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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 91 (1999)

Heft: 5-6

Artikel: Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999

Autor: Grebner, Dietmar / Roesch, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940056

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

qui est modulaire, et nous permet ainsi de ne commander des équipements que pour 0,8 m³/s, tout en se réservant la possibilité de s'agrandir plus tard jusqu'à 1,5 m³/s. Nous réalisons de ce fait une économie, puisque nous n'avons pas à investir aujourd'hui pour d'hypothétiques besoins dans vingt ans. Il est également remarquable que la technique des membranes progresse très vite, et il est fort probable que nous pourrions passer d'ici deux ans à 3 m³/s si cela était nécessaire. Toute la planète commence à installer des membranes. Nous pensons à juste titre que nous avons fait le bon choix.»

Derrière l'eau du robinet...

Il y a un intérêt de la part de la population qui ne se dément pas, mais aussi le sentiment de quelque chose qui va de soi. Car, en Suisse, on ne consomme qu'une infime partie de l'eau transitant sur le territoire. Certains pays, moins bien nantis, pourraient même s'étonner que les Vaudois désinfectent cette eau si pure pompée au large du lac Léman. Parallèlement, l'information et la sensibilisation des industries comme du grand public aux problèmes mondiaux d'approvisionnement et des dangers de la pollution, conduisent peu à peu à une meilleure rationalisation/utilisation de l'eau (les statistiques montrent même une tendance de consommation plutôt en baisse: de 250 litres par jour et par habitant, la moyenne suisse actuelle est tombée en dix ans aux alentours de 180/200 litres), de même que les coûts de traitement amènent les services à détecter les fuites qui, minimes au premier abord, s'avèrent disproportionnées sur la durée.

En ce qui concerne la pureté de l'eau circulant dans les conduites de la région lausannoise, il faut savoir que plusieurs dizaines d'échantillons sont prélevés chaque semaine en divers endroits du réseau de distribution, et analysés. Au cas où une source présenterait un problème de pollution, elle est déviée durant deux ou trois semaines, et cela se passe généralement bien. Quant à la pureté de l'eau du lac qui, du reste, se régénère de lui-même, elle est en constante amélioration, notamment depuis que des stations d'épuration ont été installées un peu partout. Mais cela n'était pas le cas il y a encore seulement une quinzaine d'années, avec le phosphate contenu dans les lessives, qui avait pour effet de créer la chaîne alimentaire phosphate-algues-poissons, d'appauvrir le lac en oxygène, et de lui donner peu à peu la consistance d'un étang (ou d'un vivier). «La disparition du phosphate dans les lessives a été un grand changement pour les lacs» confirme J.-D. Favrod. «Le grand pas en avant ne provient pas tant de la multiplication des STEP que de l'abandon par les fabricants de cet élément, qui polluait considérablement.»

Aux amateurs d'eau fraîche (ils existent!) et aux plongeurs en apnée débutants, signalons que les micro-organismes ne peuvent survivre qu'avec la lumière du soleil. On ne les trouve donc que dans les premiers mètres, mais en très faible quantité dans les profondeurs, surtout lorsqu'il fait froid... et nuit.

Une construction «rustique» pour durer

Une galerie technique de 80 m de longueur, abritant deux conduites – l'une destinée à amener l'eau du lac, l'autre servant d'exutoire pour les rejets ou en cas de trop plein accidentel –, passe sous le bâtiment actuel du Service des eaux, puis sous la route cantonale pour ressortir sur la rive. Dès l'hiver prochain, une conduite sera posée à même le fond sur 600 m de longueur jusqu'à 65 m de profondeur. Celle-ci se relèvera à son extrémité sur une hauteur de 15 m pour recevoir la crépine, de façon à capter l'eau à 50 m de profondeur sans risque d'aspirer d'éventuels mouvements de boues dus à de possibles affaissements de fonds.

L'usine sera opérationnelle avec une première partie des équipements au printemps 2000, une seconde partie au printemps 2002 permettant de passer à 0,8 m³/s. Une conduite actuellement en construction au travers des vignes entre Lutry et La Croix-sur-Lutry, et la mise en place d'un réservoir et d'une station de pompage sur ce dernier site permettront de se raccorder sur les trois conduites principales du Pays d'En-Haut, du Pont-de-Pierre et du lac de Bret alimentant déjà Lausanne et passant par La Croix-sur-Lutry. Ce sera donc trois arrivées de plus pour Lausanne pour de l'eau traitée à Lutry.

En conclusion, relevons qu'aujourd'hui la conception de ce type d'ouvrage sur le plan du génie civil vise à une extrême robustesse et à une durabilité d'un siècle et plus. J.-D. Favrod confirme: «Bien que renfermant des équipements de la dernière génération, c'est une construction ‹rustique›, si on la compare à celles des années 70, par exemple, période durant laquelle on recherchait plus la performance que la durabilité. Sans tomber dans les prouesses techniques, nous avons d'abord cherché à construire simplement et dans les règles de l'art, avec des bétons bien mis en place et sans aucun revêtement, le béton étant déjà le meilleur revêtement qui existe.»

Adresse de l'auteur: *Eric de Lainsecq,* journaliste architecture, énergie, techniques, Ancien Collège, CH-1853 Yvorne.

Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999

Dietmar Grebner und Thomas Roesch

Zusammenfassung

Für den Niederschlag zur Hochwasserperiode vom 11. bis 15. Mai 1999 ist ein klassischer Typ der atmosphärischen Zirkulation verantwortlich. Das Hochwasser weist aber Merkmale auf, die nicht allein auf den Ereignisniederschlag zurückzuführen sind: rasches und starkes Ansprechen des Abflusses auf den Niederschlag, der zwar als stark, aber nicht als extrem einzuordnen ist, sowie grossräumiges Auftreten, auch in Gebieten ausserhalb der Niederschlagszentren. Die Ursachen sind in einer zeitlichen Abfolge von begünstigenden hydrometeorologischen Entwicklungen vor und während des Ereignisses sowie in einem räumlichen Aneinandergrenzen der Hochwasserbildung in der Hauptniederschlagszone und der stark durch Schmelzwasser belasteten Zone am Alpenrand zu finden. Die Analyse hat zum Ziel, die Vorgänge mit quantitativen Gewichten zusammenzustellen. Sie ersetzt aber nicht eine umfassende Nachmodellierung.

1. Einleitung

Zwischen dem 11. und 15. Mai 1999 wurde die gesamte nordalpine Schweiz östlich der Juraseen von Hochwasser betroffen. Im Niederschlag-Abflussprozess eines Einzelereignisses bestimmen die individuellen Gewichte der Prozesskomponenten die Charakteristik des Hochwassers,

d. h. den räumlichen und zeitlichen Verlauf. Bei Regen als massgebende Ursache konzentrieren sich die entsprechenden Hochwasserentwicklungen und Schäden auf den intensivsten Bereich des Niederschlagsfeldes und von dort gegebenenfalls gerinneabwärts.

Insbesondere die erste Phase des zu diskutierenden Ereignisses wich von diesem Muster ab. Ebenso erwies sich der rasche Anstieg der Wasserstände einschliesslich Oberflächenabfluss und Muldenwasserbildung im gesamten Gebiet als bemerkenswert. Diese Umstände deuten zusätzlich zum Ereignisregen auf Beiträge der weiteren Prozesskomponenten mit regional unterschiedlichen Gewichten hin. Eine Analyse verlangt deshalb eine räumlich und zeitlich differenzierte Betrachtung mit unterschiedlichen Einflussperioden der hydrometeorologischen Entwicklung. Die nachfolgende Darstellung wurde vom Bundesamt für Wasserwirtschaft angeregt. Das Ziel zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist eine strukturierte Übersicht über die verschiedenen relevanten Prozesse sowie deren quantitative Beurteilung. Die Darstellung beinhaltet keine Modellierung der Vorgänge, sondern kann vielmehr eine geeignete Ausgangsinformation geben. Der Bedarf einer expliziten Nachrechnung betrifft vor allem die nach den gegebenen Messunterlagen sich abzeichnenden Schmelzraten. Ihre für den Witterungszustand hohen Beträge stellen eine interessierende Frage dar, der mit einem Einergiehaushaltsmodell nachgegangen werden sollte.

2. Daten

Die beschriebenen Bedingungen stützen sich auf folgende Unterlagen oder persönlichen Mitteilungen:

- täglicher Wetterkartensatz des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 1999),
- Messungen des automatischen Messnetzes (ANETZ) der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt sowie deren tägliche «Wetterübersicht» (SMA, 1999 a) und monatlicher Witterungsbericht (SMA, 1999 b),
- Schneemessungen des Institutes für Schnee- und Lawinenforschung in Davos (SLF: P. Föhn, persönliche Mitteilungen),
- Seestandsmessungen der Landeshydrologie und -geologie (LHG: A. Aebi, persönliche Mitteilung) und Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz (LHG, 1996),
- Lysimetermessungen im hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach bei Wil (Geographisches Institut, ETH Zürich; GI, 1999).

3. Vorgeschichte

3.1 Niederschlag

Die längere Vorperiode vor Beginn des Hochwasserereignisses war sehr niederschlagsreich. Dazu zählt einerseits die Wasserrücklage in einer überdurchschnittlichen Schneedecke, insbesondere im Februar 1999 (SMA, 1999 b), sowie andererseits weit überdurchschnittliche Niederschläge im Monat April. Im Raum Bern-Luzern erreichten die Abweichungen ihr Maximum, gegen +100 % von der Norm (SMA, 1999 b). Die hohe Anzahl Niederschlagstage (bis 20 Tage mit >0,9 mm; Mittel bis 15 Tage) war annähernd über den Monat verteilt. Der damit verbundene Bewölkungsreichtum reduzierte gleichzeitig trotz beginnender Vegetation die Verdunstungsbedingungen. Dadurch lag in den Monat Mai hinein ein hoher Bodenwassergehalt vor. Die Lysimetermessungen im Rietholzbach zeigen ab 21. April eine starke Feuchtezunahme im Boden, die in den überwiegend niederschlagsfreien Tagen zwischen 25. April und etwa 8. Mai 1999 durch Tiefensickerung und Verdunstung nur wenig abgebaut wird (GI, 1999).

3.2 Schneeschmelze

Die tägliche Schmelzrate aus der Schneedecke ist durch die Energiebilanz oder die Höhe der Schneedecke physikalisch begrenzt. Übersteigt die Schneehöhe die mögliche Schmelzrate über eine bestimmte Dauer hinweg, dann ist für den Beitrag zum Abfluss neben der Energiebilanz nicht die Höhe, sondern nur die Ausbreitung der Schneedecke von Bedeutung.

Schneehöhenmessungen an einigen Beobachtungsstationen der SMA zeigen zwischen dem 5. und 11. Mai 1999 (Beginn des Starkniederschlags) eine Schneedeckenabsenkung bis zu 60 cm (Tabelle 1).

Tabelle 1. Tägliche Messung des Schneehöhenverlaufs [cm] vom 5. bis 11. Mai 1999 (18 UTC; UTC = Weltzeit) an einigen Stationen des Messnetzes der SMA. Höhe [m ü.M.]; *: Tag mit Niederschlag.

Station	Höhe	5. Mai	6. Mai	7. Mai	8. Mai	9. Mai	10. Mai	11. Mai
Arosa	1840	31	27	23	19*	13	0*	0*
Säntis	2490	690	670	665*	650*	645	640*	630*
Gütsch	2287	270	250	240	230*	225	220*	207*
Andermatt	1440	67	64	56	48*	35	30*	20*
Grimsel	1980	374	371	363	356*	349	340*	330*

Die Tendenz ist an allen Stationen gleich. Diese Konsistenz lässt eine Abschätzung des Schmelzwasseranfalls als zulässig erscheinen. Als erste Annahme gelte ein Setzungsanteil an der jeweiligen Absenkung von 10 %. Der Verlust durch Sublimation (Verdunstung aus der Schneedecke) wird als gering eingeschätzt. Dann beträgt der geschmolzene Anteil im Mittel an den Stationen über die 6 Tage 45 cm. Als weitere Annahme gelte entsprechend der Jahreszeit ein Wasseräquivalent von 4 mm pro 10 mm Schneehöhe. Daraus ergibt sich eine Schmelzwassermenge, welche über die 6 Tage vor dem Starkniederschlag einer Niederschlagssumme von 180 mm entspricht oder im Mittel 30 mm pro Tag.

Neben dieser Abschätzung liegen von einer Stationsgruppe des SLF direkt Messungen des Wasseräquivalentes vor. An 16 Stationen zwischen 1200 und 2000 m ü.M. ist in derselben Periode (5.–11. Mai 1999) eine Ablation des Wasseräquivalentes im Mittel von 170 mm, mit einer Schwankungsbreite von ± 40 mm zu beobachten (P. Föhn, pers. Mitt., 21. Mai 1999).

In beiden Quellen befinden sich im untersten Höhenbereich ausapernde Stationen. Werden sie dahingehend interpretiert, dass sie eventuell zu wenig erfasste Expositionsunterschiede der verfügbaren Schneedecke repräsentieren, kann im Höhenbereich oberhalb von 1700 m ü. M. von einer Schmelzrate von rund 30 mm pro Tag ausgegangen werden.

Wird für die Einzugsgebiete der Alpenrandseen (Brienzer- und Thunersee, Vierwaldstättersee, Walensee/Linthkanal) eine ähnliche hypsographische Flächenverteilung angenommen wie im Alpenrhein bis Bad Ragaz, dann erfolgt die genannte Schmelzwasserrate aus rund 60 % der Einzugsgebietsflächen (*Grebner,* 1995). Dies entspricht in der Vorperiode vom 5. bis 11. Mai 1999 für den Zufluss in die Alpenrandseen einem täglichen Regen zwischen 15 und 20 mm. Die Abschätzung orientiert sich zur konservativen (tieferen) Seite hin. Um so mehr zeigt sie eine massgebende Vorbelastung der Abflüsse vor Beginn der Niederschläge.

3.3 Wasserstände der Alpenrandseen

Es sollen hier kurz die Anfangsbedingungen der regulierten Seen, unmittelbar vor dem Starkniederschlag, zusammengestellt werden (Tabelle 2). Die angegebenen Pegelwerte wurden durch die Landeshydrologie und -geologie (A. Aebi, pers. Mitt., 20. Mai 1999) zur Verfügung gestellt.

Ohne vor einer hydrologischen Modellnachrechnung bereits Kausalitäten festlegen zu wollen, bestätigt Tabelle 2, dass gegen Ende der betrachteten Schmelzperiode die Alpenrandseen mit relativ hohen Wasserständen in die Regenperiode eintraten.

Tabelle 2. Pegelstände [m] der Alpenrandseen vor Beginn des Starkniederschlags (10. Mai 1999) sowie langjähriges Monatsmittel im Mai (Mai) und langjähriges jährlich höchstes Monatsmittel (max. Monat) (LHG, pers. Mitt. und LHG, 1996).

	10. Mai 1999	Mai	max. Monat
Brienzersee	564,38	564,01	564,30 (Juli)
Thunersee	558,08	557,76	557,86 (Juli)
Vierwaldstättersee	433,75	433,59	433,88 (Juli)
Walensee	420,15	419,65	419,97 (Juni)
Zürichsee	406,11	406,00	406,05 (Juni)

3.4 Quantitative Niederschlagsprognose

Seit einer Reihe von Jahren haben die numerischen Wettervorhersagemodelle eine Qualität erreicht, dass ihre Prognosen denjenigen der klassischen Vorhersagetechnik signifikant überlegen sind. Demzufolge gehen die Wetterdienste von den Modellaussagen aus. In Tabelle 3 sind Angaben des Europamodells (DWD, 1999) einigen Beobachtungen gegenübergestellt. Für die Zeit der Hochwasserentwicklung lag die quantitative Niederschlagsprognose etwa bei 10 und 20 mm pro 12 Stunden Dauer. Dies sind kräftige, aber keinesfalls alarmierende Mengen.

Tabelle 3. Die 12stündigen Niederschlagsmengen [mm] im Raum einiger Stationen sowie die vorhergesagten Werte [mm] dazu.

	Datum	Zeitintervall	Station	Raum	Prognose
Zürich	11./12.	18–06	38	35	≤ 20
	12. 5. 99	06–18	73	60	≤ 10
St. Gallen	11./12.	18–06	48	50	≤ 20
	12. 5. 99	06–18	48	45	≤ 10
Interlaken	11./12.	18–06	18	20	≤ 20
	12. 5. 99	06–18	13	15	≤ 10
Adelboden	11./12.	18–06	34	30	≤ 20
	12. 5. 99	06–18	26	20	≤ 10

Für den Hauptniederschlagsbereich im Raum St. Gallen bis Suhr gibt die Prognose nur etwa 30 % der eingetroffenen Mengen an. Im Raum Adelboden entspricht die Prognose etwa 50 bis 60 %. Für den übrigen Alpenrand ist sie zutreffend.

4. Ereignisperiode

4.1 Entwicklung der atmosphärischen Bedingungen

Vom 5. Mai 1999 an etablierte sich über dem mittleren Nordatlantik ein kaltes Tief. Es wanderte langsam nach Nordosten und erreichte am 11. Mai 1999 Nordwestirland. Von dort baute sich eine Verbindung zu einem Tiefdruckgebiet über Skandinavien auf (Bild 1). Am Südrand dieser Tiefdruckzone ergab sich dadurch in der Höhenströmung ein langgestrecktes Starkwindband (Jet) mit parallel dazu liegender Luftmassengrenze (Front) im Bodenniveau. Diese Zirkulationsanordnung und ihre Position, das entstandene Temperaturgefälle von England bis Norditalien sowie die vertikalen Schichtungen und weitere Komponenten bildeten Voraussetzungen für starke Niederschlagsproduktion (*Grebner* und *Roesch,* 1998). Durch die geringe Verlagerungstendenz des Systems fiel der Niederschlag annähernd ortsfest, allerdings mit einer gewissen Bewegung des Zentrums der Niederschlagsproduktion von Ebnat nach Zürich–Suhr (Kapitel 4.2). Unter anderem durch die geringe Verlagerungseigenschaft des Systems zählt diese Wetterlage zu den typischen atmosphärischen Zuständen für Stark- und Extremniederschläge (*Grebner* et al., 1999).

Im Laufe des 14. Mai 1999 verliert sich durch Veränderung und Verlagerung des Systems seine Niederschlagswirksamkeit für die nordalpine Schweiz, d.h. die dortigen Hochwassergebiete.

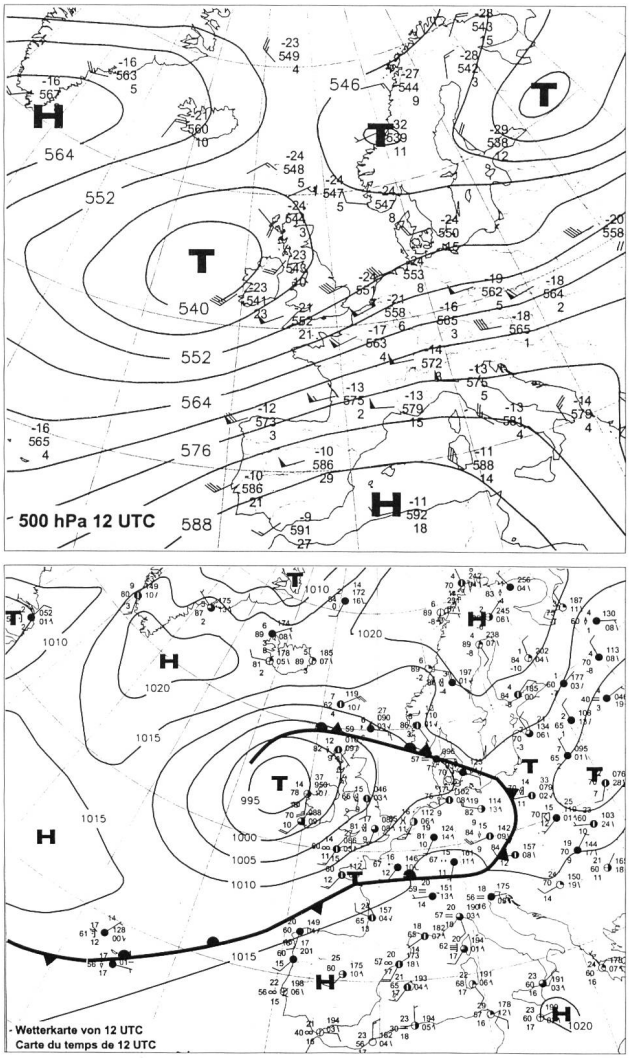

Bild 1. Höhen- (oben) und Bodendruckverteilung am 11. Mai 1999 (12 UTC) (Mit freundlicher Bewilligung der SMA; SMA, 1999 a).

4.2 Niederschlag: Verlauf und Wiederkehrperioden

Unter Verlauf seien die räumlichen Positionen der Hauptzone der Niederschlagsfelder von vielstündigen Intervallen während des Ereignisses, ihre schrittweisen Mengenänderungen und eventuelle Verlagerung verstanden.

Zum Zeitpunkt der Analyse liegen für die Interpolation der Niederschlagsfelder auf der Alpennordseite 54 Stationen vor (gesamte Schweiz: 89 Stationen). Die nachfolgende räumliche Betrachtung verwendet Isohyetenkarten für 12 bis 60 Stunden. Sie sind aus 12stündigen kalendarischen Niederschlagssummen zusammengesetzt (Messzeiten: 06–18 UTC und 18–06 UTC). Durch das Interpolationsverfahren werden in den Abbildungen die höchsten Punktwerte zum Teil etwas gedämpft (Bild 2–5).

Für die maximalen Zonen wurden auch nicht-kalendarische Summen hergeleitet.

Die verfügbaren Stationen geben ein sehr einheitliches Bild für die Zentren und den Gradienten zum Gebirge ab. Aus Konsistenzgründen lässt sich deshalb schliessen, dass die analysierte räumliche Niederschlagsverteilung trotz der begrenzten verfügbaren Stationsauswahl aus dem Ge-

samtnetz repräsentativ ist. Wegen der Grossflächigkeit der Hochwassererscheinungen sind dabei ausserdem nicht punktuelle Werte im Vordergrund, sondern Überregnungsmengen von Gebieten. Die dennoch erwähnten Punktniederschläge dienen zur Beschreibung der beobachteten oberen Niederschlagsgrenzen während des Ereignisses sowie zur Präzisierung der Interpolationen.

Die für Niederschlagserzeugung verantwortliche Hebungszone ist entlang der Luftmassengrenze West-Ost (zonal) angeordnet. Der niederschlagsreichste Bereich liegt zwischen Suhr (Station Buchs-Suhr AG) und St. Gallen (Bild 4).

Das erste 12stündige Niederschlagszentrum trat im Raum Wädenswil–St. Gallen–Ebnat, 11. Mai (18 UTC) bis 12. Mai 1999 (06 UTC), mit dem Maximum in Ebnat von 60 mm auf (Bild 2). Zum Vergleich sei an das Ereignis vom 7./8. August 1978 erinnert. Die 12stündige Niederschlagsmenge überschritt dabei grossflächig im Thurgebiet 100 mm (*Grebner* et al., 1999).

Im gegenwärtigen Fall liegt der Gebietsniederschlag über 1500 km² im genannten Raum bei 50 mm. Das entspricht nach den Vergleichsgrundlagen (*Grebner* et al., 1999) einer statistischen Wiederkehrperiode von weniger als 10 Jahren.

Das Niederschlagsmaximum verschob sich in den folgenden Stunden allmählich in den Raum Suhr–Zürich. Dort wurden in den 12 Stunden vom 12. Mai 1999 (06–18 UTC) über einer Fläche von etwa 700 km² 73 mm erreicht (Bild 3). Wird berücksichtigt, dass die Wiederkehrperioden für identische Niederschlagsmengen von Ost nach West deutlich zunehmen (*Zeller* et al., 1975), dann lässt sich der Gebietsniederschlag als etwa 30jährlich einordnen.

Für die Abflusseffizienz des Niederschlags ist jedoch nicht der in festen Messzeiten, d.h. kalendarisch gefallene, sondern der nicht-kalendarische Niederschlag von Bedeutung, d.h. die höchste in einem bestimmten Zeitintervall während eines Ereignisses gefallene Punkt- oder Gebietsmenge. Die nicht-kalendarischen 12stündigen Punktmaxima sind im vorliegenden Fall etwa bis 20 % höher. Direkt auf die Gebietsniederschläge übertragen ergeben sich dann als Wiederkehrperiode für das östliche Zentrum (um Ebnat) für 1500 km² um 10 Jahre bzw. für das westlichere Zentrum (Suhr–Zürich) für 700 km² um 60 Jahre.

Während der beiden 12stündigen Intervalle trat ein sekundäres Niederschlagsmaximum im Raum Adelboden auf. Die Niederschlagsmengen sind jedoch deutlich geringer als in der Hauptzone. Sie liegen zwischen 35 mm (11. [18 UTC] bis 12. Mai 1999 [06 UTC]) und 25 mm (12. Mai 1999 [06–18 UTC]).

Der grösste (kalendarische) Tagesniederschlag wurde sowohl im Hauptzentrum (Suhr–Zürich) als auch im Nebenzentrum (Adelboden) vom 11. (18 UTC) bis 12. Mai 1999 (18 UTC) erreicht (Bild 4). Der Gebietsniederschlag von z.B. 100 mm überdeckt dabei eine Fläche bis 2300 km². Die Wiederkehrperiode davon beträgt weniger als 30 Jahre. – Es sei dabei aber noch einmal an den feldinternen Häufigkeitsgradienten von Ost (häufiger) nach West (seltener) erinnert (siehe auch Tabellen 4 und 5). Die geringere Häufigkeit einer bestimmten Niederschlagsmenge ist im vorliegenden Fall jedoch nur räumlich begrenzt (Suhr) von Bedeutung und gibt grossräumiger oder für andere Gebiete keine Hochwassererklärung. – Nicht-kalendarisch erhöht sich auf dieser Fläche der Gebietsniederschlag ebenfallsum maximal

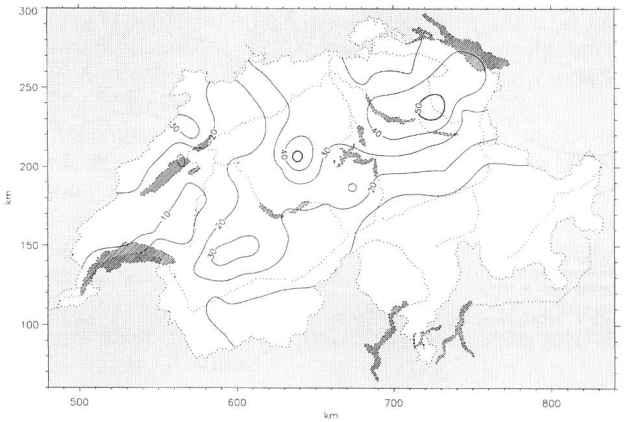

Bild 2. Verteilung der 12stündigen Niederschläge des Ereignisses im Intervall 11. (18 UTC) bis 12. Mai 1999 (06 UTC).

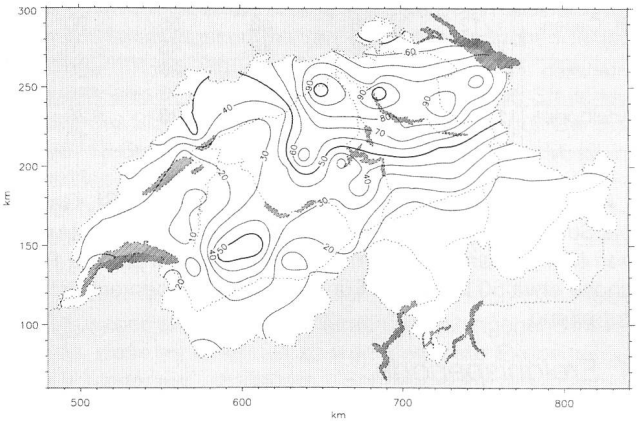

Bild 4. Verteilung der grössten kalendarischen 24stündigen Niederschläge des Ereignisses. Intervall: 11. (18 UTC) bis 12. Mai 1999 (18 UTC).

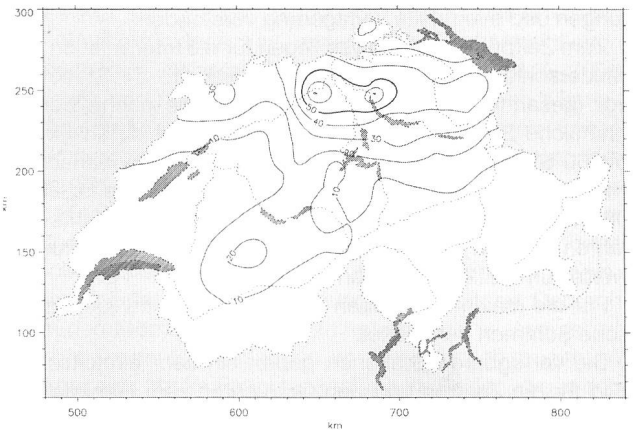

Bild 3. Verteilung der 12stündigen Niederschläge des Ereignisses im Intervall 12. Mai 1999 (06–18 UTC).

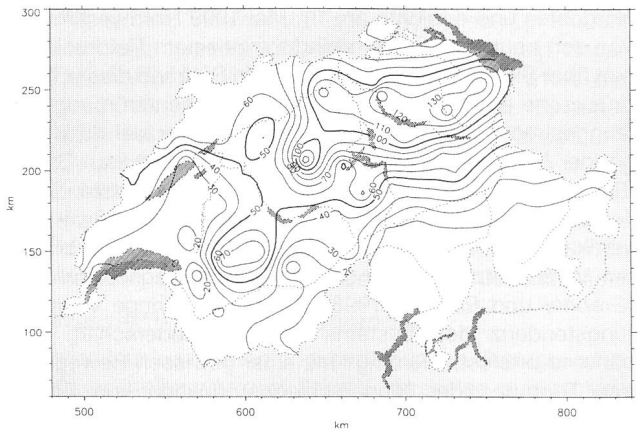

Bild 5. Verteilung der grössten kalendarischen 48stündigen Niederschläge des Ereignisses. Intervall: 11. (18 UTC) bis 13. Mai 1999 (18 UTC).

20 %. Er entspricht damit einer 30- bis 50jährlichen Wiederkehrperiode. Für die Dauern von mehr als 24 Stunden nehmen die Wiederkehrperioden der Gebietsniederschläge wieder ab (Bild 5).

Ähnliche Einschätzungen ergeben sich auch für die kalendarischen und nicht-kalendarischen Punktniederschläge (Tabellen 4 und 5).

Tabelle 4. Kalendarisch (k) und nicht-kalendarisch (nk) höchste beobachtete Niederschlagssummen [mm] einiger Stationen in der Hauptzone.

	24 h		48 h		60 h	
	k	nk	k	nk	k	nk
Suhr	109	113	125	130	132	135
Napf	79	85	129	132	155	167
Zürich SMA	111	124	138	148	151	163
St. Gallen	96	110	140	144	147	151

Tabelle 5. Wiederkehrperioden der in Tabelle 4 angegebenen Punktmesswerte. Stationen mit * wurden mit Nachbarstationen abgeschätzt (Aarau; Rappengraben Untere B.) (*Zeller* et al., 1979–1992).

	24 h		48 h	
	k	nk	k	nk
Suhr*	500	>500	200	300
Napf*	15	25	60	6 5
Zürich SMA	50	75	30	4 0
St. Gallen	10	20	10	1 0

Für das sekundäre Zentrum um Adelboden und besonders am weiteren Alpenrand entlang nach Osten gilt, dass sowohl die Punkt- als auch die Gebietsniederschläge nur mässig waren, mit Wiederkehrperioden unter 10 Jahren.

4.3 Niederschlag: Intensitätsverlauf

Eine bestimmte Niederschlagsmenge in einem Zeitintervall besitzt je nach Tendenz des Intensitätsverlaufs unterschiedliche Abflusseffizienz (z.B. *Jordan,* 1991). In Bild 6 sind für vier Stationen die stündlichen Intensitäten dargestellt. Während der Hauptphase (12. Mai 1999) traten drei Wellen auf. Das östliche Maximum (St. Gallen) erklärt sich demnach insbesondere durch eine Intensitätsspitze zu Beginn des 12. Mai 1999 (Bild 2). Danach folgt ein gleichförmiger Verlauf mit hohem Volumen. Die Intensitätsspitzen verschoben sich gegen Westen in die Mitte des Tages (Bild 3). Dabei nahm das mehrstündige Niederschlagsvolumen im Laufe des Tages zu (Zürich SMA). Ganz besonders zu beachten ist die Intensitätssteigerung im Raum Buchs–Suhr (Bild 6). Im westlichen Maximum (Bild 3) wurde die hohe Niederschlagsmenge des Ereignisses im wesentlichen durch die zweite Welle erzeugt. Die Intensität war für einen zyklonalen Niederschlagsprozess auf der Alpennordseite über 4 Stunden sehr hoch.

Das dreiteilige Muster des Intensitätsverlaufs zeichnet sich auch in den übrigen Gebieten ab (z.B. Interlaken).

4.4 Schneedecke

Aufgrund einer persönlichen Mitteilung von P. Föhn (SLF, 2. Juni 1999) lag z.B. an einer Messstation auf 1700 m ü. M. am Weissfluhjoch von der beschriebenen Vorperiode an (4.–17. Mai 1999) (Kapitel 2.2) eine andauernde Ablation des Wasseräquivalentes von im Mittel täglich 25 mm vor. Das gleiche Bild ergeben Schneehöhenmessungen an den Stationen der SMA (Tabellen 5 und 1). Damit waren in den Einzugsgebieten der Alpenrandseen die Niederschlagsmengen und die Schmelzrate (etwa 20–30 mm/Tag) von gleicher Grössenordnung. Auf die Gesamtfläche der Einzugsgebiete bezogen ist aus beiden Quellen eine Summe bis 30 mm anzunehmen; im Raum Adelboden, d.h. als Zufluss in den Thunersee, entsprechend mehr (Bild 5). Ein Retentionsvermögen für Regenwasser in der Schneedecke ist aufgrund der Entwicklung kaum mehr anzunehmen.

4.5 Vertikales Temperaturprofil

Das vertikale Temperaturprofil sei nur zur Vollständigkeit der Übersicht erwähnt. Die Schneeschmelze liegt bereits aus direkten Beobachtungen vor. Sie macht gleichzeitig eine hohe Lage der 0 °C-Grenze und damit der Schneefallgrenze deutliche. Eine massgebende Rücklage des Niederschlags als Schnee wurde demzufolge nicht wirksam.

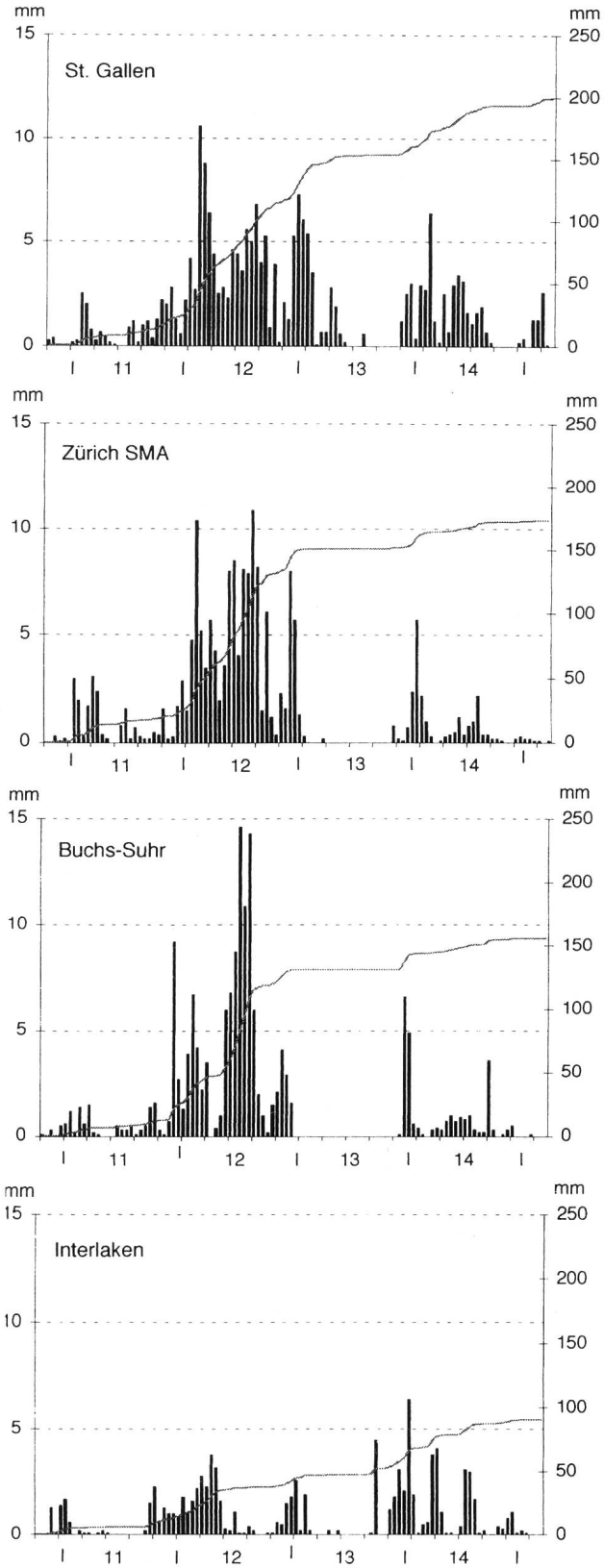

Bild 6. Verlauf der stündlichen Niederschlagsmengen vom 10. Mai 1999 (19 UTC) bis 15. Mai 1999 (06 UTC).

5. Schlussbemerkungen

Die Besonderheit für ein Einzelereignis war vor allem das grossräumige Auftreten von Hochwasserzuständen. Allein die räumliche Verteilung der Niederschläge zeigt, dass eine Gliederung der Ursachen vorliegt.

In der Hauptniederschlagszone, etwa von Suhr bis St. Gallen, wirkte sich der starke Gebietsniederschlag auf einen bereits hohen Bodenwassergehalt aus dem niederschlagsreichen Vormonat aus. Entschärfend hat sich ausgewirkt, dass trotz der ortsfesten Lage des atmosphärischen Niederschlagssystems (Luftmassengrenze) das Produktionszentrum von Ost nach West gewandert ist. Eine annähernd verschiebungsfreie Bedingung und weitgehende Akkumulierung der Niederschlagsmengen in einem Gebiet wäre durchaus realistisch.

Das Niederschlagszentrum lag parallel zum Alpenrand, aber deutlich abgesetzt. Durch die hochreichend positiven Temperaturen war deshalb dort nicht der Niederschlag, sondern seine Kombination mit der Schneeschmelze massgebend.

Die durchgeführten Schätzungen sind jeweils konservativ ausgelegt. Dies bedeutet für den Niederschlag, wegen der gegenwärtig noch begrenzten Anzahl von Messstationen, eine Abrundung zu höheren Werten und Wiederkehrperioden. Für die Schmelzrate gilt eine Abrundung nach unten. Dies soll angesichts der noch unsicheren Kenntnis der Scheedeckenverbreitung sowie der erforderlichen Erklärbarkeit durch die Energiebilanz (während des Ereignisses bei bedecktem Himmel) unrealistische Raten vermeiden.

Die Betrachtungen wurden auch über 48 Stunden hinaus ausgeführt. Die spontane Hochwasserentstehung zeigt jedoch, dass dafür die 12- bis 24stündige Niederschlagsentwicklung verantwortlich war. Die Niederschlags- und Schmelzwassermengen über längere Dauer (bis 60 Stunden) erklären vielmehr die Dauer der Hochwasserstände. Die Bestätigung für die sensible Reaktionsbereitschaft des Abflusssystems auf grossflächigere Niederschläge unter den gegebenen Vorbelastungen des hydrologischen Systems (Bodenwasser, Grundwasserstände, See- und Flusspegel, potentielle Schmelzrate, reduzierte Verdunstung) machen die unmittelbaren Pegelanstiege auf die Regenfälle vom 19. bis 22. Mai 1999, mit sehr starken Überflutungen im Gebiet der Donau und des unteren Inn, sowie bereits wieder steigende Tendenz in den Seen der Schweiz am 6. Juni 1999.

Wissenschaftlich ist u.a. eine positive Seite des Ereignisses nicht zu übersehen. Es demonstriert den begrenzten Aussagewert der statistischen Wiederkehrperioden der einzelnen Komponenten für ein gekoppeltes System. Entsprechend wichtig ist die quantitative Nachrechnung mittels differenzierter Modelle, ganz besonders des Beitrages aus der Schneedecke.

Literatur

DWD, 1999: Täglich ausgestrahltes Wetterkartenprogramm.

GI, 1999: Tägliche Lysimetermessungen im Hydrologischen Forschungsgebiet Rietholzbach des Geographischen Institutes der ETH Zürich.

Grebner, D., 1995: Klimatologie und Regionalisierung starker Gebietsniederschläge in der nordalpinen Schweiz. Zürcher Geographische Schriften, Heft 59. Geographisches Institut, ETH Zürich, 149 S.

Grebner, D., und *Roesch, Th.,* 1998: Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte in der Schweiz. Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 189 S.

Grebner, D.; Roesch, Th., und *Schwarb, M.,* 1999: Extreme Gebietsniederschläge unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperiode. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Kartenblatt 2.5. Bundesamt für Landestopographie, Wabern-Bern.

Jordan, J-P., et *Hohl, Ph.,* 1991: Dynamique des bassins versants. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4 (49–55).

LHG, 1996: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. Landeshydrologie und -geologie, Bern.

SMA, 1999 a: Wetterübersicht. Tägliche Wetterkarte. Meteo Schweiz, Zürich.

SMA, 1999 b: Witterungsbericht. MeteoSchweiz, Zürich.

Zeller, J.; Geiger, H., und *Röthlisberger, G.,* 1979–1992: Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Band 1–9. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf.

Bedankung

Es ist den Autoren ein ganz besonderes Anliegen, den in den Kapiteln 1 und 2 genannten Kollegen und Ämtern für die stets ausgezeichnete Gesprächsebene und den ebenso ausgezeichneten unverzichtbaren Datenhintergrund zu danken. Sie ist die Voraussetzung, der Verpflichtung zu einem nachhaltigen Verständnis nachzukommen.

Adresse der Verfasser: Dr. *Dietmar Grebner* und *Thomas Roesch,* dipl. Phys., Geographisches Institut ETH, Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich.

Sedimentation

River Sedimentation. Proc. 7th Intl. Symposium on River Sedimentation, Hong Kong, 16–18 December 1998. *A. W. Jayawardena* et al., editors, 1015 Seiten. A. A. Balkema Rotterdam/Brookfield 1999, ISBN 90-5809-034-5, 225 DGl (hfl).

Die Titel der einzelnen Kapitel dieses Kongressbandes sind:
- Sedimenttransport-Mechanismen,
- Brücken- und Sohlenkolk,
- Hydraulik alluvialer Flüsse,
- Murgänge,
- Verlandungsprozesse,
- Flussbau und Sedimentkontrolle,
- Erosion und Sedimentfracht,
- Physikalische und numerische Modelle,
- Sedimentation des Gelben Flusses,
- Küstensedimentation.

Ausgelöst durch Aufrufe zur Umwelterhaltung und zur Bekämpfung von Naturgefahren haben Sedimentationsprobleme in Flüssen in letzter Zeit stark an Bedeutung gewonnen. Man denke dabei insbesondere an grosse Überflutungen von Flussebenen, an Murgänge, an Erosion von fruchtbarem Boden oder an den Einfluss von Wasserbauten auf Abflussprozesse. Dieser Kongressband enthält eine Sammlung von eingeladenen Beiträgen sowie rund 150 andere Forschungsarbeiten, die für dieses Symposium ausgewählt wurden. Die Themenauswahl umfasst Problemkreise des modernen Flussbaus und beinhaltet sowohl Basisuntersuchungen als auch auf spezielle Flüsse angewandte Studien. Der Umfang der Beiträge ist dabei überwältigend, und auch auf schweizerische Verhältnisse ist eine Vielzahl der Resultate anwendbar. Eine grosse Anzahl der Autoren stammt aus Fernostländern, dem Gelben Fluss wird sogar ein spezielles Kapitel gewidmet.

A. A. Balkema hat für diesen Kongressband aussergewöhnlich hohe buchdruckerische Massstäbe angesetzt. Für einen Kongressband stellt *River Sedimentation* sicherlich einen neuen Standard dar. Das Buch darf Flussbau- und Umweltingenieuren in Forschung und Praxis empfohlen werden, lassen sich doch eine Vielzahl von modernen Lösungsmethoden aus den vielfältigen Beiträgen ableiten. *WHH*