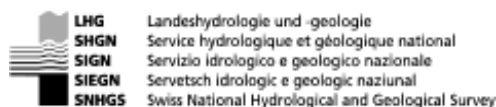
Da die Messdaten noch nicht geprüft sind, übernimmt die LHG keinerlei Gewähr für die Güte der hier publizierten Daten.
 Comme ces données ne sont pas encore vérifiées, le SGHN ne peut en aucune façon garantir la justesse des valeurs publiées ici.
 Trattandosi di dati non ancora verificati, il Servizio non ne garantisce la validità.
 Since the measurement data are not yet checked the SNHGS does not accept any responsibility for their correctness.



Bern, 17.05.2000 08:07 h
Seite 2/3

Abflüsse [m³/s]		Débits [m³/s]		Deflussi [m³/s]		Discharges [m³/s]	
Wasserstände [m.ü.M]		Niveaux d'eau [m s.m]		Livelli d'acqua [m s.m]		Water levels [m a.s.l.]	
Gewässer	Ort	Minimum	Mittelwert	Maximum	letzter Messwert		
Cours d'eau, lac	Localité	Minimum	Moyenne	Maximum	Dernière mesure		
Corso d'acqua, lago	Località	Minimo	Media	Massimo	Ultimo val. mis.		
River, stream, lake	Locality	Minimum	Mean	Maximum	Last reading		
		16. 5.2000	16. 5.2000	16. 5.2000	17. 5.2000	MEWZ	
		Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	P [m a.s.l.]	
Allaine	Boncourt	1.12	1.23	1.36	1.18	364.40	5.10
Alp	Einsiedeln	1.34	3.01	14.20	1.93	840.32	5.20
Areuse	Boudry	4.38	4.64	5.02	4.41	443.43	5.10
Arve	Genève, Bout du m.	119.94	135.36	149.29	161.21	380.28	5.10
Biber	Biberbrugg	0.15	0.59	3.63	0.63	825.85	5.30
Birse	Soyhières	3.58	4.09	4.51	3.89	389.11	5.30
Birs	Münchenstein	3.51	4.76	5.39	4.58	267.27	4.39
Brenno	Loderio	5.31	5.82	6.66	5.45	344.15	5.19
Broye	Payerne	3.20	3.26	3.32	3.11	440.17	4.40
Broye	Sugiez	1.60	16.42	247.60	7.50	429.51	5. 0
Dünnern	Olten	1.21	1.27	1.36	1.20	400.42	5.10
Emme	Eggiwil	2.05	3.02	3.87	2.79	741.73	5. 0
Emme	Emmenmatt	3.06	4.49	5.92	4.72	638.23	4.55
Emme	Wiler ohne Werkkanal	4.63	4.86	5.04	4.88	455.83	5.10
Engelberger Aa	Buochs	24.89	27.92	39.48	29.90	443.43	5.55
Ergolz	Liestal	0.74	0.90	1.02	0.72	304.47	5.30
Glatt	Rheinsfelden	4.58	4.74	4.92	4.60	335.59	4.40
Glenner	Castrisch	23.82	26.97	31.27	26.73	693.83	4.40
Gürbe	Burgistein	1.11	1.31	1.53	1.36	568.02	4.50
Hinterrhein	Fürstenuau	81.65	134.18	162.38	103.22	651.24	4.30
Ilfis	Langnau	1.31	1.79	2.55	1.82	682.94	4.30
Inn	Martinsbruck	124.38	152.34	166.43	107.83	1030.00	5.35
Julia	Tiefencastel	0.59	3.07	5.96	3.24	845.80	5.50
Kander	Hondrich	42.96	49.65	60.12	57.84	646.91	5.30
Kleine Emme	Werthenstein	7.07	8.71	10.90	8.45	592.18	4.50
Kleine Emme	Littau	9.08	11.02	13.07	12.06	431.25	5.20
Landquart	Felsenbach	79.62	90.57	104.32	87.77	571.01	5.30
Landwasser	Davos	16.81	18.78	21.10	18.47	1487.26	4.35
Langeten	Huttwil	0.39	0.71	0.81	0.61	596.96	4.40
Limmat	Zürich, Unterhard	166.12	170.29	180.11	181.09	400.96	5.10
Limmat	Baden	164.51	174.18	185.37	174.77	351.10	5.10
Linth	Mollis	66.07	82.87	106.79	72.69	435.00	5.50
Linth	Weesen	128.55	129.45	131.15	130.91	420.05	4.30
Lorze	Zug	1.03	1.07	1.14	1.06	416.04	5.30
Lorze	Frauenthal	6.53	7.06	7.46	6.31	390.13	4.40
Lütschine	Gsteig	37.41	44.39	58.29	47.39	585.66	5. 0
Maggia	Bignasco	1.35	1.70	3.98	1.40	431.24	5.25
Maggia	Locarno, Solduno	26.69	31.48	38.78	31.84	200.44	4.55
Massa	Blatten b. Naters	21.64	23.66	25.98	25.51	1447.70	5.30
Moesa	Lumino	48.83	54.46	62.11	54.64	240.25	4.50
Muota	Ingenbohl	71.61	82.96	100.40	82.28	435.94	6.10
Murg	Frauenfeld	0.93	2.30	4.67	2.37	390.17	6.10
Orbe	Orbe	1.63	8.97	13.51	2.56	449.24	5.40
Pincascia	Lavertezzo	4.10	5.56	7.44	4.12	-999.00	5.20
Reuss	Andermatt	15.25	19.35	26.72	17.70	1427.14	5.45

Da die Messdaten noch nicht geprüft sind, übernimmt die LHG keinerlei Gewähr für die Güte der hier publizierten Daten.
Comme ces données ne sont pas encore vérifiées, le SGHN ne peut en aucune façon garantir la justesse des valeurs publiées ici.
Trattandosi di dati non ancora verificati, il Servizio non ne garantisce la validità.
Since the measurement data are not yet checked the SNHGS does not accept any responsibility for their correctness.



Bern, 17.05.2000 08:07 h
Seite 3/3

Abflüsse [m³/s]		Débits [m³/s]		Deflussi [m³/s]		Discharges [m³/s]	
Wasserstände [m.ü.M]		Niveaux d'eau [m s.m]		Livelli d'acqua [m s.m]		Water levels [m a.s.l.]	
Gewässer	Ort	Minimum	Mittelwert	Maximum	letzter Messwert		
Cours d'eau, lac	Localité	Minimum	Moyenne	Maximum	Dernière mesure		
Corso d'acqua, lago	Località	Minimo	Media	Massimo	Ultimo val. mis.		
River, stream, lake	Locality	Minimum	Mean	Maximum	Last reading		
		16. 5.2000	16. 5.2000	16. 5.2000	17. 5.2000	MEWZ	
		Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	Q [m³/s]	P [m a.s.l.]	
Reuss	Seedorf	70.85	97.98	125.34	107.75	438.73	4.25
Reuss	Luzern	227.75	228.90	231.60	229.45	432.50	5. 0
Reuss	Mühlau	233.28	236.02	238.02	237.83	390.73	5.40
Reuss	Mellingen	249.49	251.27	253.58	254.21	345.11	5.30
Rhein	Domat/Ems	189.31	266.01	302.57	221.79	565.37	4.50
Rhein	Diepoldsau	563.57	657.96	725.68	692.32	409.63	4.30
Rhein	Neuhausen	639.52	647.28	656.24	649.64	383.96	5.20
Rhein	Rekingen	676.57	697.20	737.24	694.40	323.42	4.50
Rhein	Rheinfelden	1489.25	1545.11	1591.02	1497.95	263.22	5.20
Rhein	Basel, Rheinhalle	1481.94	1553.78	1628.20	1518.86	-999.00	5. 0
Rheint. B'kanal	Ruggell	10.78	10.89	11.00	11.03	433.21	5.30
Rheint. B'kanal	St.Margrethen	13.30	13.56	13.82	13.90	398.45	5.45
Rhone	Gletsch	4.52	5.41	6.40	5.21	1756.20	5.40
Rhone	Reckingen	21.86	26.88	33.18	26.58	1312.31	5.20
Rhone	Brig	68.11	117.79	164.80	97.72	666.40	5.10
Rhône	Sion	212.58	246.48	300.44	232.60	484.92	5.30
Rhône	Branson	238.44	270.01	315.77	257.92	457.78	5.20
Rhône	Porte du Scex	328.97	355.52	375.61	375.61	376.16	4.50
Rhône	Chancy, Aux Ripes	454.75	522.76	610.60	596.55	335.44	5.50
Rom	Müstair	5.74	6.56	10.04	6.39	1234.16	4.45
Rosegbach	Pontresina	8.06	9.16	10.38	9.58	1766.55	5.40
Saltina	Brig	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.**
Sarine	Broc	38.92	42.23	44.43	9.44	681.33	5. 0
Sarine	Fribourg	15.33	73.72	83.48	80.97	532.62	5.19
Saane	Laupen	7.09	79.02	146.26	6.91	480.40	5. 5
Schächen	Bürglen	15.07	16.41	18.07	16.53	486.11	5.25
Sense	Thörishaus	5.45	5.82	6.10	5.77	550.80	4.55
Seyon	Valangin	0.28	0.29	0.32	0.25	628.26	5. 0
Simme	Oberried/Lenk	4.36	4.73	5.70	5.39	1100.22	5.10
Simme	Oberwil	23.14	25.61	28.70	28.14	777.11	5.40
Simme	Latterbach	15.39	27.68	73.94	37.03	663.54	4.30
Sitter	Appenzell	3.77	4.24	5.14	4.31	769.27	5.50
Sitter	St. Gallen	3.20	9.55	20.40	3.88	575.22	5.10
Suhre	Oberkirch	0.55	0.56	0.57	0.56	503.22	4.40
Steinach	Steinach	0.19	0.37	0.65	0.19	405.62	4.50
Thur	Jonschwil	17.71	19.57	27.98	25.24	533.45	4.40
Thur	Halden	18.47	22.32	31.27	33.70	455.85	5.40
Thur	Andelfingen	23.91	27.77	34.13	26.56	355.76	5. 0
Ticino	Piotta	2.54	2.76	3.05	2.56	1007.04	5.40
Ticino	Pollegio	8.59	40.10	59.23	36.02	290.94	4.50
Ticino	Bellinzona	105.63	127.99	148.41	98.85	218.61	5.15
Toess	Neftenbach	1.87	2.28	2.46	2.03	388.66	5.30
Vedeggio	Bioggio	4.90	5.47	6.12	5.21	280.52	5.25
Venoge	Ecublens	2.09	2.23	2.38	1.98	382.60	5.10
Verzasca	Lavertezzo	0.28	0.28	0.28	0.28	-999.00	5.40

Da die Messdaten noch nicht geprüft sind, übernimmt die LHG keinerlei Gewähr für die Güte der hier publizierten Daten.
Comme ces données ne sont pas encore vérifiées, le SGHN ne peut en aucune façon garantir la justesse des valeurs publiées ici.
Trattandosi di dati non ancora verificati, il Servizio non ne garantisce la validità.
Since the measurement data are not yet checked the SNHGS does not accept any responsibility for their correctness.

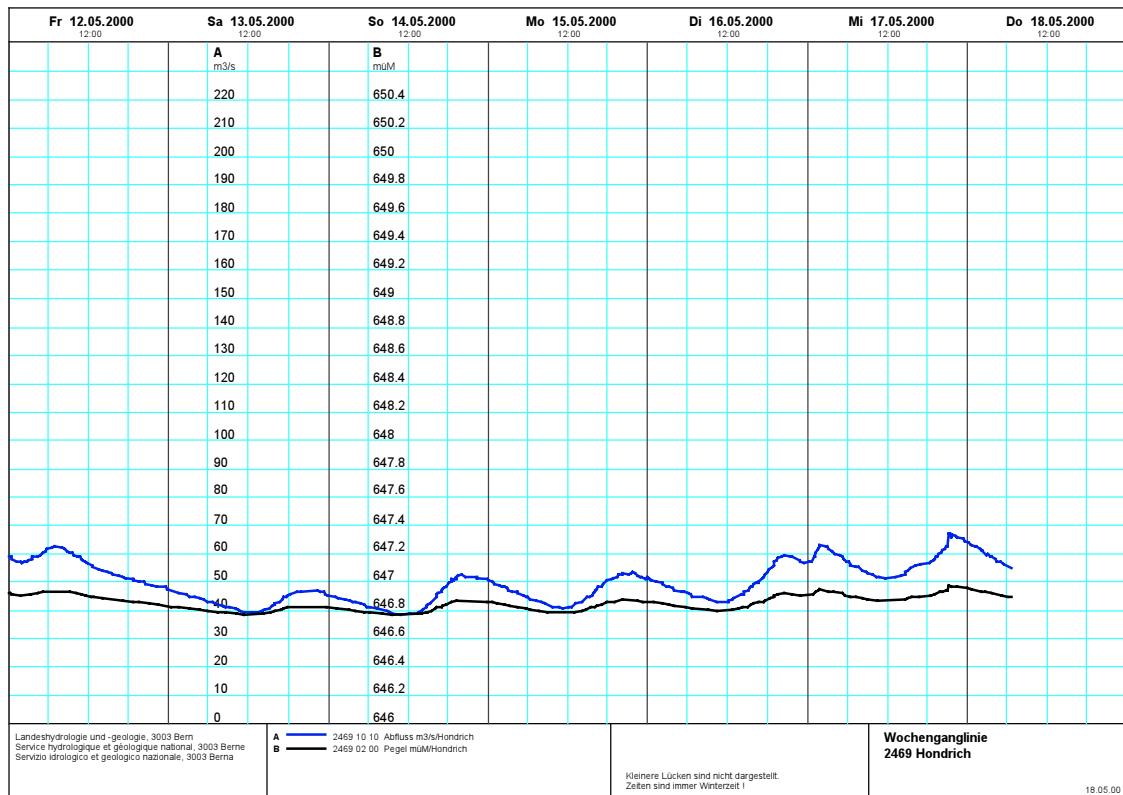


Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale
Servetsch idrologic e geologic nazional
Swiss National Hydrological and Geological Survey

Bern, 17.05.2000 08:07 h
Seite 4/3

Abflüsse [m³/s] Wasserstände [m.ü.M]		Débits [m³/s] Niveaux d'eau [m s.m]		Deflussi [m³/s] Livelli d'acqua [m s.m]		Discharges [m³/s] Water levels [m a.sl.]	
Gewässer	Ort	Minimum	Mittelwert	Maximum	letzter Messwert		
Cours d'eau, lac	Localité	Minimum	Moyenne	Maximum	Dernière mesure		
Corso d'acqua, lago	Località	Minimo	Media	Massimo	Ultimo val. mis.		
River, stream, lake	Locality	Minimum	Mean	Maximum	Last reading		
		16. 5.2000	16. 5.2000	16. 5.2000	17. 5.2000	MEWZ	
		Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]	Q [m3/s]	P [m a.sl.]	
Vispa	Visp	14.23	20.54	27.25	17.34	653.93	4.40
Vorderrhein	Ilanz	50.90	74.78	84.53	78.05	691.72	5.40
Wigger	Zofingen	2.38	2.47	2.57	2.44	426.21	5.10
Worble	Ittigen	0.55	0.57	0.62	0.56	517.87	5.20
Zihlkanal	Gampelen	38.50	64.60	91.50	75.40	429.50	5.40

Da die Messdaten noch nicht geprüft sind, übernimmt die LHG keinerlei Gewähr für die Güte der hier publizierten Daten.
Comme ces données ne sont pas encore vérifiées, le SGHN ne peut en aucune façon garantir la justesse des valeurs publiées ici.
Trattandosi di dati non ancora verificati, il Servizio non ne garantisce la validità.
Since the measurement data are not yet checked the SNHGS does not accept any responsibility for their correctness.



Eidgenössisches Departement des Innern
 Département fédéral de l'intérieur
 Dipartimento federale dell'interno
 Departament federal da l'intern
 Swiss Federal Department of the Interior



LHG Landeshydrologie und -geologie
 SHGN Service hydrologique et géologique national
 SIGN Servizio idrologico e geologico nazionale
 SIEGN Servetsch idrologic e geologic naziunal
 SNHGS Swiss National Hydrological and Geological Survey

Postadresse: CH-3003 Bern
 Besucher: Papiermühlestrasse 172, 3063 Ittigen

Bern, Freitag, 18. Juni 1999, 09 Uhr/BS

Bodensee-Wasserstandsbulletin

Wetter: (Quelle SMA)

Heute zunehmend bewölkt, kurze Aufhellungen, vor allem am Nachmittag einige Regenschauer.
 Am Samstag noch einzelne Regenschauer, dann zunehmend sonnig.

Schnee: (Quelle SLF Davos):

Die Schneegrenze des winterlichen Schnees liegt bei rund 2300 Meter

Schneesmelze:

Die Nullgradgrenze sinkt heute auf 2700 m. Sie wird später wieder gegen 3000 m steigen.
 Entsprechend ist die Schneesmelze nur mässig.

Seezuflüsse (Quelle: LHG, HvZ Karlsruhe, Hydrographischer Dienst Vorarlberg):

Der Zufluss zum Bodensee war gestern wenig verändert. Er wird heute mit dem Regen vorübergehend etwas ansteigen.

Wasserstand des Bodensees (Abschätzung der LHG):

Der Wasserstand wird sich heute wenig verändern, um dann über das Wochenende wieder weiter zu sinken.

Umrechnung der verschiedenen Pegelstände:

Pegel Romanshorn = Pegel Bregenz + 394.45

bzw.

Pegel Romanshorn = Schifffahrtspegel Konstanz + 392.23

Die vorhergesagten Wasserstände am Pegel Romanshorn jeweils am Ende des Tages:

Donnerstag	17. Juni 99	397.62 (Messung)
Freitag	18. Juni 99	397.58 bis 397.62
Samstag	19. Juni 99	397.53 bis 397.59
Sonntag	20. Juni 99	397.48 bis 397.55

Vorhersage über das Wochenende:

Wenn sich keine grösseren Veränderungen im heute erwarteten Wetterablauf ergeben, wird am Samstag und am Sonntag keine neue Vorhersage erstellt.

Die Landeshydrologie und -geologie übernimmt keinerlei Gewähr für das wirkliche Eintreten dieser vorhergesagten Wasserstände.

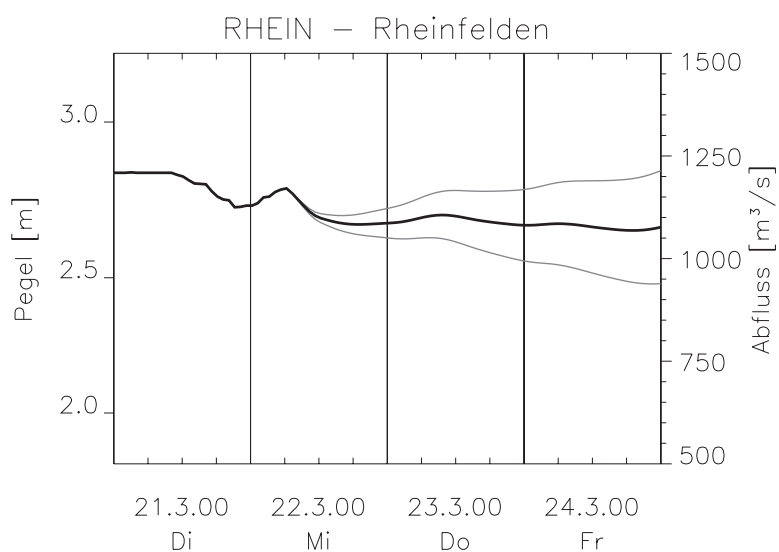
Landeshydrologie und –geologie, Bern

Vorhersage für: **RHEIN – Rheinfelden**ausgegeben am: **22.3.2000, 8.27 h Lokalzeit**Stundenmittel **Abfluss [m³/s]**gemessene Werte bis **22.3.00, 7.00 MEWZ**

H	22.3.00	23.3.00	24.3.00
1	1129	1087	1081
2	1135	1088	1082
3	1149	1089	1082
4	1151	1092	1084
5	1162	1095	1085
6	1168	1098	1085
7	1171	1101	1085
8	1159	1104	1084
9	1143	1106	1083
10	1128	1106	1081
11	1115	1106	1079
12	1104	1104	1077
13	1098	1102	1076
14	1094	1099	1074
15	1090	1097	1072
16	1087	1094	1071
17	1085	1092	1070
18	1084	1090	1069
19	1083	1088	1068
20	1083	1086	1069
21	1084	1085	1070
22	1084	1083	1071
23	1085	1082	1074
24	1086	1081	1076

Stundenmittel **Wasserstand [m]**gemessene Werte bis **22.3.00, 7.00 MEWZ**

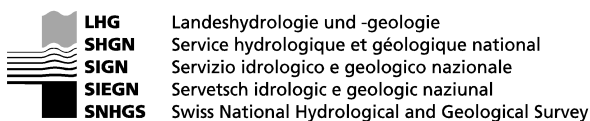
H	22.3.00	23.3.00	24.3.00
1	2.73	2.68	2.67
2	2.74	2.68	2.67
3	2.76	2.68	2.67
4	2.76	2.69	2.67
5	2.78	2.69	2.68
6	2.79	2.69	2.68
7	2.79	2.70	2.68
8	2.77	2.70	2.67
9	2.75	2.70	2.67
10	2.73	2.70	2.67
11	2.72	2.70	2.67
12	2.70	2.70	2.67
13	2.69	2.70	2.66
14	2.69	2.70	2.66
15	2.68	2.69	2.66
16	2.68	2.69	2.66
17	2.68	2.69	2.66
18	2.67	2.68	2.65
19	2.67	2.68	2.65
20	2.67	2.68	2.65
21	2.67	2.68	2.66
22	2.68	2.67	2.66
23	2.68	2.67	2.66
24	2.68	2.67	2.66

**Wetteraussichten**

22.: schön

23.: aus SW zunehmend bewölkt, aber noch trocken

24.: Durchzug einer (ersten) schwachen Störung, Schnee 1300–1700 m



Hochwasserwahrscheinlichkeitsanalyse (Jahreshochwasser)

Berechnung nach DVWK (1979)

Gewässer / Station: Rhein - Basel
Stationsnummer: 811
Datenreihe: 1869 - 1999
Anzahl Jahre: 131

Höchster Wert: 5700 m³/s (1876)
Tiefster Wert: 1487 m³/s (1893)
Aktueller Wert 1999: 5090 m³/s *Jährlichkeit (Jahre):* 120
Mittelwert: 2859.5 m³/s
Median: 2798 m³/s
Standardabweichung: 714.4
Variationskoeffizient: 0.25
Schiefte: 1.107
Exzess (Kurtosis): 2.267

Jährlicher Höchstabfluss Q erreicht oder überschritten für:
 Wiederkehrperiode T
 Wahrscheinlichkeit P

Verteilungsfunktion: Log-Pearson-III

T [Jahre]	P	Q m ³ /s
1	1.000	1245
2	0.500	2759
5	0.200	3390
10	0.100	3790
20	0.050	4165
50	0.020	4640
100	0.010	4995
200	0.005	5347
1000	0.001	6173

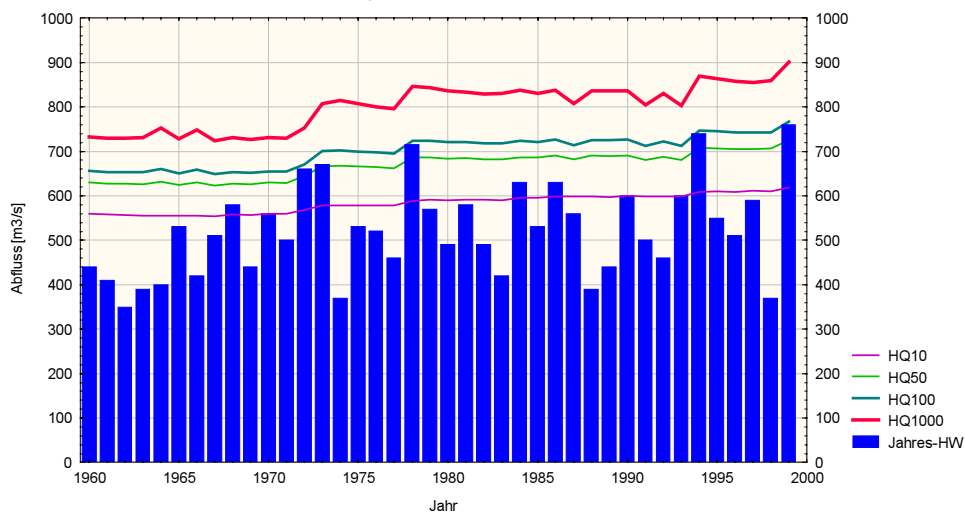
Station	Mess- beginn	HQ99	Max.	Jahr	Min.	Jahr	Mittel- wert	HQ5	HQ10	HQ50	HQ100	HQ200
Aabach - Hitzkirch, Richensee	1976	5.2	6	1981	2.1	1989	3.9	5	5	7	7	8
Aare - Bern, Schönaue	1918	620	620	1999	240	1949	351.9	394	422	479	502	524
Aare - Brugg	1916	1250	1250	1999	371	1921	824.8	976	1071	1251	1320	1384
Aare - Brügg, Ägerten	1905	770	770	1999	275	1921	500	572	615	695	725	753
Aare - Hagneck	1984	940	940	1999	422	1989	682.1	792	860	987	1035	1080
Aare - Ringgenberg, Goldswil	1926	270	270	1999	125	1949	173.6	193	209	243	258	273
Aare - Thun	1906	570	570	1999	225	1949	310.6	342	368	425	449	474
Aare - Untersiggenthal, Stilli	1904	2620	2620	1999	840	1949	1526.2	1767	1930	2251	2375	2494
Allaine - Boncourt, Frontière	1984	64	64	1999	16.6	1993	38	48	55	69	74	79
Allondon - Dardagny, Les Granges	1986	76	115	1990	25	1987	51.8	68	85	128	150	174
Alp - Einsiedeln	1992	94	98	1993	51	1994	80.5	95	104	121	128	134
Biber - Biberbrugg	1990	31	32	1991	18.2	1997	26.7	31	34	39	40	42
Doubs - Le Noirmont, La Goule	1971	290	365	1990	58	1971	210.6	262	296	363	388	413
Doubs - Ocourt	1916	380	548.2	1918	77.7	1921	240.7	300	343	430	464	497
Doubs à la sortie du lac des Brenets	1952	250	345	1990	69	1989	167.8	216	255	343	381	419
Dünnern - Olten, Hammerrmühle	1978	135	135	1999	21	1989	64.9	87	103	137	150	163
Engelberger Aa - Buochs	1916	120	125	1960	38	1943	73.8	90	103	131	143	156
Ergolz - Liestal	1914	155	155	1994	26	1949	61.2	78	94	136	155	177
Glatt - Rheinsfelden	1976	155	155	1999	35	1989	65.5	82	100	146	170	196
Goldach - Goldach	1963	64	95.5	1977	14.3	1992	39.9	53	65	97	113	129
Grosstalbach - Isenthal	1957	48	48	1999	5.3	1993	16.2	21	28	51	64	79
Gürbe - Burgistein, Pfandersmatt	1982	38	92.5	1990	13.1	1998	29.1	37	49	87	109	137
Kander - Hondrich	1903	170	190	1926	67.5	1921	120.3	142	156	182	192	202
Liechtenst. Binnenk. - Ruggell	1975	41	47	1987	10.9	1989	22.6	29	35	52	61	71
Limmat - Baden, Limmatpromenade	1951	660	660	1999	235	1963	362	419	468	583	635	689
Limmat - Zürich, Unterhard	1906	590	656.9	1910	155	1949	340.9	400	448	548	588	627
Linth - Weesen, Bläsche	1907	320	337.5	1910	81	1989	167.8	200	225	280	304	328
Lorze - Frauenenthal	1914	35	35	1999	6.1	1921	18.3	22	25	30	32	34
Lorze - Zug, Letzi	1983	61	61	1999	18.8	1983	35.1	45	53	74	84	94
Luthern - Nebikon	1988	34	45	1995	13.8	1989	27.4	35	40	51	55	59

Station	Mess- beginn	HQ99	Max.	Jahr	Min.	Jahr	Mittel- wert	HQ5	HQ10	HQ50	HQ100	HQ200
Muota - Ingenbohl	1917	290	315	1977	65.4	1917	165.2	202	229	285	308	329
Murg - Frauenfeld	1960	140	152.5	1968	33	1989	71.4	92	112	160	182	207
Murg - Wängi	1954	60	60	1999	11.1	1989	27.1	34	39	50	55	59
Orbe - Le Chenit, Frontière	1971	18.1	18.1	1999	3.6	1989	8.7	11	13	16	17	18
Promenthouse - Gland	1986	26	43	1990	10.9	1996	23.6	31	39	56	63	72
Reuss - Luzern, Geissmattbrücke	1922	430	430	1999	195	1947	288.1	324	348	396	416	434
Reuss - Mellingen	1910	760	760	1999	300	1949	487.7	562	614	723	767	811
Reuss - Mühlaus, Hünenberg	1906	710	710	1999	310	1949	469.9	533	575	660	693	726
Rhein - Basel	1869	5090	5700	1876	1487	1893	2859.5	3390	3790	4640	4995	5347
Rhein - Neuhausen	1909	1190	1190	1999	424	1921	731.3	854	929	1072	1125	1175
Rhein - Rekingen	1904	2030	2250	1910	625	1949	1162.6	1355	1502	1815	1946	2077
Rhein - Rheinfelden	1933	4550	4550	1999	1470	1949	2809.4	3266	3556	4112	4323	4523
Rheint. Binnenk. - St. Margrethen	1919	140	140	1999	42.4	1919	76.7	92	104	129	139	150
Sarner Aa - Sarnen	1923	59	59	1999	12	1949	29.9	36	41	52	56	60
Scheulte - Vicques	1992	65	65	1999	8.8	1993	33.9	49	62	88	99	110
Schlichenenden Brünnen - Muotathal	1989	14.9	14.9	1999	11.1	1998	12.5	13	14	16	16	17
Sellenbodenbach - Neuenkirch	1991	7	10.4	1992	4.9	1998	7.2	9	10	12	13	13
Simme - Latterbach	1986	210	210	1999	96	1998	142.6	169	188	230	247	265
Sitter - St. Gallen, Bruggen/Au	1981	480	480	1999	120	1992	242.9	306	370	532	612	697
Suhre - Oberkirch	1924	4.3	4.3	1999	1.3	1928	2.8	3	4	4	5	5
Suze - Sonceboz	1961	46	96	1991	13.8	1971	31.7	39	48	74	87	103
Thur - Andelfingen	1904	1130	1130	1999	235	1949	579.6	718	814	1005	1079	1150
Thur - Halden	1965	920	1170	1978	350	1967	610.1	738	856	1139	1270	1408
Thur - Jonschwil, Mühlaus	1966	510	565	1977	215	1985	329.6	395	463	637	721	814
Thur - Stein, Ittishag	1964	150	150	1999	28	1986	59.3	74	90	135	157	183
Töss - Neftenbach	1921	290	290	1999	35	1949	121.6	161	191	255	281	306
Werdenberger Binnenk. - Salez	1931	120	120	1999	35	1949	66.6	81	91	110	117	124
Wigger - Zofingen	1980	105	125	1995	44	1989	77.8	95	106	128	136	144
Worble - Ittigen	1989	12.4	30	1990	5.9	1997	12.4	16	21	37	47	58

Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99

Reuss - Mellingen

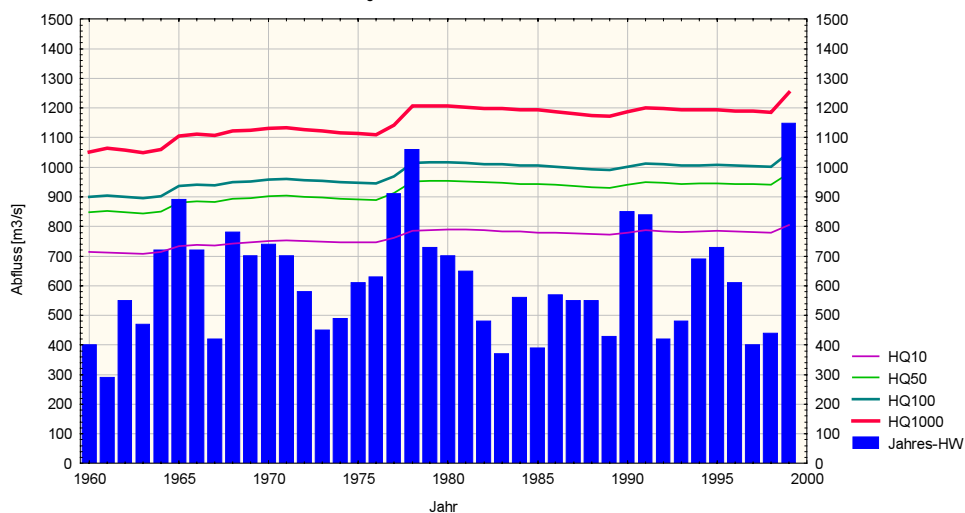
Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99



Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99

Thur - Andelfingen

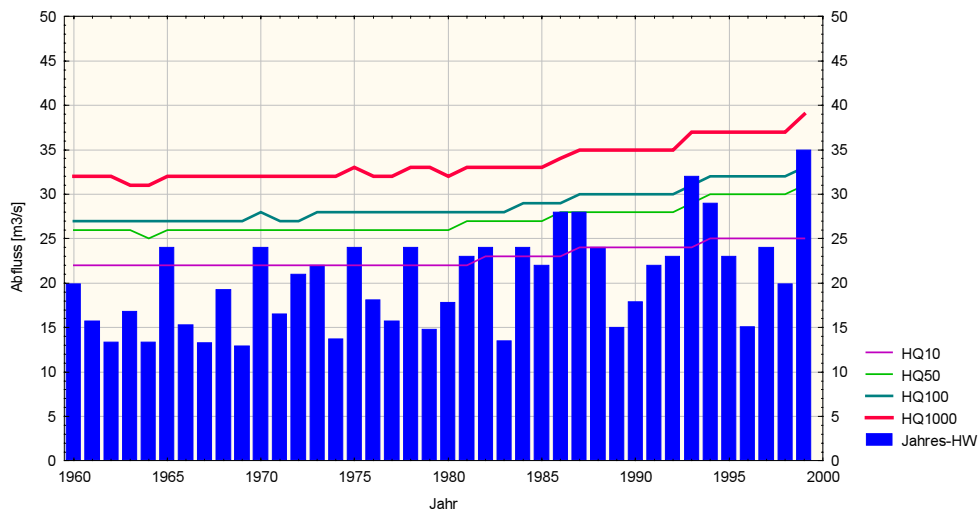
Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99



Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99

Lorze - Frauenthal

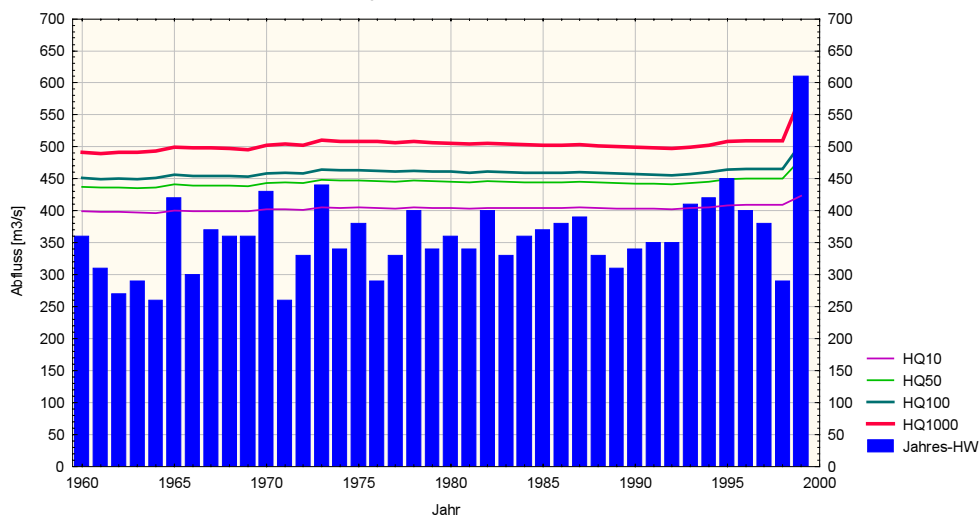
Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99



Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99

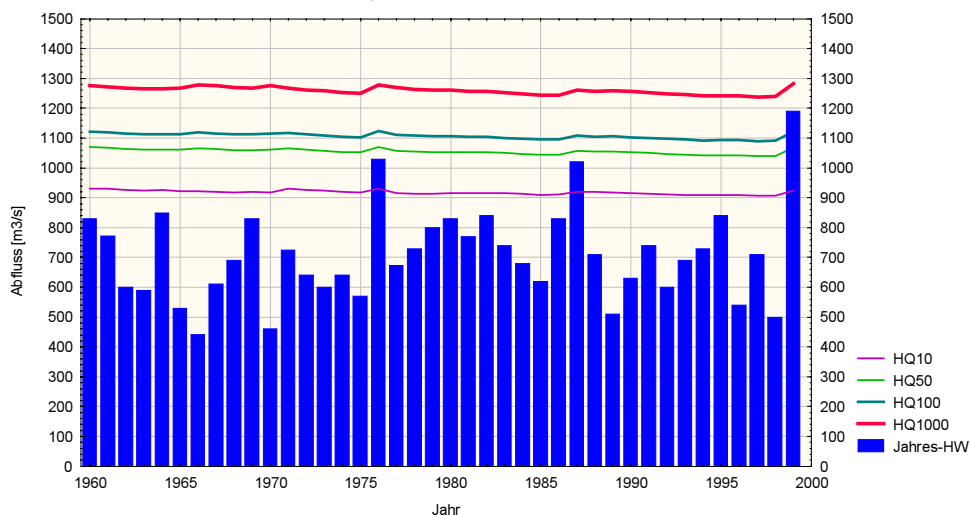
Aare - Bern

Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99

**Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99**

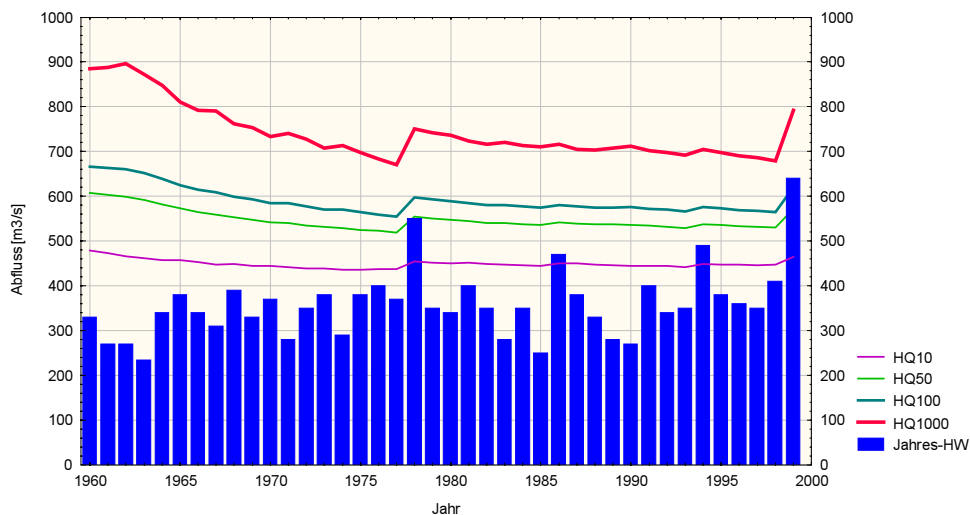
Rhein - Neuhausen

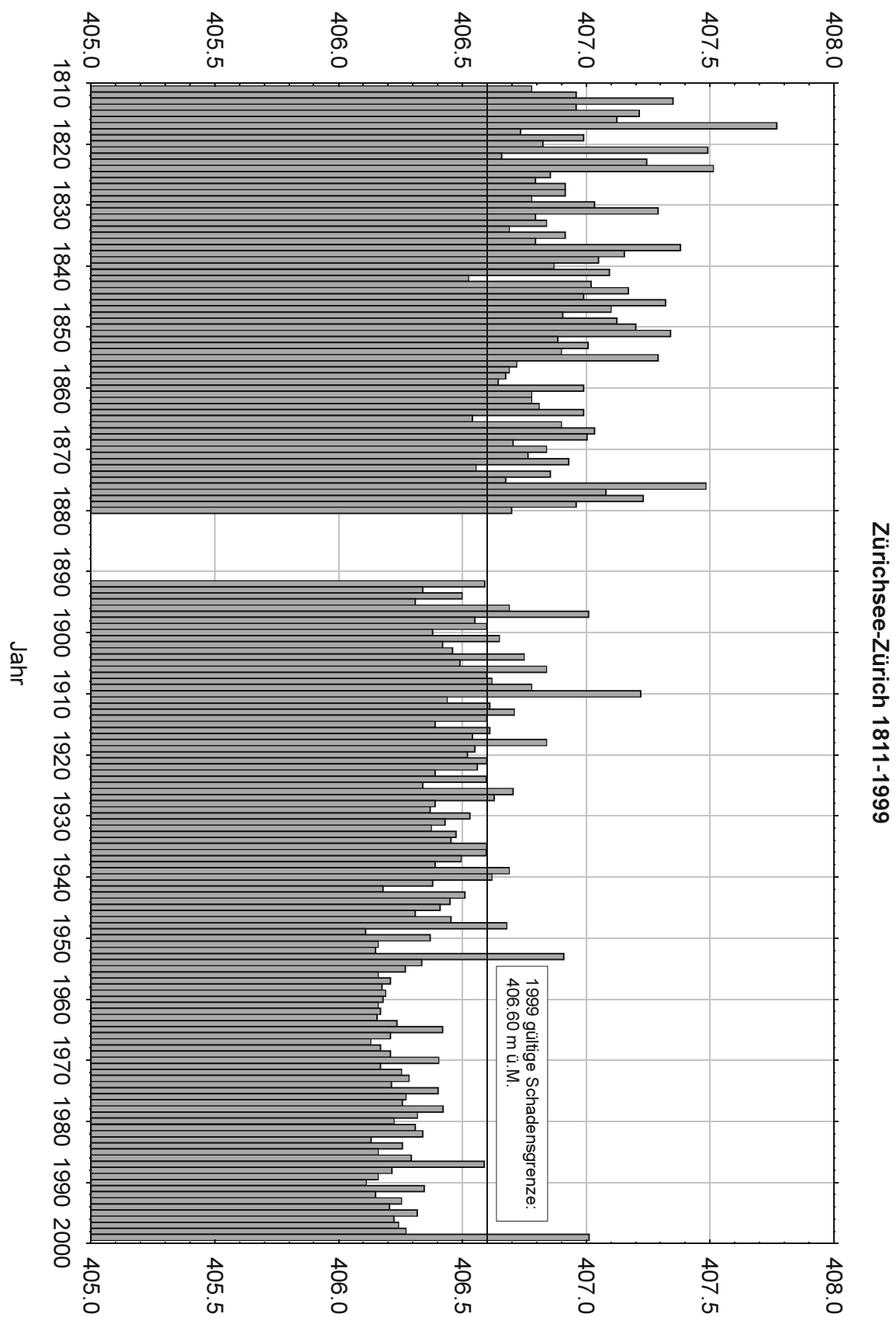
Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99

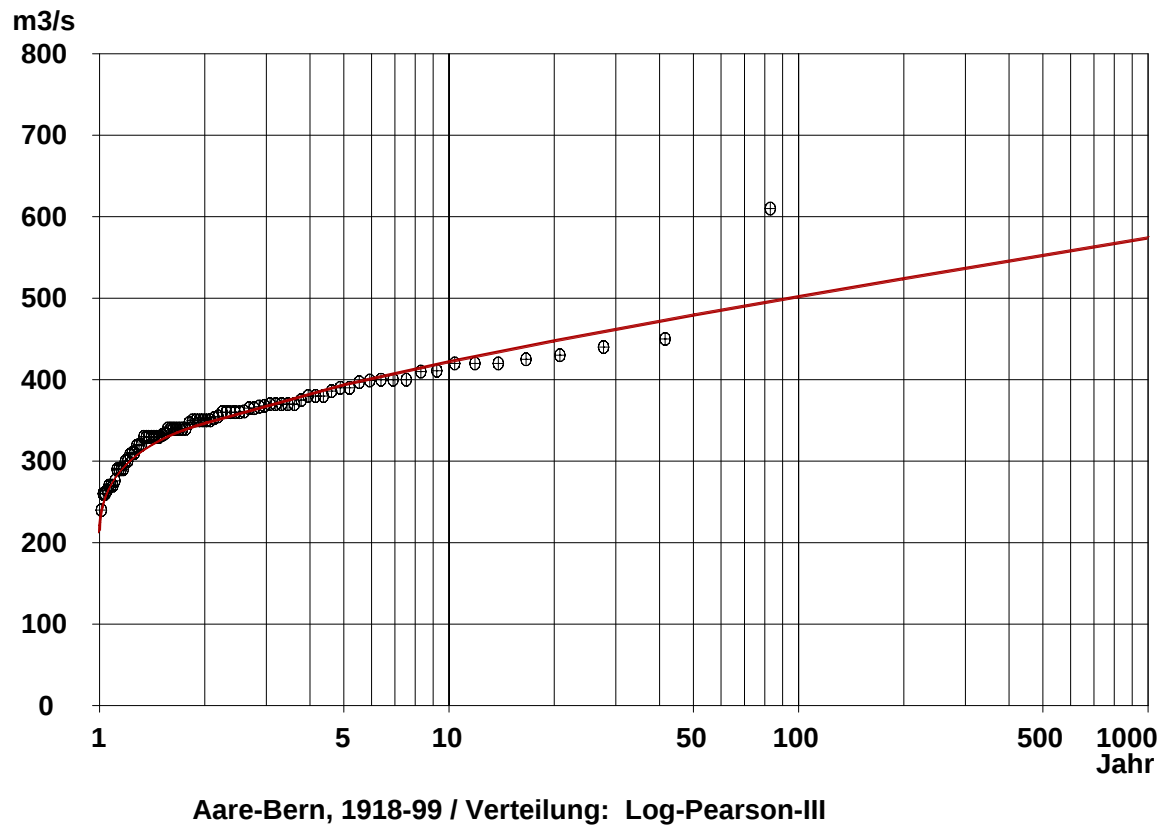
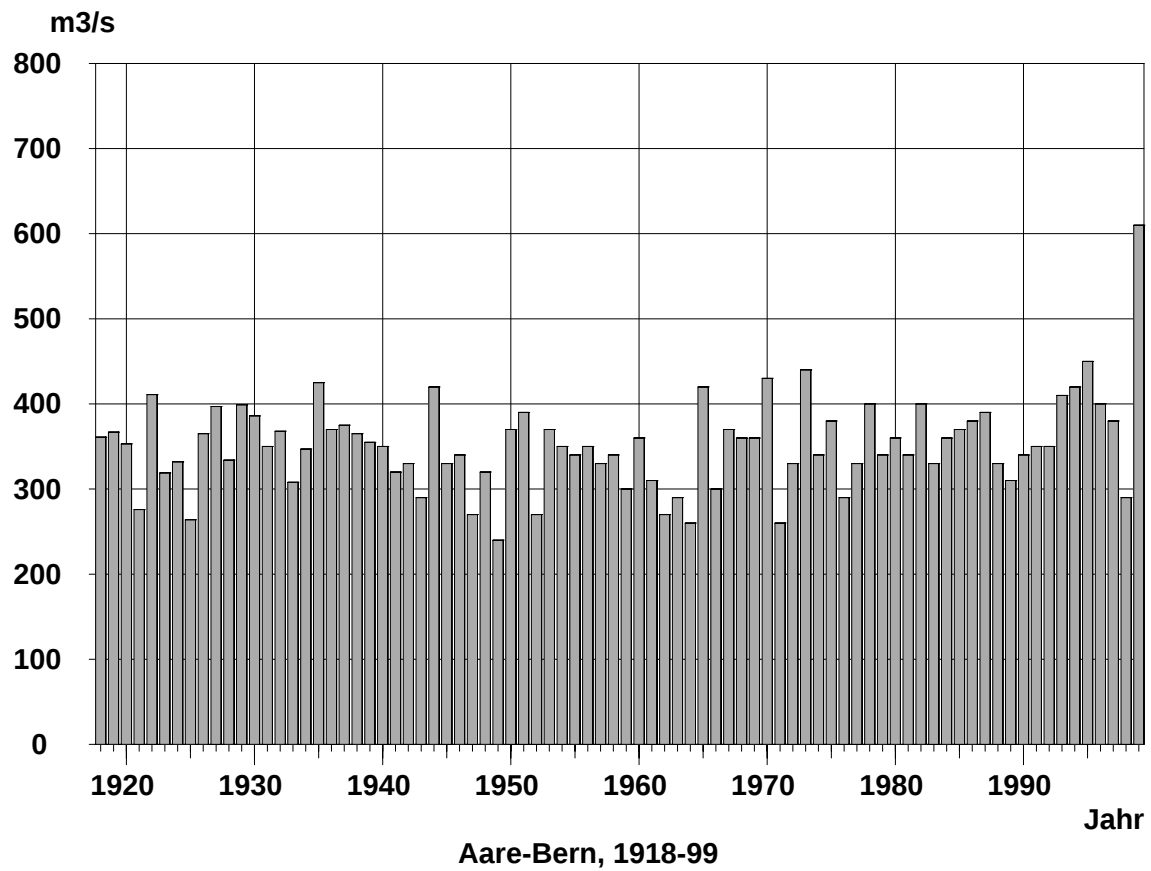
**Jahreshochwasser / Entwicklung HQx 1960-99**

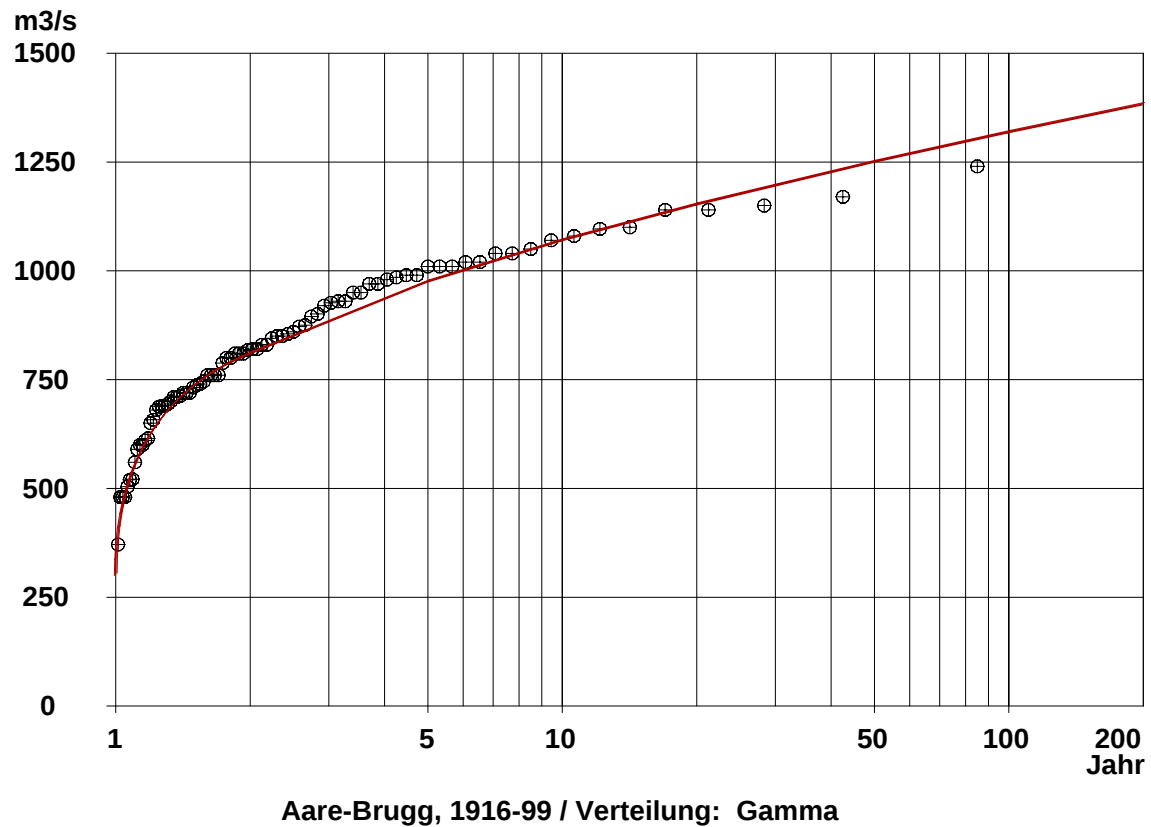
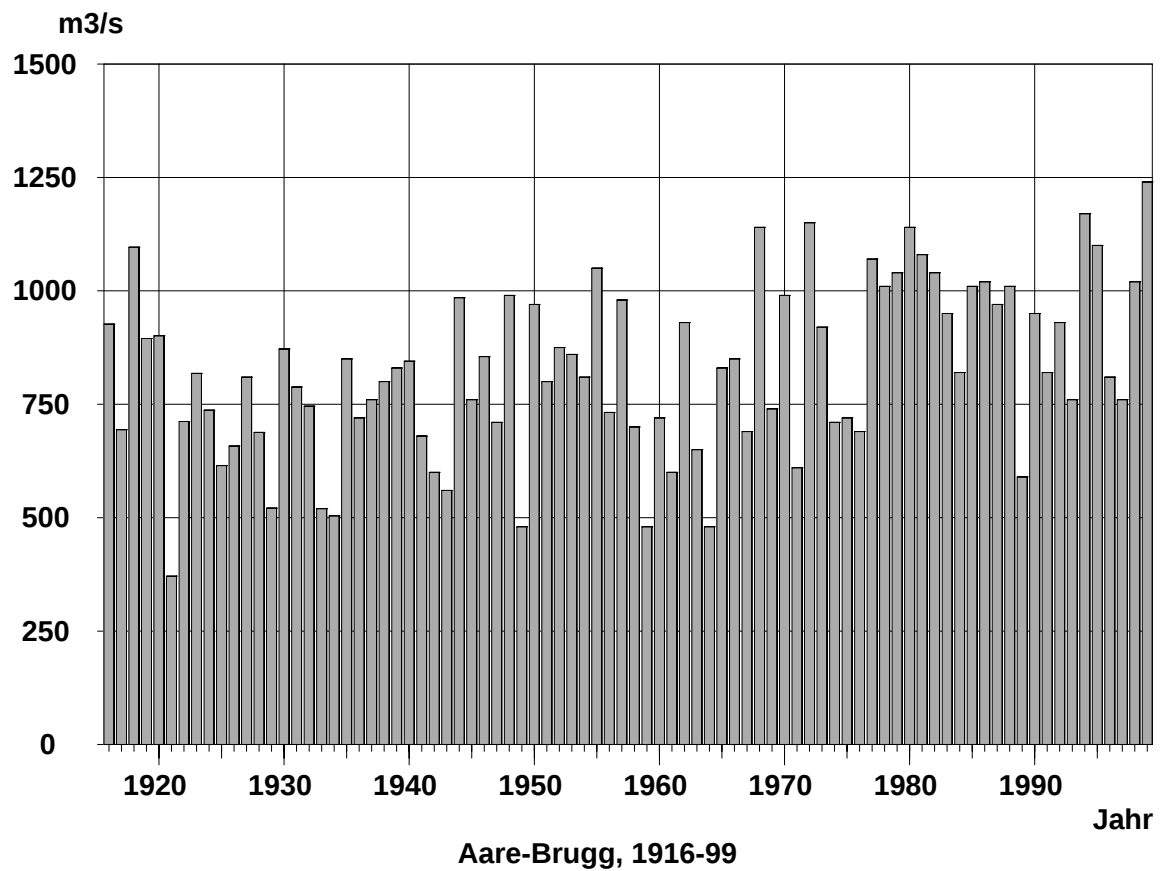
Limmat - Baden

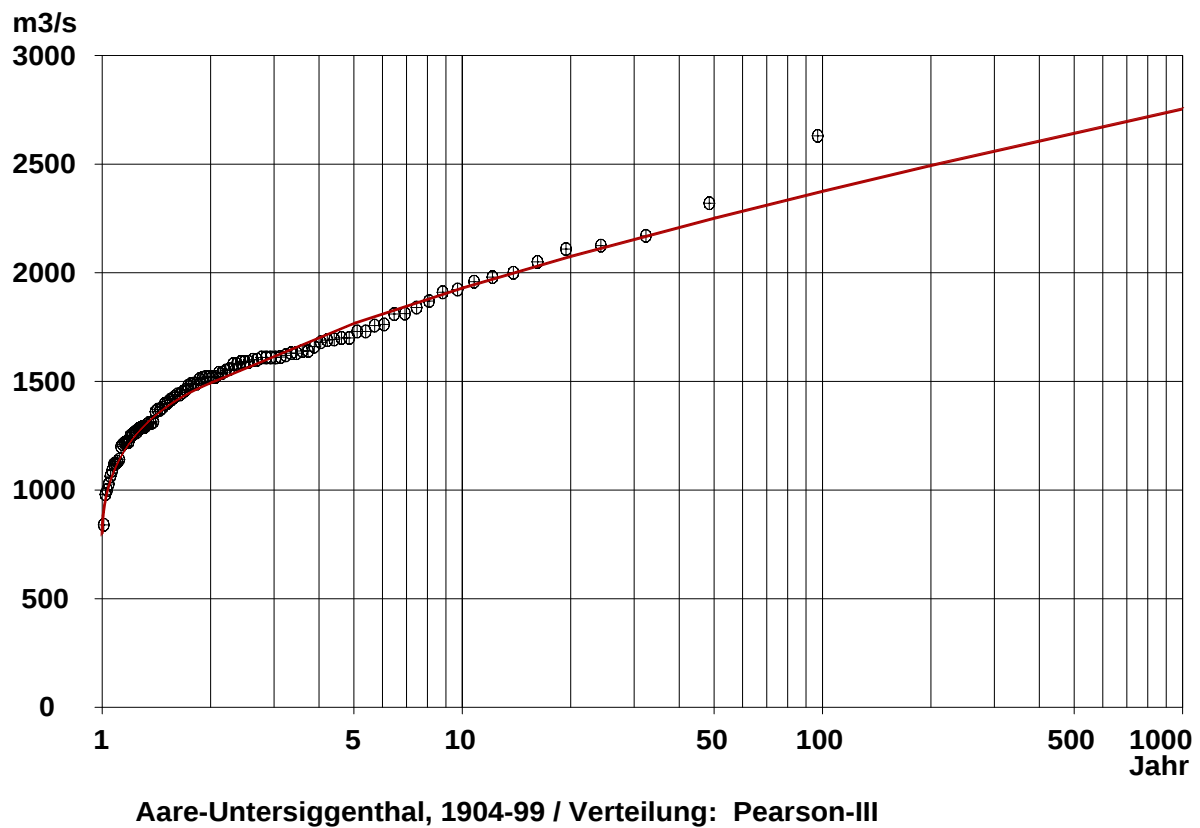
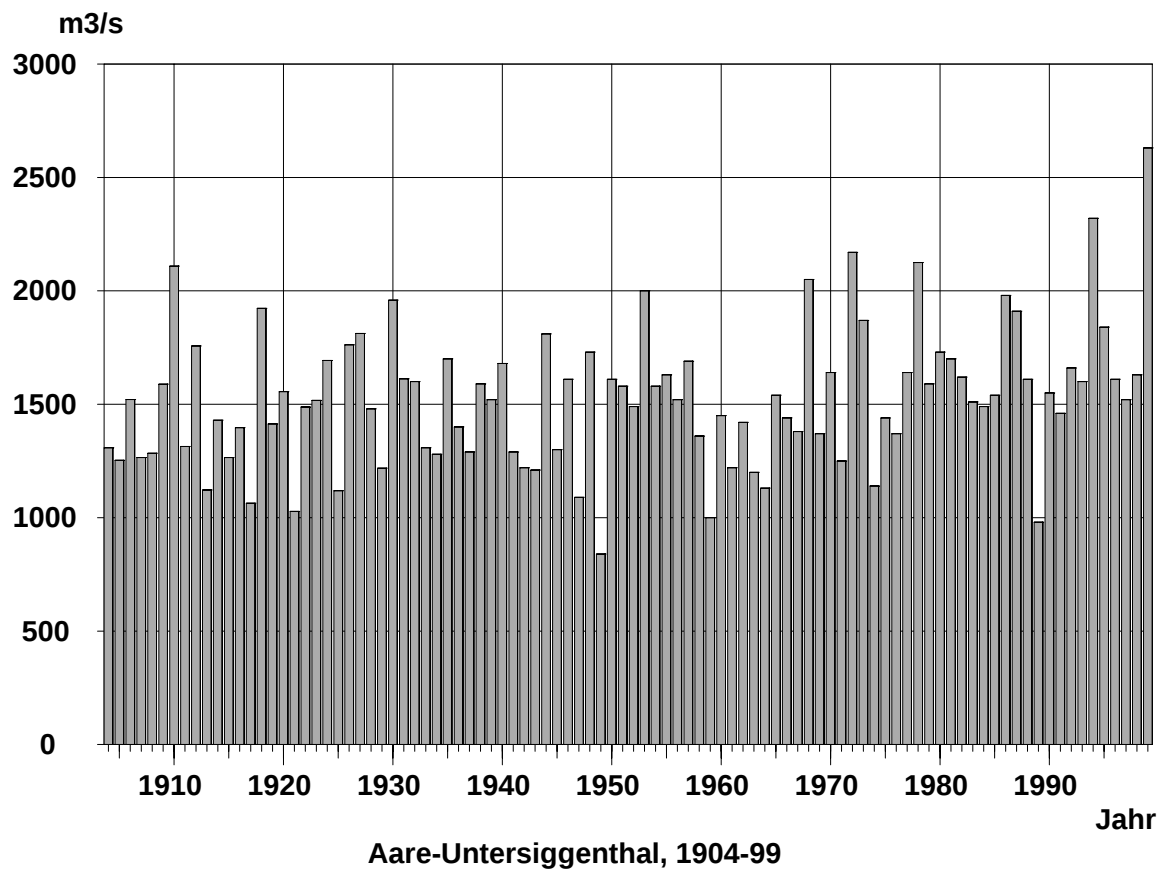
Grundlage: Jahreshochwasser 1920-99

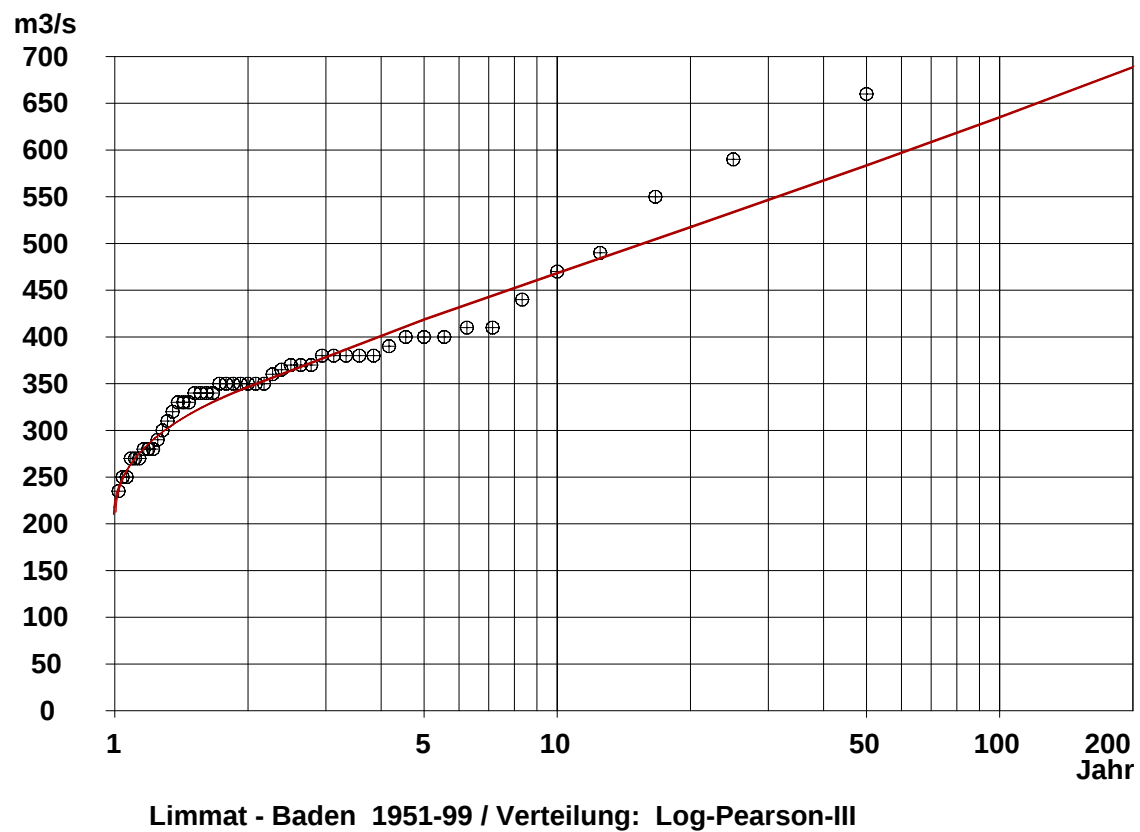
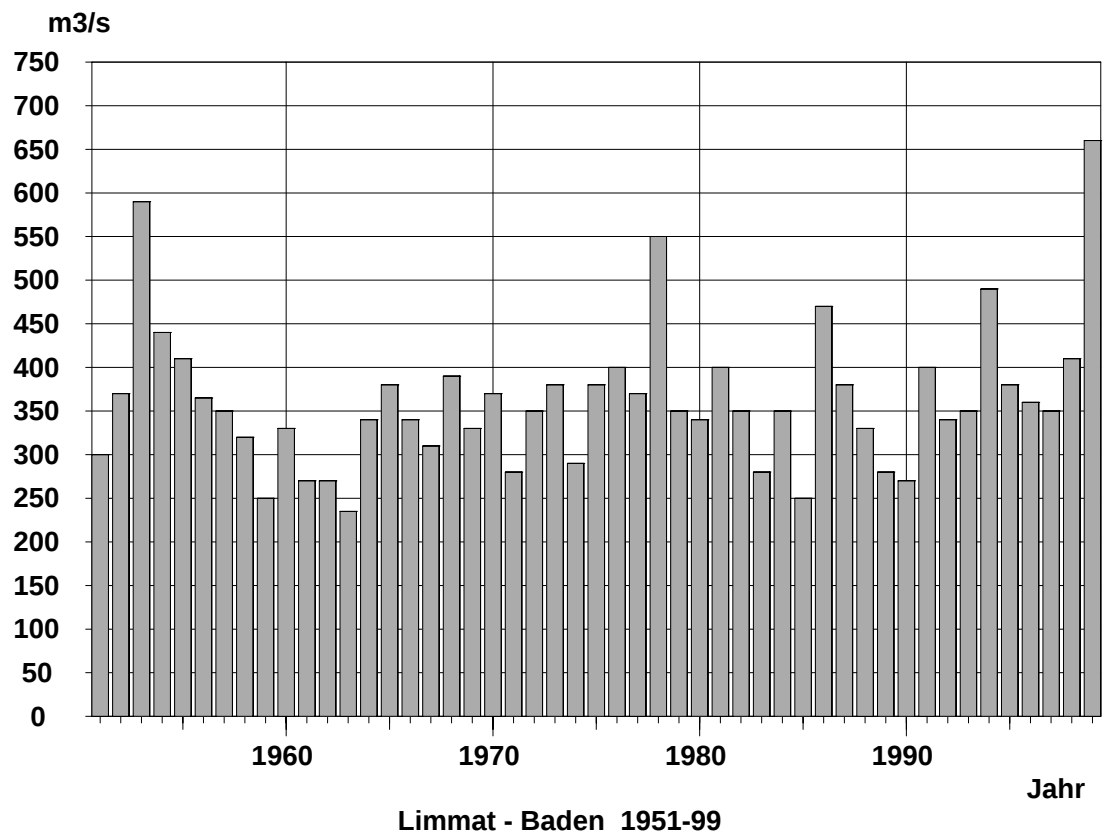


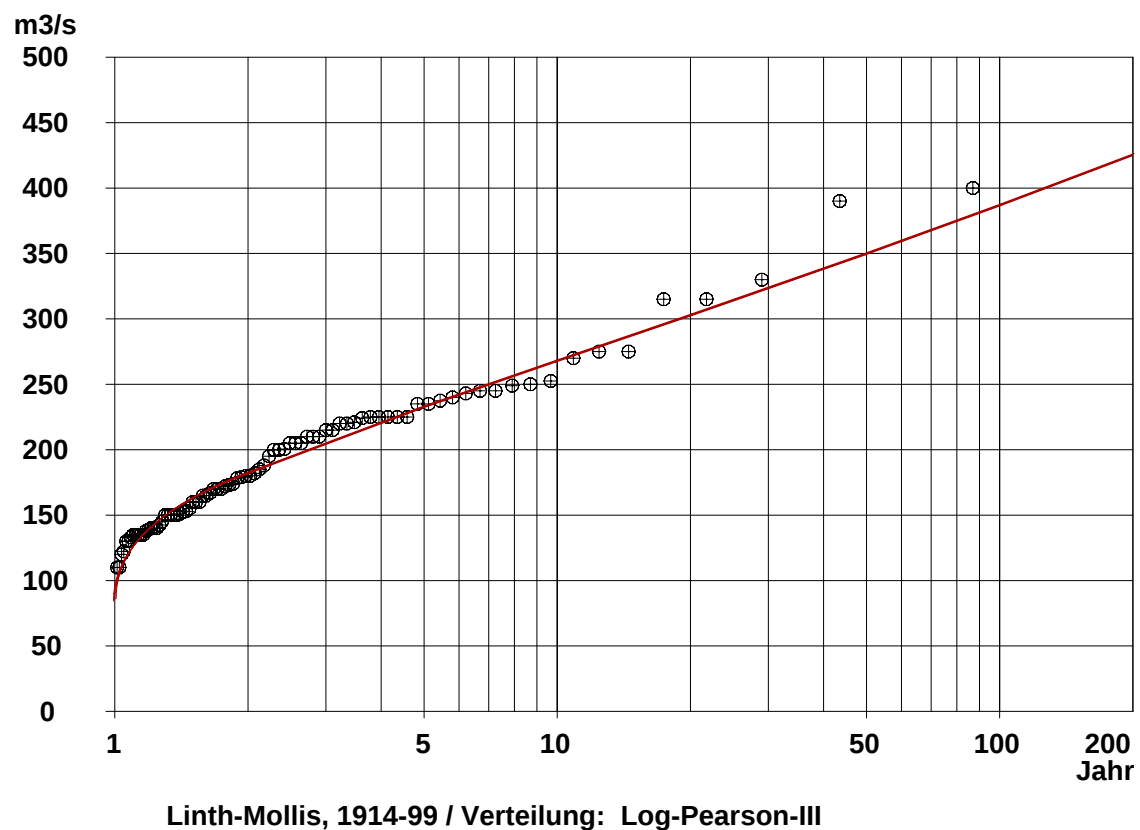
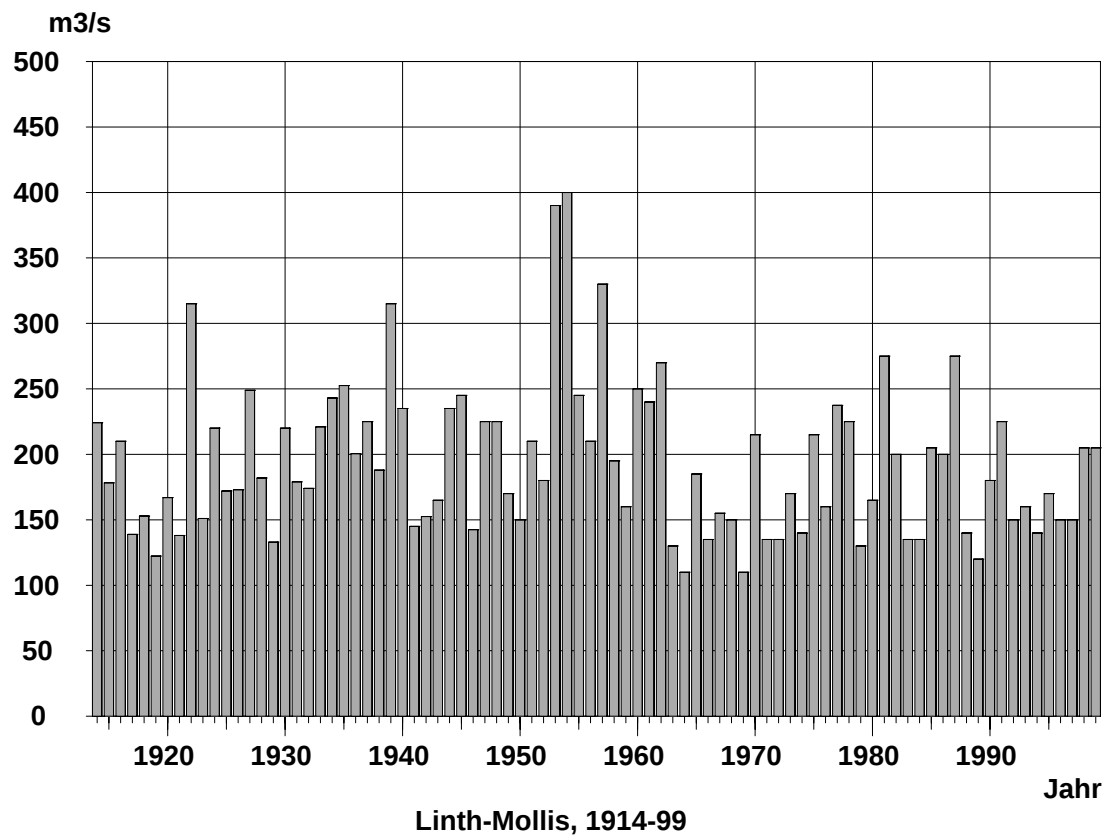


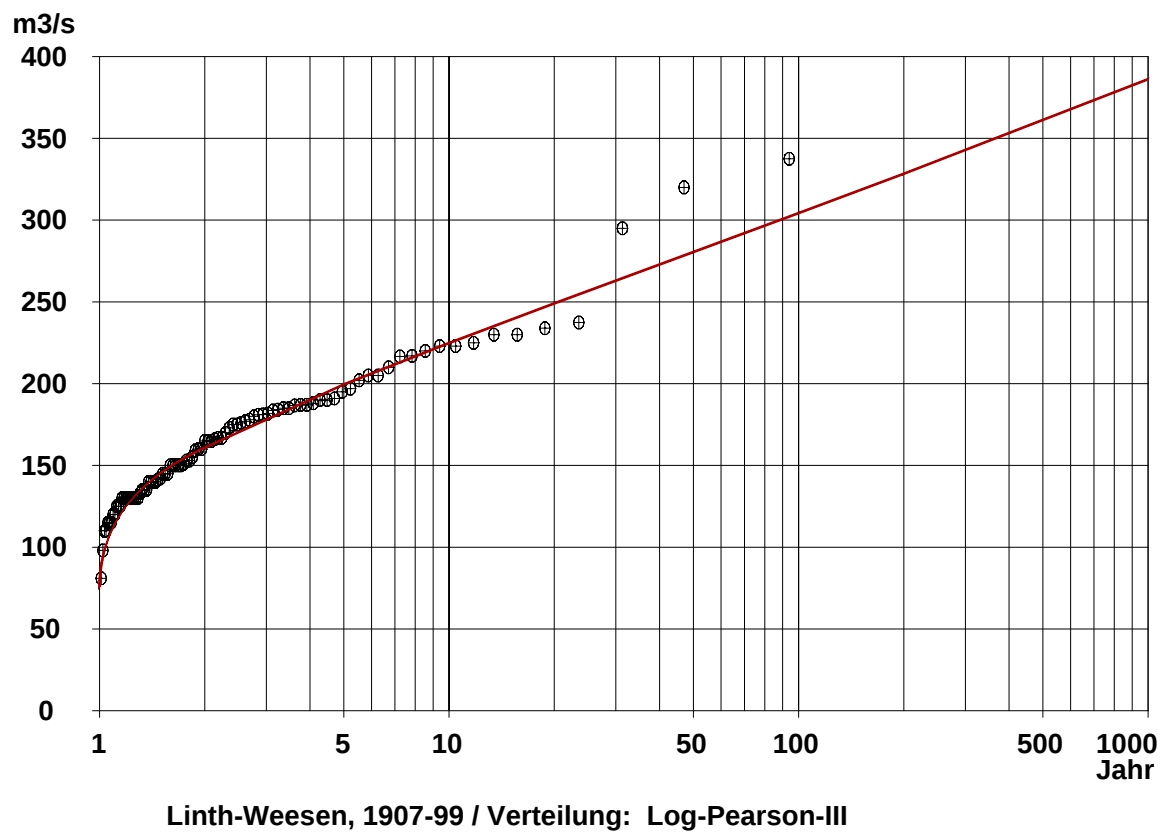
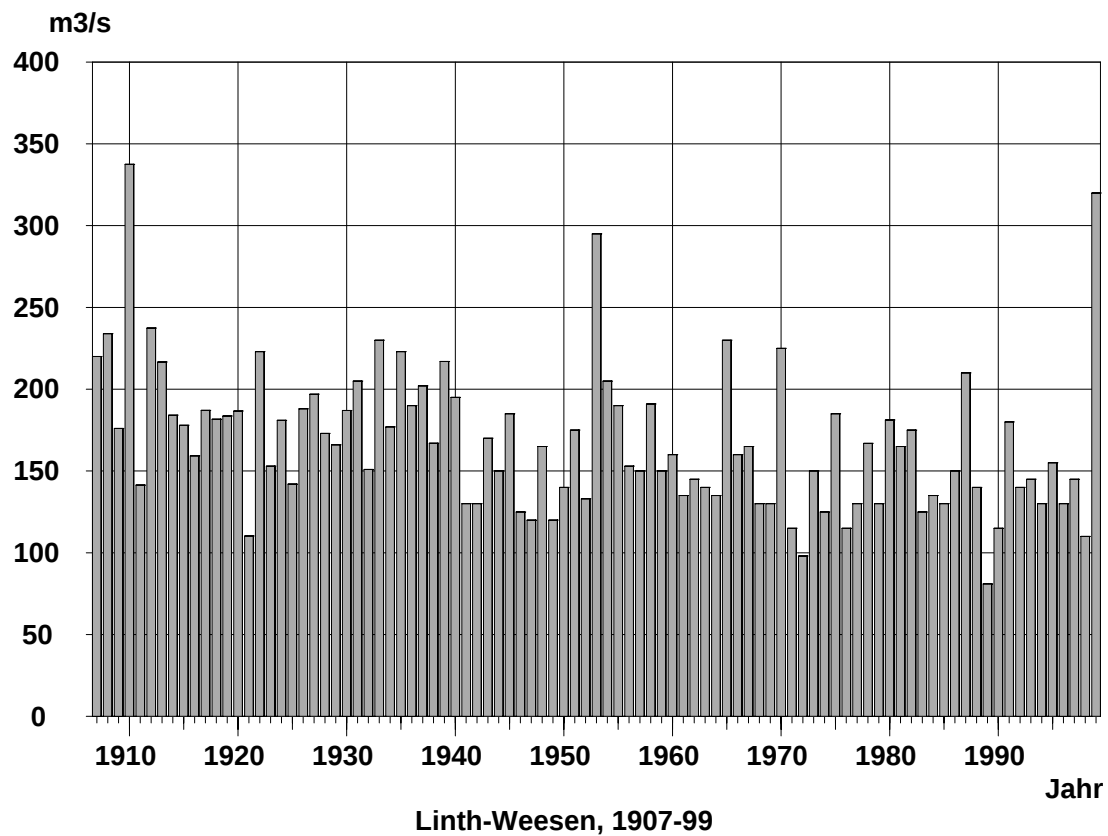


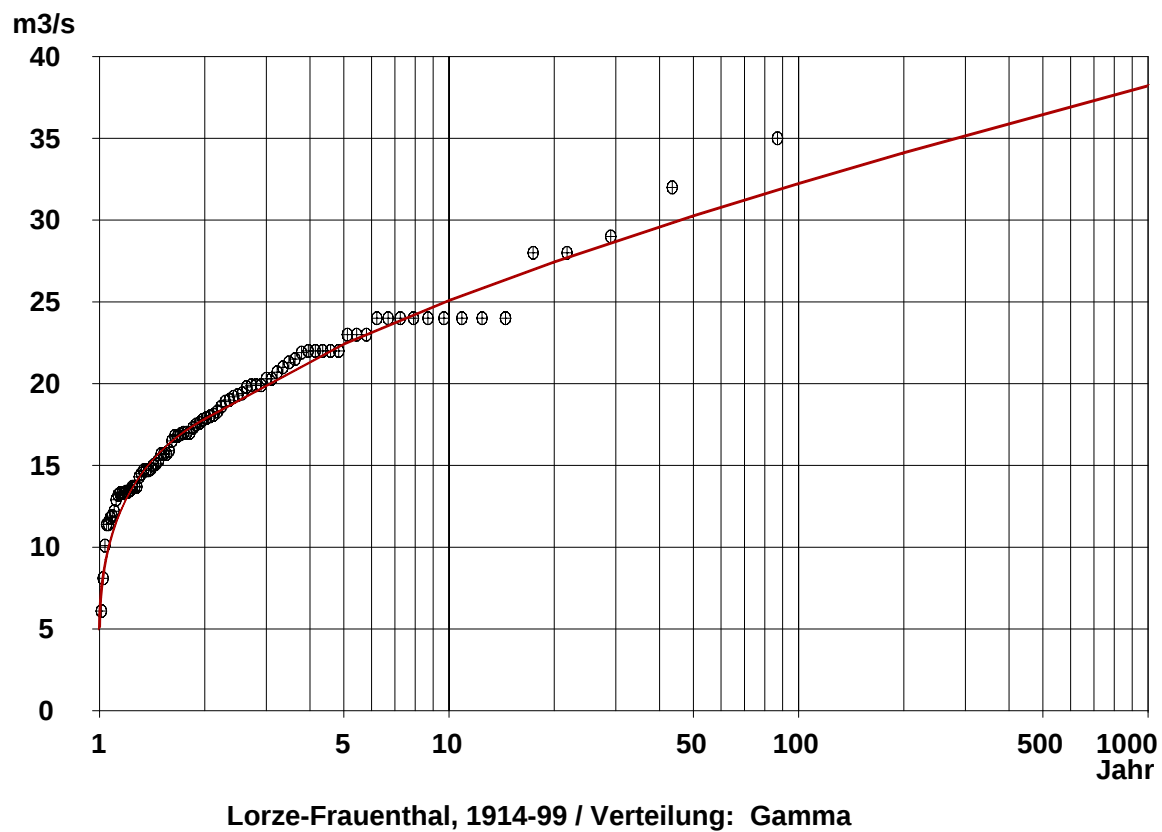
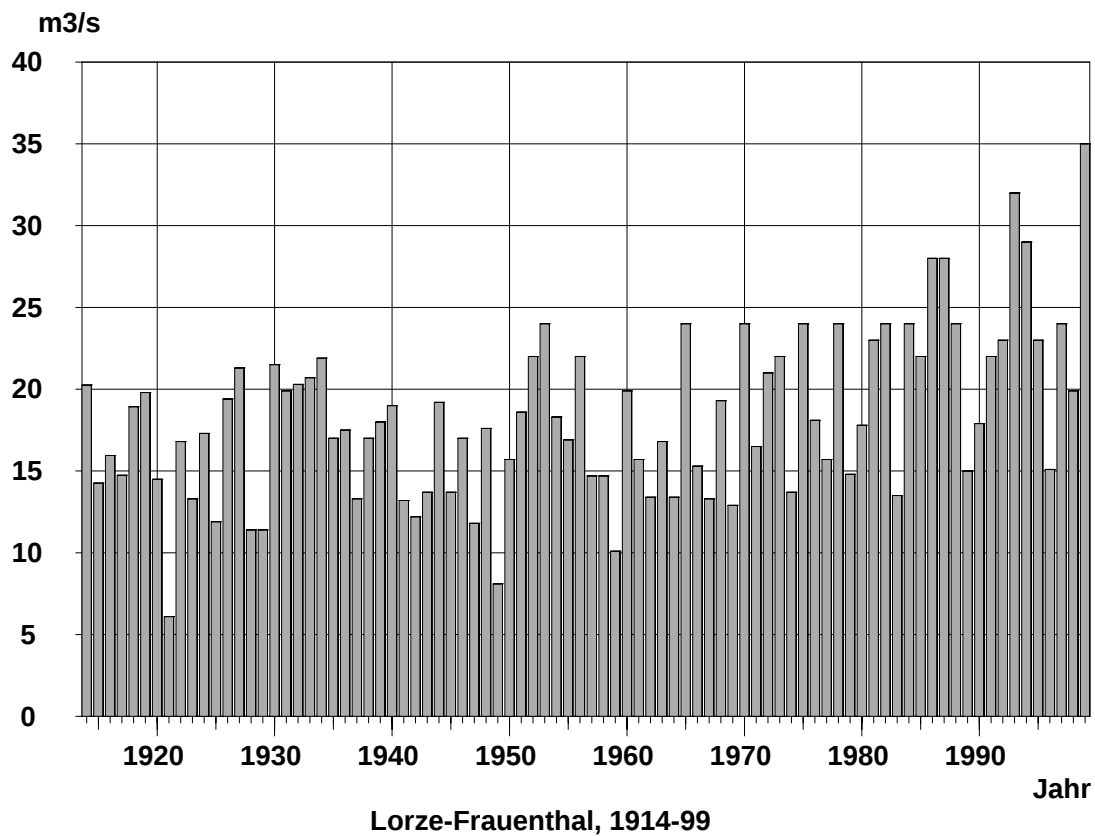


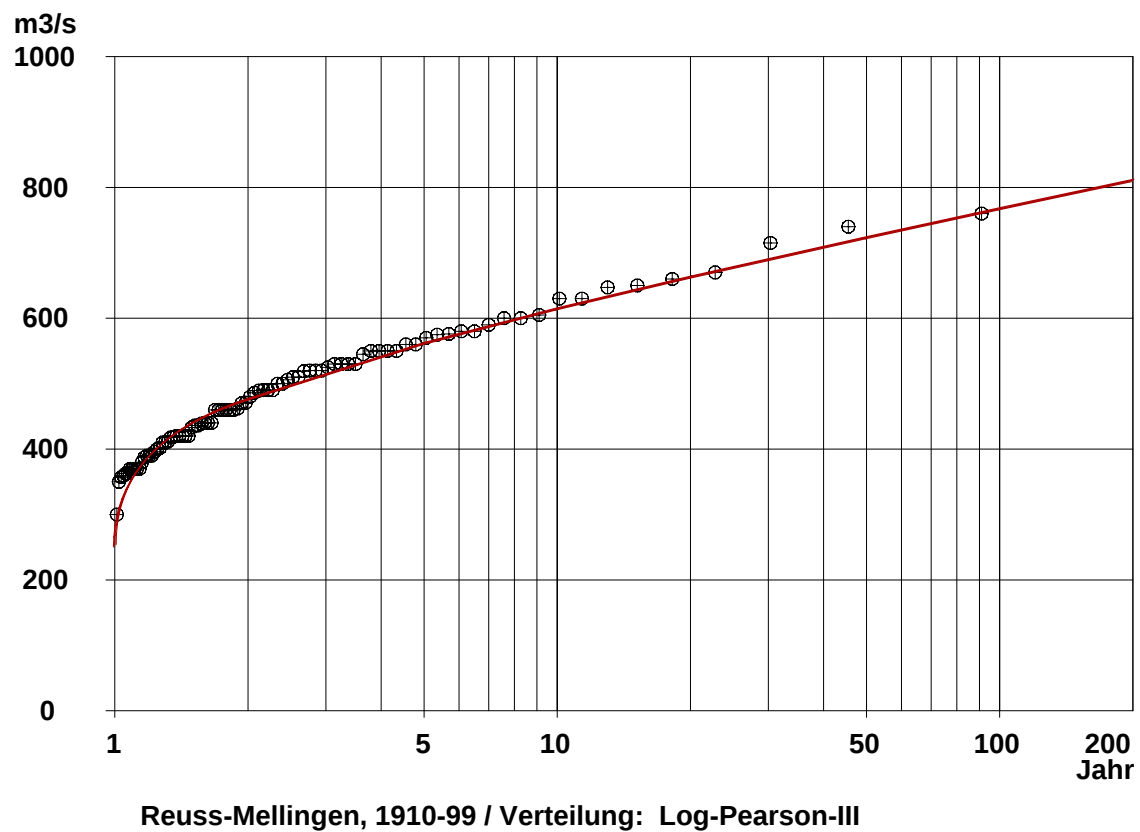
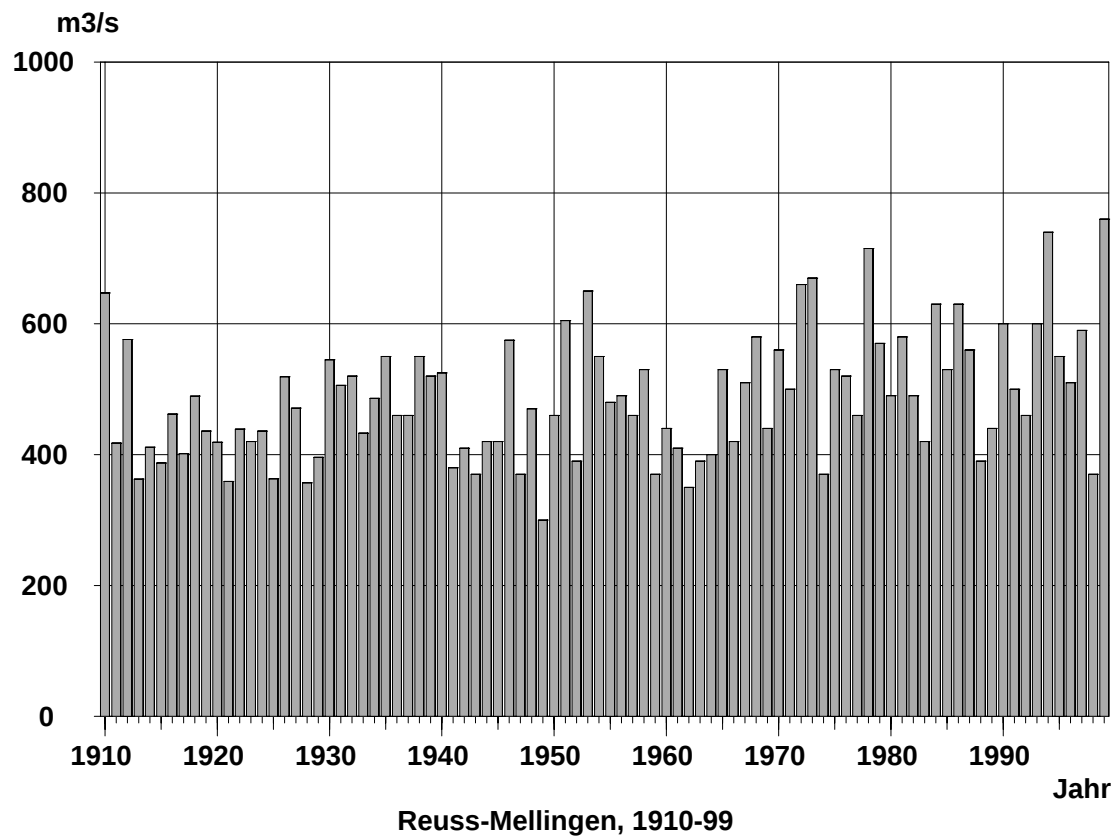


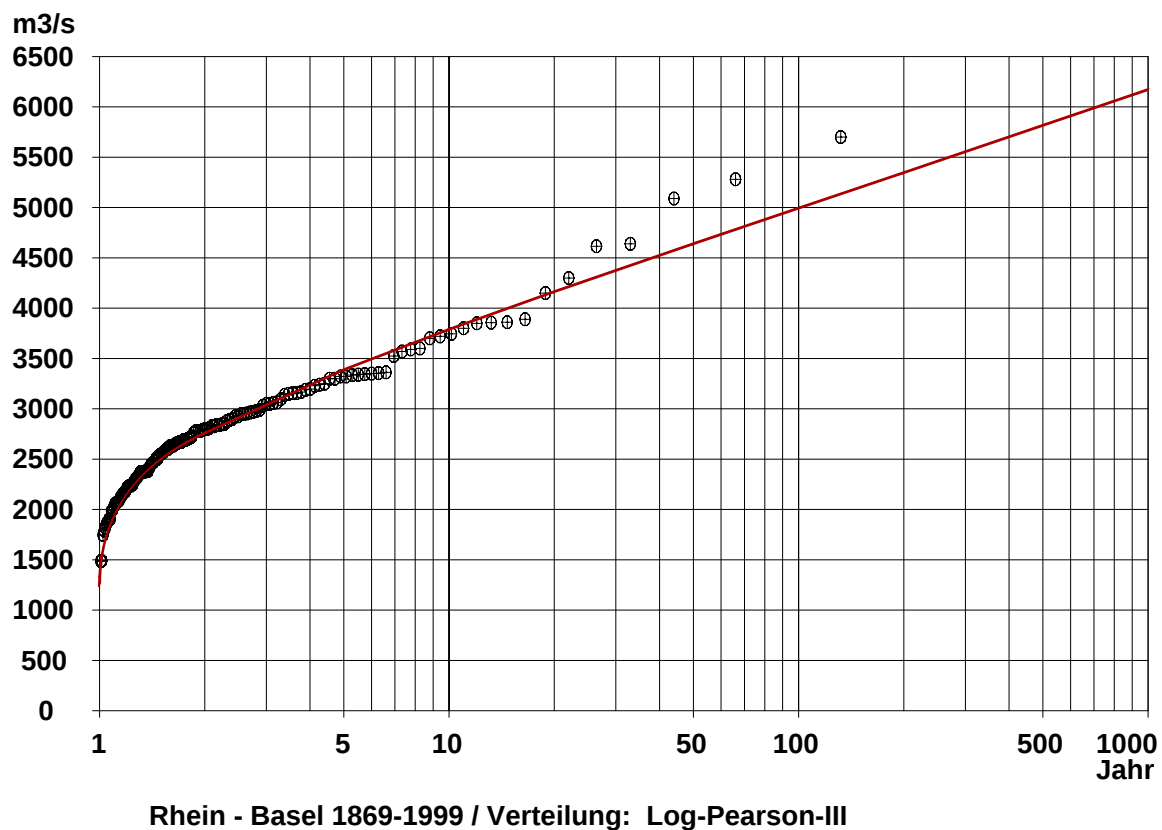
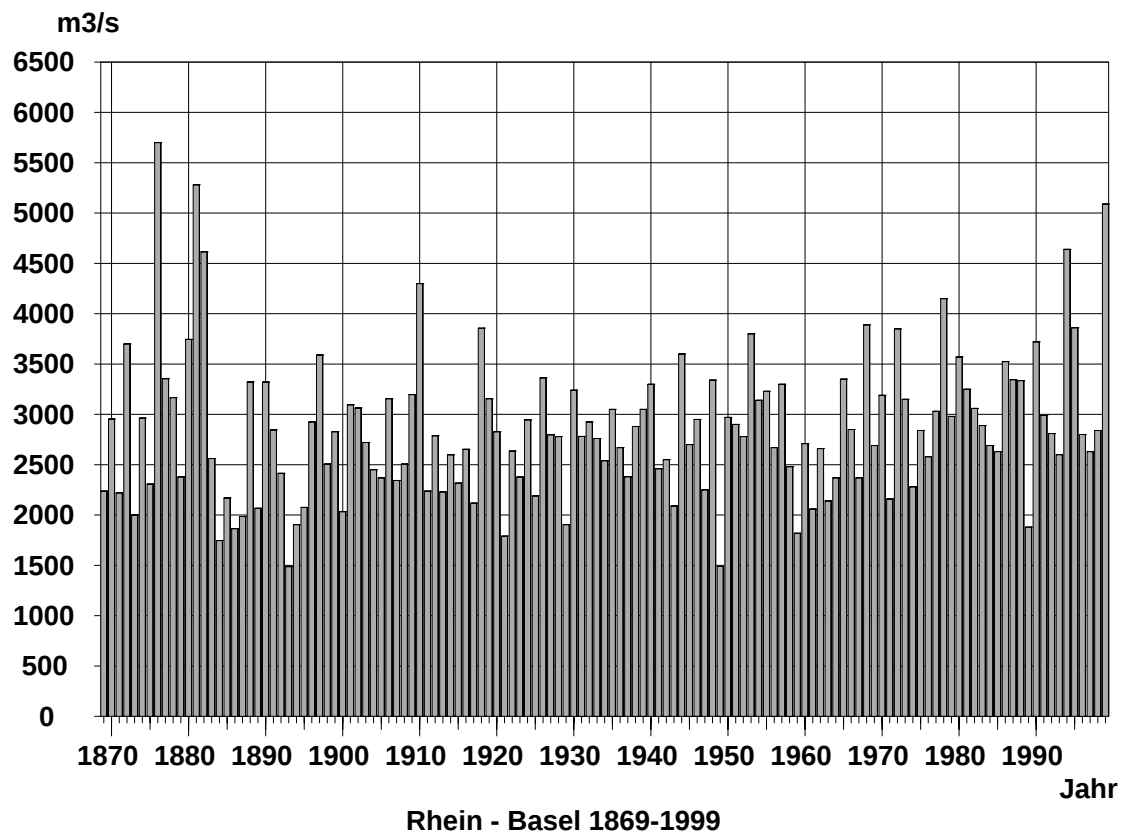


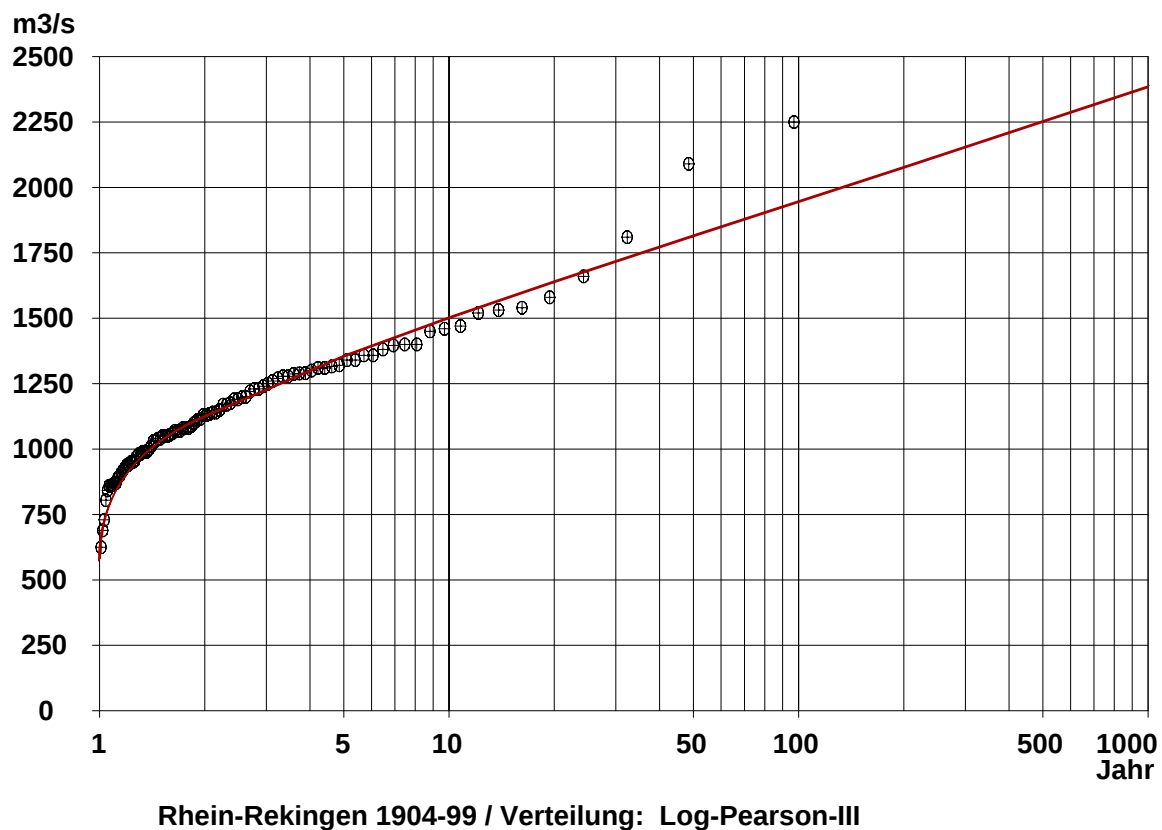
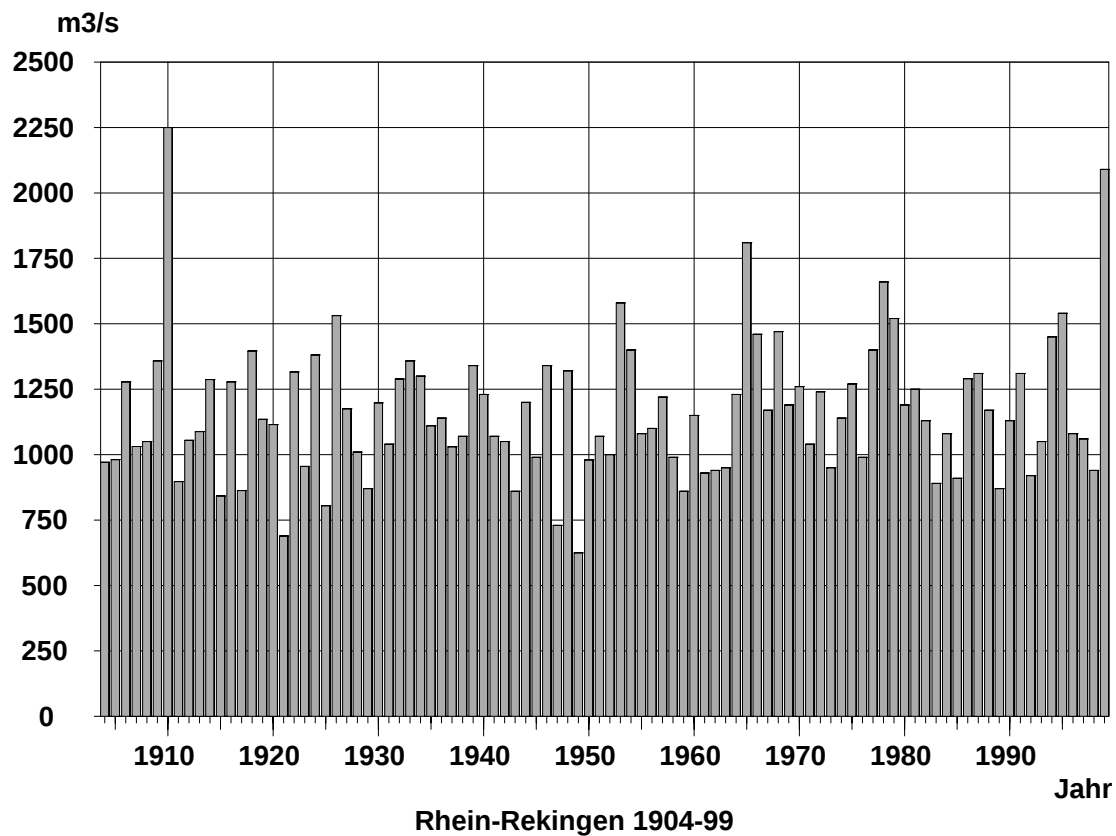


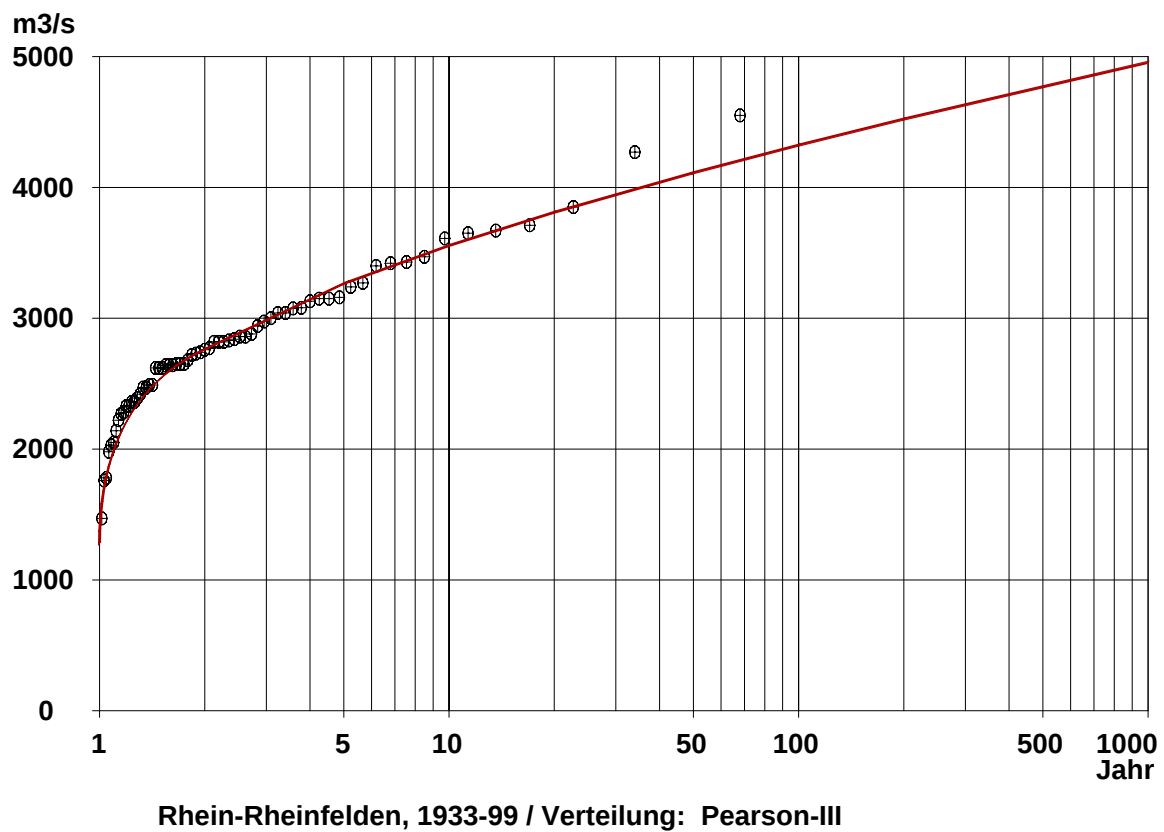
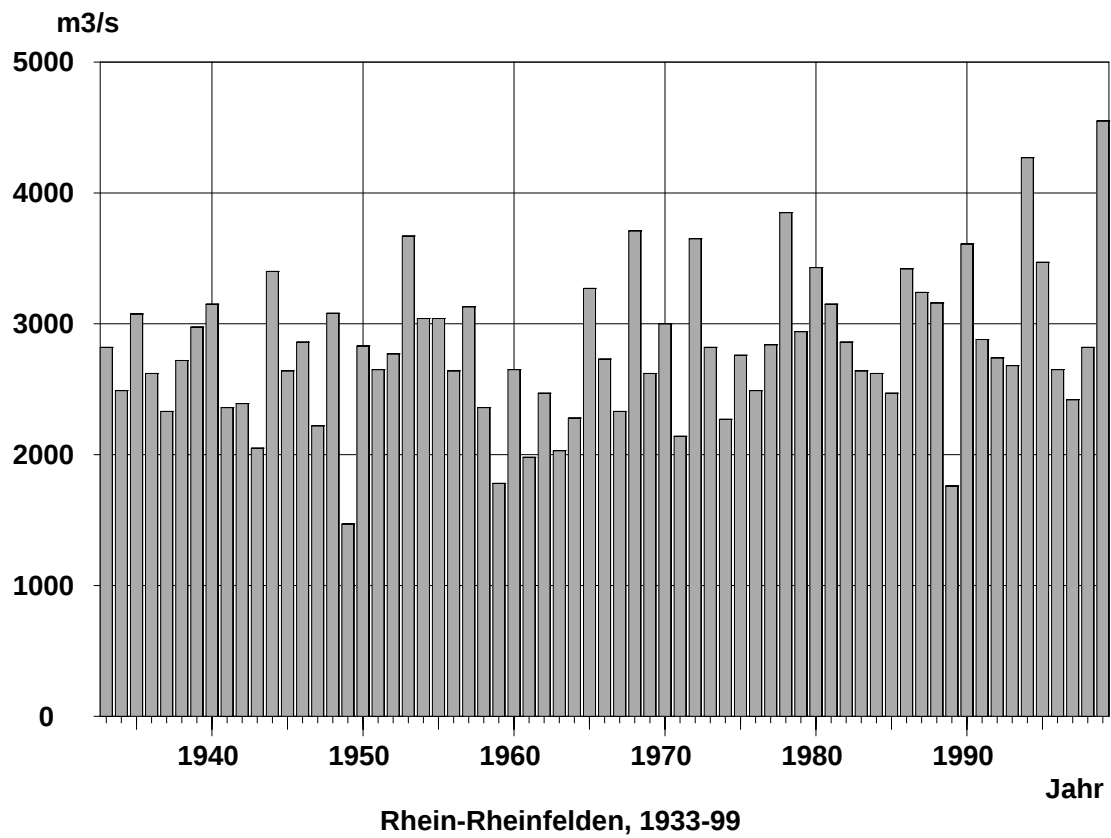


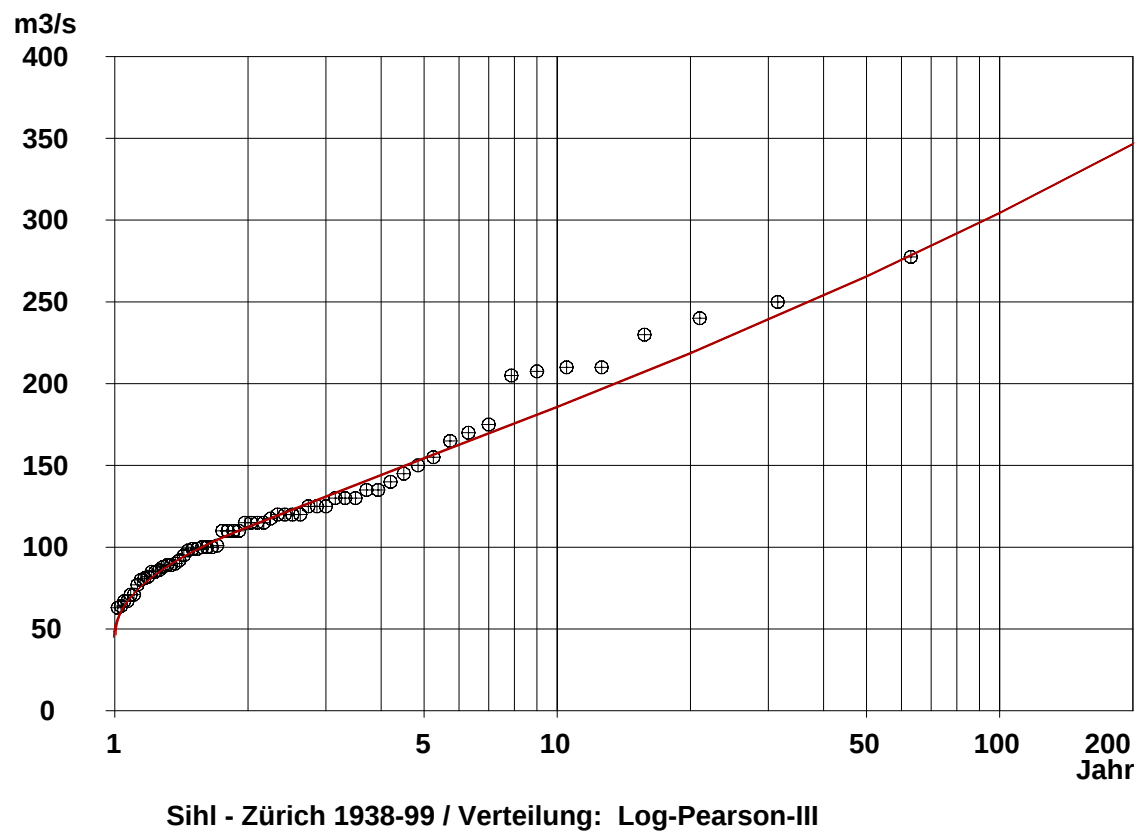
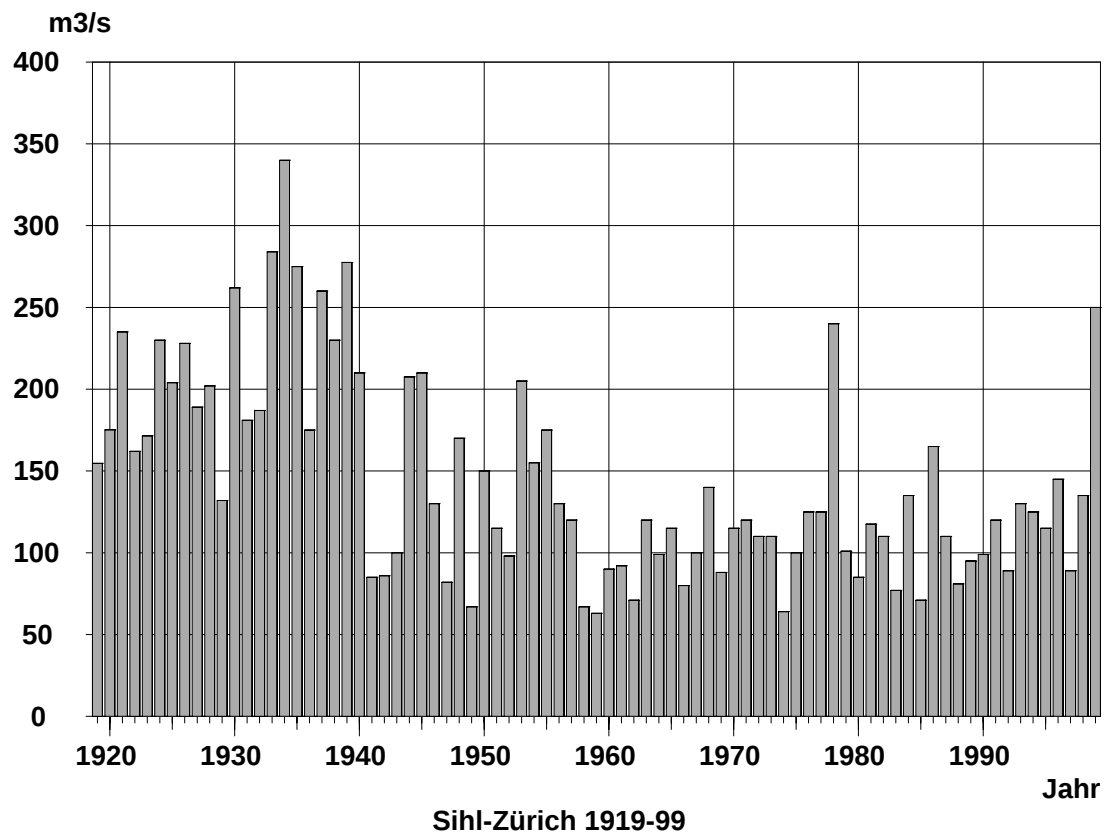


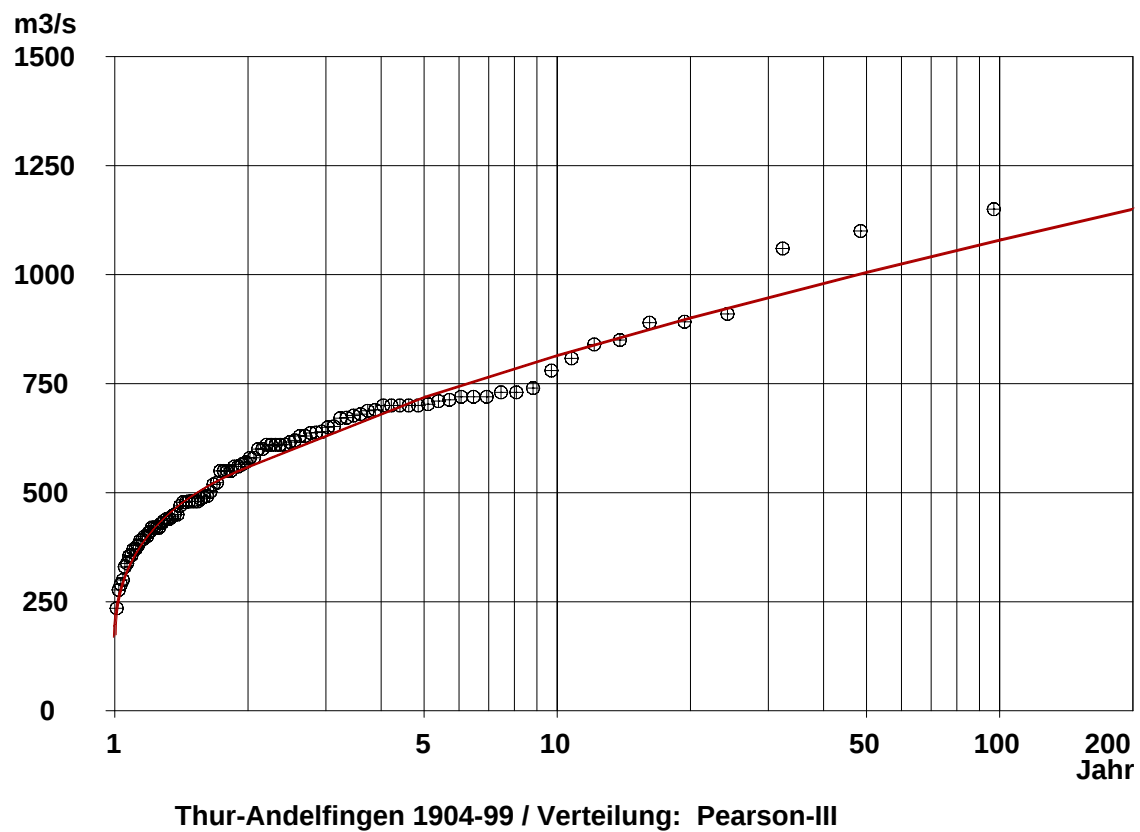
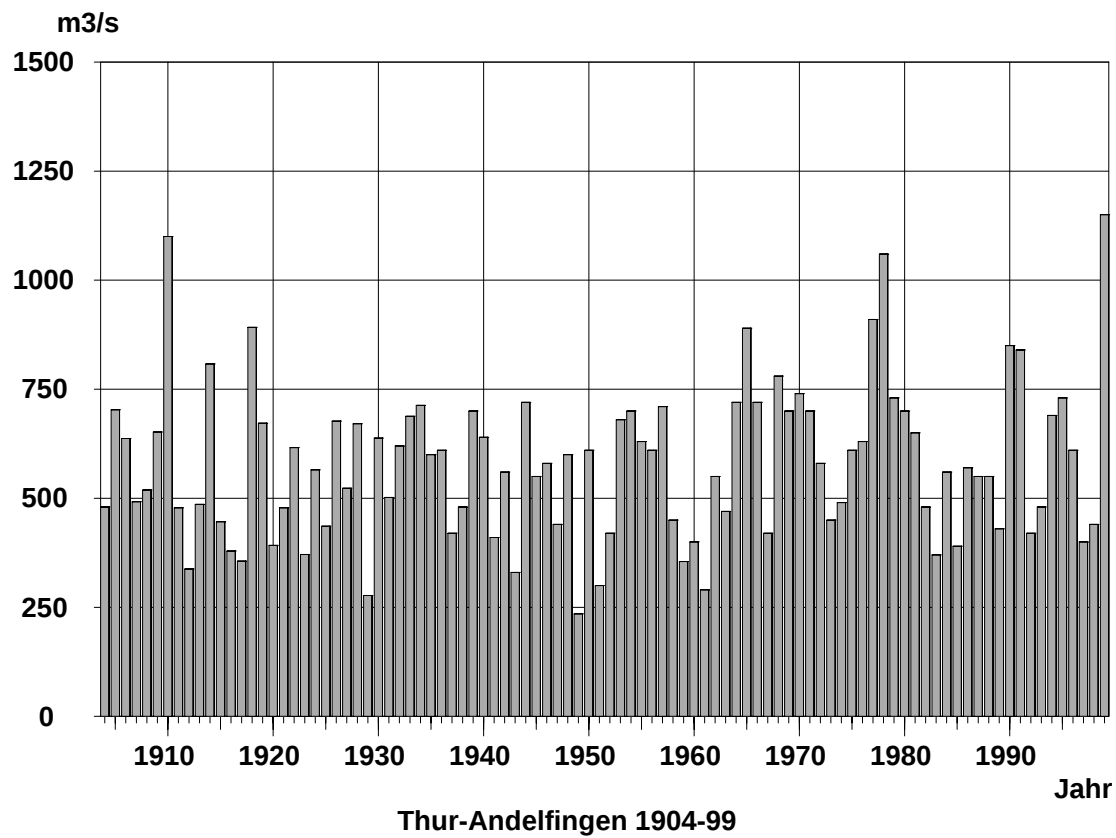


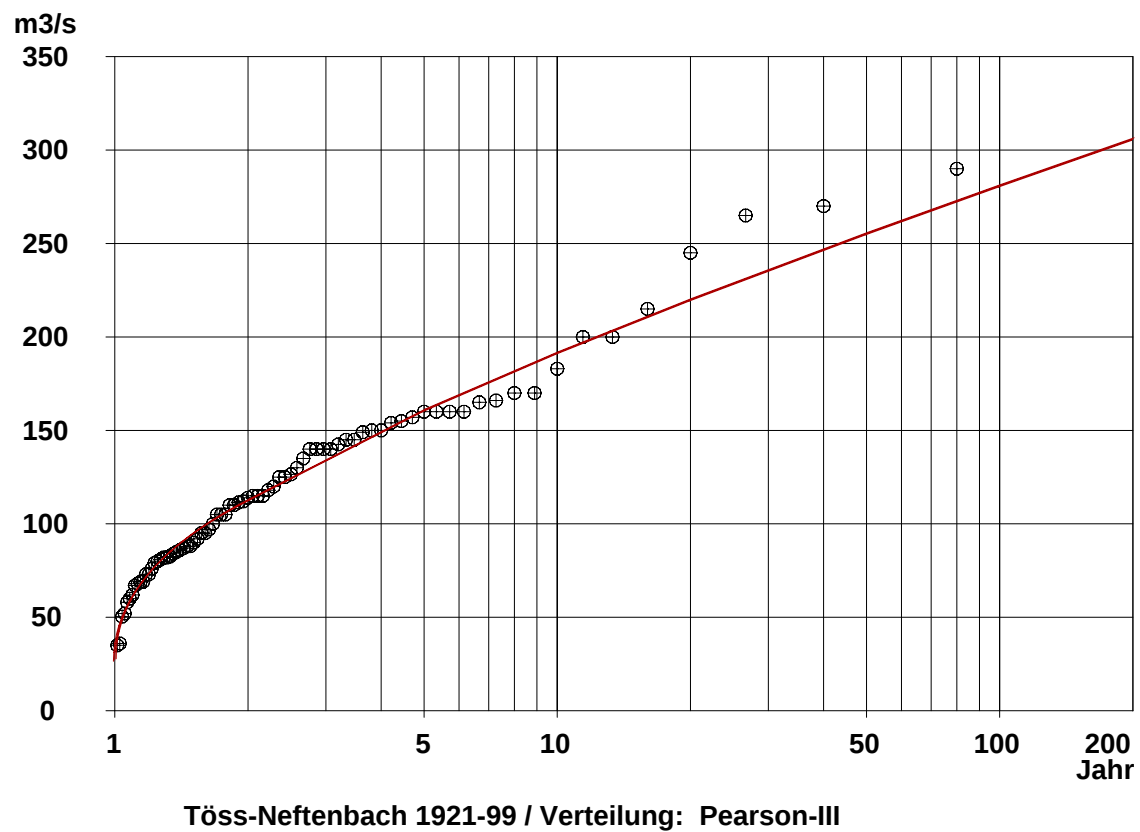
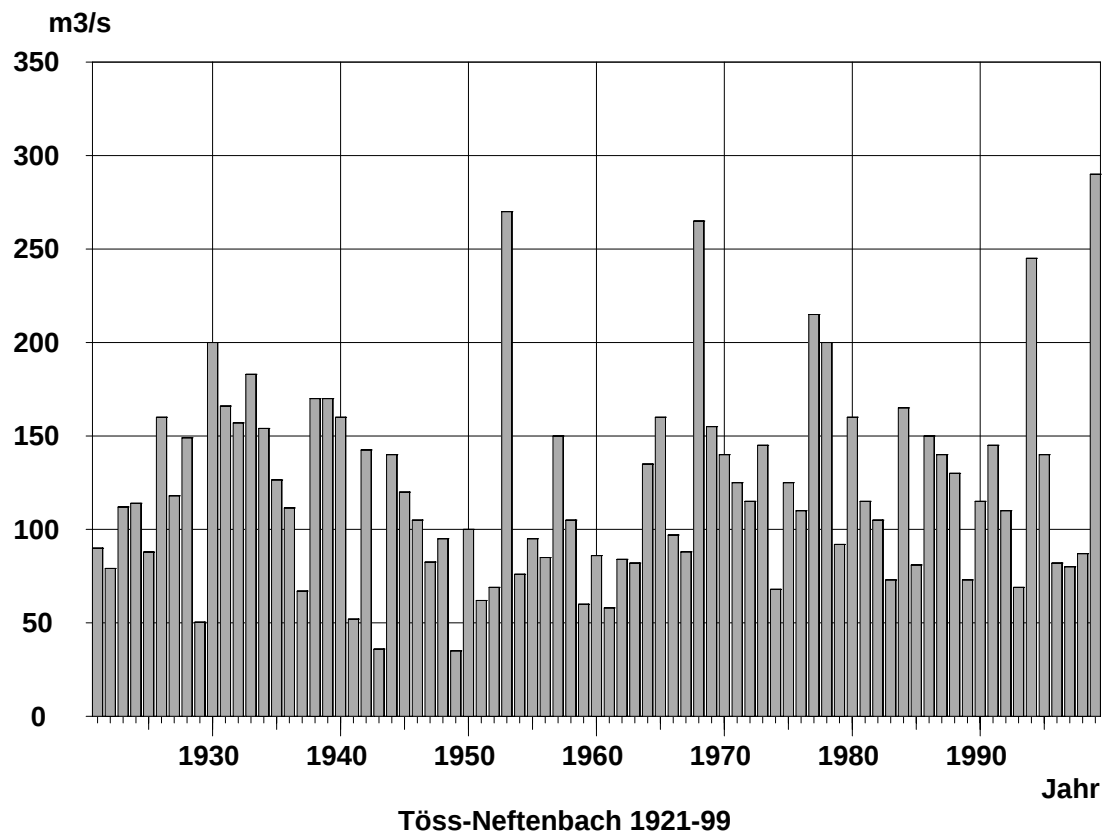












Hydrologische Mitteilungen - Communications hydrologiques

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	vergriffen
Nr. 4a	1983	Guide pour les jaugeages de cours d'eau	épuisé
Nr. 5	1983	M. Spreafico, P. Buttet Verzeichnis der schweizerischen Pegelstand- und Abfluss- messstationen an Oberflächengewässern Catalogue des stations suisses de mesures des niveaux et des débits (eaux de surface) Catalogo delle stazioni svizzere di misura del livello e della portata (acque di superficie)	vergriffen épuisé 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	vergriffen
Nr. 10a	1988	H. Aschwanden, B. Schädler Les crues de 1987 en Suisse Résultats de mesures et analyses	épuisé

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 Niederrwasserabflussmenge 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	épuisé
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 premières conclusions	Fr. 20.--
Nr. 20	1994	Handbuch für die Abflussmengenbestimmung mittels Verdünnungsverfahren mit Fluoreszenztracer	Fr. 20.--
Nr. 21	1995	B. Schädler, R. Bigler Wasserhaushalt der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz	Fr. 30.--
Nr. 22	1995	P. Buttet, A. Eberhard Das Eidgenössische Grundwasser- Beobachtungsnetz - Le réseau fédéral d'observation des eaux souterraines - La rete federale per l'osservazione delle acque sotterranee	Fr. 30.--
Nr. 23	1996	H. Aschwanden Einzugsgebietskenngrössen der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz Caractéristiques physiographiques des bassins de recherches hydrologiques en Suisse	Fr. 40.--
Nr. 24	1996	100 Jahre Eichstätte für hydrometrische Flügel Hydrologisches Seminar vom 4./5. November 1996 in Ittigen b. Bern	Fr. 25.--

- | | | | |
|--------|------|---|------------|
| Nr. 25 | 1998 | A. Jakob
Datenbank Gewässerzustand:
Überblick, Datentransfer, Auswertungsmöglichkeiten
Banque de données de l'état des eaux:
Aperçu général, transfert des données, procédures
d'exploitation offertes | Fr. 20.-- |
| Nr. 26 | 1998 | D. Wyder
Handbuch der Pegelmessung | vergriffen |
| Nr. 27 | 1999 | H. Aschwanden, C. Kan
Die Abflussmenge Q_{347} – Eine Standortbestimmung
Le débit d'étiage Q_{347} – Situation actuelle | |
| Nr. 28 | 2000 | H. Aschwanden
Hochwasser 1999 - Analyse der Messdaten und statistische
Einordnung | |