

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 151 (2000)

Heft: 6

Artikel: Die Hochwasser vom Mai 1999 : eine Analyse anhand von hydrologischen Messungen in kleinen Einzugsgebieten

Autor: Forster, Felix / Hegg, Christoph

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098354>

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: 01.05.2026

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

Die Hochwasser vom Mai 1999: eine Analyse anhand von hydrologischen Messungen in kleinen Einzugsgebieten

FELIX FORSTER UND CHRISTOPH HEGG

Keywords: Small catchment; flood; snowcover; snowmelt; heavy rainfall event; Alptal; canton of Schwyz, Switzerland.

FDK 116 : (494.11)

Abstract: During the melting period of the winter 1998/99, which was rich in snow, large parts of northern Switzerland were covered with two heavy and long-lasting rainfall events resulting in large inundation damage and dangerous flood situations. Although the considered area is rather limited, the extensive hydrologic data set from two small prealpine test-catchments with different basin characteristics offered an excellent opportunity to provide a detailed analysis of the flow processes in May 1999.

Abstract: Während der Schmelzperiode des schneereichen Winters 1998/99 wurden grosse Teile der Nordschweiz von zwei heftigen und ausgedehnten Niederschlagsereignissen erfasst. Grosse Überschwemmungsschäden und gefährliche Hochwassersituationen waren die Folge. Die hochaufgelösten hydrologischen Messreihen aus zwei kleinen naturräumlich unterschiedlichen, voralpinen Untersuchungsgebieten ermöglichten eine räumlich begrenzte, aber detaillierte Analyse der im Mai 1999 massgebenden Abflussprozesse.

1. Einleitung

Im Laufe des schnee- und lawinenreichen Winters 1998/99 wurde die Frage der Gefahr von Frühjahrshochwassern verschiedentlich aufgeworfen. Die Prognosen fielen sehr unterschiedlich aus. Der sich mit historischen Unwetterereignissen befassende Berner Professor C. Pfister warnte vor grossen Hochwassern im Frühjahr 1999 auf Grund seiner Vergleiche mit historischen Daten. Andere Fachleute wiesen darauf hin, dass ein schneereicher Winter mit später Schneeschmelze nicht notwendigerweise zu grossen Hochwassern führen müsse, er aber sehr wohl eine günstige Voraussetzung dafür sein könne.

Als im Mai die Schneegrenze im Alptal etwas oberhalb von rund 1200 m ü. M. lag und der Boden durch die Schneeschmelze bzw. durch die überdurchschnittlichen April-Niederschläge weitgehend gesättigt war, wurden grosse Teile der Nordschweiz von zwei heftigen und ausgedehnten Niederschlagsereignissen erfasst. Dabei wurden während beiden Ereignissen 2-Tages-Niederschläge von 100 bis 160 mm für Niederschlagsgebiete von 3000 bis 4000 km² gemessen (BWG, 2000). Diese Situation führte an verschiedenen Orten, z. B. am Thunersee, in Bern, im Limmattal und am Bodensee, zu grossen Überschwemmungsschäden und z. B. an der Linth zu gefährlichen Hochwassersituationen.

Bei der Beurteilung dieser Ereignisse stellten sich die Fragen nach dem Einfluss der Schneedecke und der Wiederkehrdauer solcher Ereignisse. Die Ziele der vorliegenden Untersuchung bestehen deshalb in einer Einordnung der Schneedecken- und Niederschlagsituation bezüglich Wiederkehrdauer und in einer Analyse der massgebenden Abflussbildungsprozesse anlässlich der Hochwasserereignisse im Frühling 1999. Die Untersuchungsgebiete der WSL im Alptal bieten mit den hochaufgelösten Messreihen zu Niederschlag, Abfluss, Schneedecke, Temperatur, Strahlung und zum Grundwasserpegelstand gute Voraussetzungen für eine zwar räumlich begrenzte, dafür sehr detaillierte Analyse. Eingehende, gesamtschweizerische Analysen der Hochwasser im Mai 1999 sind in BWG (2000) und ASCHWANDEN (2000) enthalten.

2. Die vorhandenen Daten im Alptal

Das Alptal liegt im Flysch der zentralschweizerischen Voralpen und erstreckt sich südlich von Einsiedeln gegen die Mythen. Die Talsohle des etwa 3 bis 4 km breiten Tales steigt gegen Süden sanft von 900 auf etwa 1100 m ü. M. an. Die Alp ist der

Vorfluter von drei Untersuchungsgebieten, die ihrerseits ein bedeutend grösseres Gefälle aufweisen als die Alp (Abbildung 1). Die Untersuchungsgebiete weisen Flächen zwischen 0,75 und 1,55 km² auf und erstrecken sich über einen Höhenbereich zwischen 1100 und 1600 m ü. M. Der Vogelbach hat sich durch Erosion V-förmig in das zu 65% bewaldete Einzugsgebiet eingetieft und das Gebiet in drei nach Westen, Südosten und Nordosten exponierte Teilgebiete unterteilt. Das vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Einzugsgebiet des Lämpenbaches zieht sich als etwa 500 m breites Band dem bewaldeten Bachlauf entlang und ist gesamthaft nach Osten/Südosten exponiert. Das der natürlichen Aufforstung überlassene Erlenbachgebiet zieht sich auf der gegenüberliegenden Talseite als etwa 300 m breiter, nach Westen exponierter und zu 40% bewaldeter Streifen gegen den Furggelenstock.

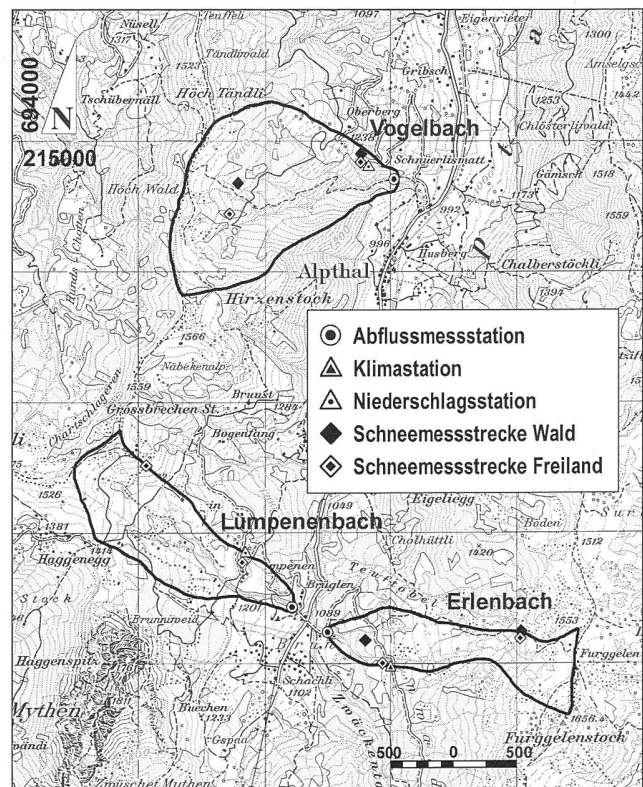


Abbildung 1: Die Untersuchungsgebiete im Alptal mit den Standorten für die einzelnen Messdatenerhebungen (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie, BA4813).

Der Kartenausschnitt in *Abbildung 1* zeigt die Standorte der verschiedenen Messwerterhebungen in den drei instrumentierten Untersuchungsgebieten im Alptal. In diesen voralpinen Untersuchungsgebieten werden bereits seit 30 Jahren Messdaten erhoben (KELLER *et al.*, 1984; BURCH, 1994). Neben den rein hydrologischen Fragestellungen wie z.B. Niederschlag, Abfluss, Schneedecke und Hochwasser sind auch verschiedene Untersuchungen zum Nährstoffhaushalt (KELLER *et al.*, 1989; WALDNER *et al.*, 2000) und zum Feststoffhaushalt (HEGG und RICKENMANN, 1998; BÄNZIGER und BURCH, 1991) gemacht worden.

3. Resultate aus dem Alptal

3.1 Niederschlag, Abfluss und Schneedeckenentwicklung im Winter 1998/99

In *Abbildung 2* sind der gemessene Tagesniederschlag, die Ganglinie der gemessenen Tagesabflüsse, das mit dem Wasserhaushaltsmodell Brook im Tagesschritt simulierte Wasseräquivalent der Schneedecke im Gebiet des Erlenbaches und der Grundwasserpegel bei der Klimastation für die Winterperiode 1998/99 dargestellt. Das Wasseräquivalent entspricht der sich beim Schmelzen einer Schneesäule ergebenden Höhe der Wassersäule. Die Einwinterung erfolgte Mitte November. Bis anfangs Februar blieb die Schneedecke aber sehr geringmächtig. Dann wuchs die Schneedecke bis anfangs März kontinuierlich an. Die Hauptschmelze setzte um den 20. April ein. Bis etwa anfangs Mai war das gesamte Einzugsgebiet schneebedeckt.

Die aufgezeichnete Abflussganglinie zeigt deutlich, dass in dieser Höhenlage auch im Winter immer wieder mit Regenfällen und Schmelzphasen zu rechnen ist. So zeichnet sich das Hochwasser vom Februar 1999 auch in diesem Gebiet mit einer deutlichen, aber vergleichsweise kleinen Abflussspitze ab. Das erste der beiden grossen Mai-Niederschlagsereignisse fiel im Erlenbachgebiet in die Schlussphase der Ausaperung. Der obere Teil des Einzugsgebietes war noch schneebedeckt. Das zweite Ereignis ging auf das eben erst ausgeaperte Gebiet nieder. Beim ersten Ereignis um Auffahrt (11. bis 14. Mai 1999) fielen gut 150 mm Regen innerhalb von drei Tagen, und etwa zehn Tage später an Pfingsten (19. bis 22. Mai 1999) fielen nochmals soviel innerhalb von 48 Stunden (*Abbildung 2*).

3.2 Die Entwicklung der Schneedecke im Winter 1998/99 an verschiedenen Standorten

Sowohl im unteren als auch im oberen Teil des Einzugsgebietes werden die Schneedeckendaten je auf einer Freiland- und einer Waldmessstrecke periodisch erhoben. Die Werte für die beiden oberen Schneemessstrecken werden alle vier Wochen bestimmt, jene im unteren Teil wöchentlich. Der Schneedeckenverlauf im Einzugsgebiet des Erlenbaches während des Winters 1998/99 ist in der *Abbildung 3* dokumentiert. Dort sind sämtliche im Laufe des Winters erhobenen Wasseräquivalente für die verschiedenen Messstrecken dargestellt. Die Wasseräquivalente oben im Einzugsgebiet unterscheiden sich teilweise deutlich von den entsprechenden Werten unten. Die Auswertungen von STÄHLI *et al.* (2000) zeigen, dass die vier Schneemessstrecken die Schneedecke im Einzugsgebiet des Erlenbaches recht gut repräsentieren. In *Abbildung 3* ist für die vierwöchentlichen Messdaten weiter ein flächengewichtetes Wasseräquivalent des Einzugsgebietes dargestellt. Dabei wurden die beiden Freilandstrecken mit einem Gewicht von je 30% und die beiden Waldstrecken mit einem solchen von je 20% berücksichtigt. Als Vergleich ist das mit dem Wasserhaushaltsmodell Brook im Tagesschritt berechnete Wasser-

äquivalent der Schneedecke im Einzugsgebiet eingetragen. Es weicht gegenüber dem aus den vierwöchentlichen Feldmessungen berechneten Wasseräquivalent des Einzugsgebietes nur unwesentlich ab. Deshalb wird dieses im weiteren Verlauf dieser Arbeit durch das mit dem Modell Brook simulierte Wasseräquivalent repräsentiert. Das Modell verwendet die Messwerte des Niederschlags und der Temperatur und berechnet die Schmelze auf der Basis eines einfachen Taggradansatzes (FORSTER, 1994).

3.3 Einordnung und Beurteilung der Wasseräquivalente im Alptal

Die Schneedecke im Winter 1998/99 soll im Lichte der vergangenen fast dreissig Jahre beurteilt werden.

Die im Winter 1998/99 verzeichneten Wasseräquivalente weisen im Vergleich zu den vorangegangenen fast dreissig Jahren keinen ausserordentlichen Charakter auf (*Abbildung 4*). Für beide der dargestellten Schneemessreihen wird das Maximum des Winters 1998/99 in drei früheren Jahren übertroffen und in zwei weiteren nahezu erreicht. Bezüglich der Schneedecke stellt somit der Winter 1998/99 im Alptal kein sehr seltenes Ereignis dar. Es dürfte sich auf Grund der vorhandenen Daten um ein etwa 5-jährliches Ereignis handeln.

3.4 Tägliche Schmelzraten im Freiland und im Wald während der Hauptschmelze

In *Abbildung 5* sind die täglichen Schmelzraten auf der Freiland- und der Waldstrecke auf einer Höhe von rund 1200 m ü. M. während der Hauptschmelzperiode dargestellt. Für diese beiden Standorte lassen sich auf Grund der wöchentlichen Schneemessungen wöchentliche Schmelzraten (in mm pro Woche) bestimmen. Die dargestellten täglichen Raten wurden auf Grund der gemessenen Globalstrahlung bzw. der Temperatur ermittelt. Für die Freilandstrecke wurde die wöchentliche Schmelzrate proportional zur täglichen Globalstrahlung verteilt. Im Wald erfolgte die Aufteilung mit Hilfe der Temperatur, und zwar proportional zur Summe der Vortagestemperatur und derjenigen des aktuellen Tages. Im Freiland ergeben sich die grössten Schmelzraten an wolkenlosen Strahlungstagen mit bis zu 43 mm. Während ausgesprochener Niederschlagstage sind die Schmelzraten bedeutend kleiner. Im Wald betragen die maximalen Schmelzraten etwa die Hälfte der entsprechenden Freilandwerte. Auf der Waldstrecke ist der Schnee Ende April geschmolzen. Die maximalen Gebietschmelzraten im zu 40% bewaldeten Erlenbachgebiet wurden während einer niederschlagsfreien 3-Tages-Periode (1. bis 3. Mai 1999) über die gemessenen Gebietsabflüsse mit 24 mm/Tag bestimmt. Dieser Wert liegt etwas tiefer, als man es auf Grund der Freiland- und der Waldschmelzrate erwarten würde. Dies dürfte zu einem wesentlichen Teil darauf zurückzuführen sein, dass insbesondere die Waldflächen im unteren Teil des Einzugsgebietes bereits weitgehend aper waren (*Abbildung 5*).

3.5 Einordnung der Mai-Niederschläge und der entsprechenden Abflüsse im Alptal

Bei den Mai-Ereignissen handelt es sich um heftige und ausgedehnte Niederschläge, wobei das Auffahrt-Ereignis durch schauerartige Niederschlagsphasen geprägt war und sich das Pfingst-Ereignis durch eine konstante Intensität auszeichnete. Die maximalen 10-min-Intensitäten im Alptal betragen 3,6 mm/10 min (bzw. 21,6 mm/h) und die maximale Stundenintensität etwa 14 mm/h. Solche kurzzeitigen Intensitäten kommen mehrmals im Jahr vor. Betrachtet man mehrtägige Niederschlagsdauern, so ergibt sich für das Auffahrts- bzw.

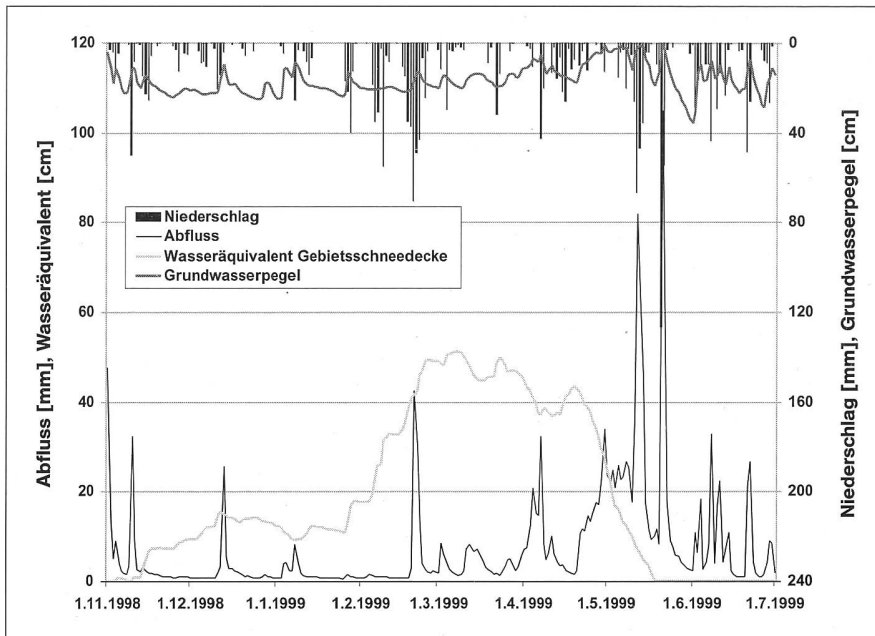


Abbildung 2: Die gemessenen Tagesniederschläge und -abflüsse, das mit dem Modell Brook simulierte Wasseräquivalent der Gebietschneedecke im Einzugsgebiet des Erlenbaches und der Grundwasserpegel bei der Klimastation im Winter 1998/99.

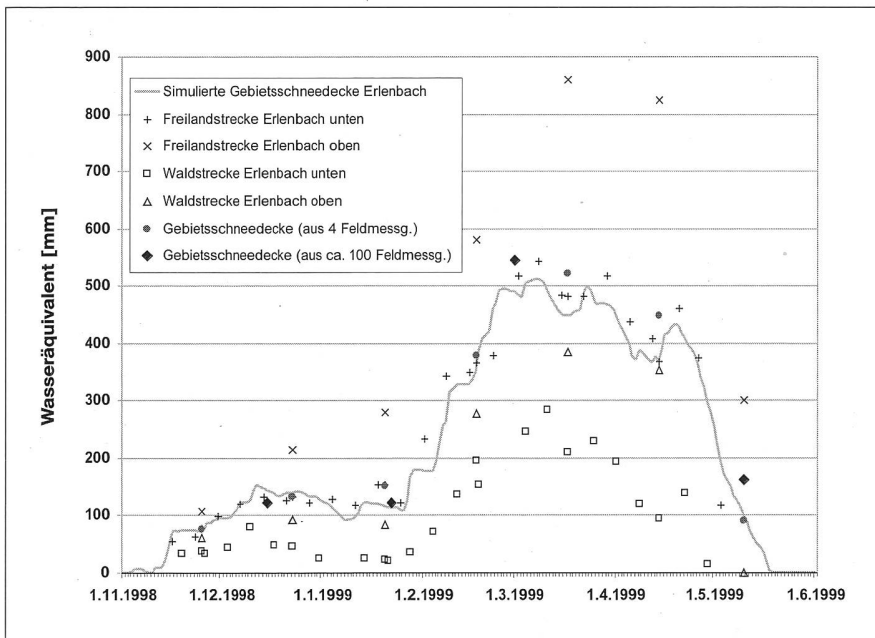


Abbildung 3: Darstellung gemessener Wasseräquivalente für verschiedene Schneemessstrecken und Vergleich der daraus für das Einzugsgebiet abgeleiteten Wasseräquivalente mit demjenigen aus der Simulation des Wasserhaushaltsmodelles Brook im Erlenbachgebiet.

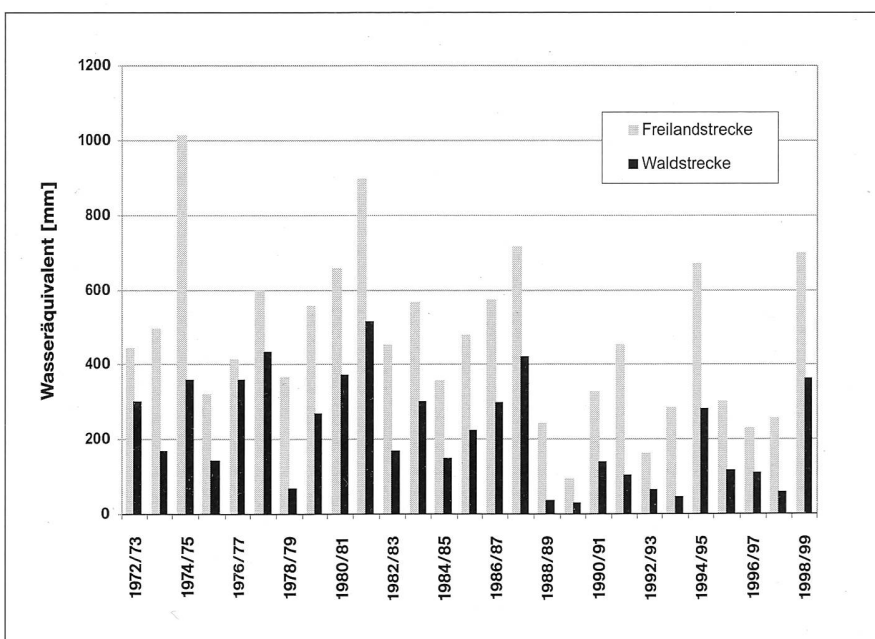


Abbildung 4: Die jährlich maximalen Wasseräquivalente der beiden längsten Messreihen im Vogelbachgebiet.

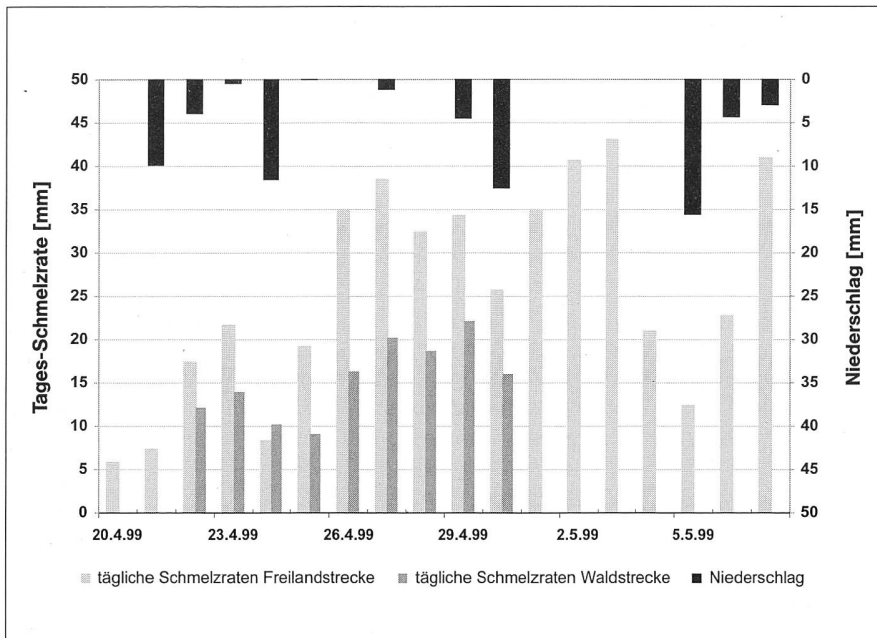


Abbildung 5: Die auf Grund von wöchentlich gemessenen Schneedaten berechneten Tagesschmelzraten auf der Freiland- und der Waldmessstrecke im unteren Teil des Erlenbachgebietes (Alptal, SZ) auf einer Höhe von rund 1200 m ü. M.

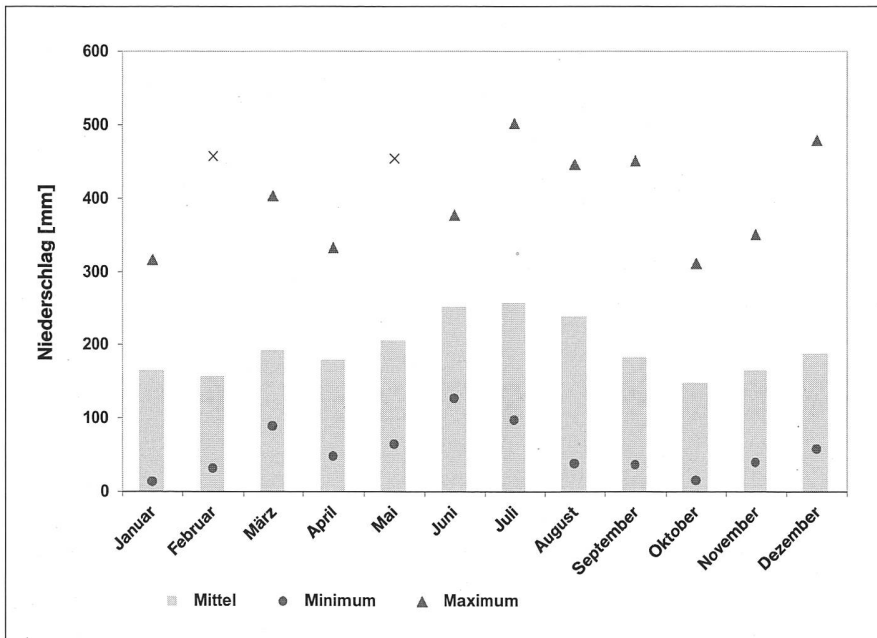


Abbildung 6: Die mittleren, minimalen und maximalen Monatsniederschläge im Erlenbachgebiet für die Periode 1978-99. Die mit einem x gekennzeichneten Maximalwerte stammen aus dem Jahr 1999.

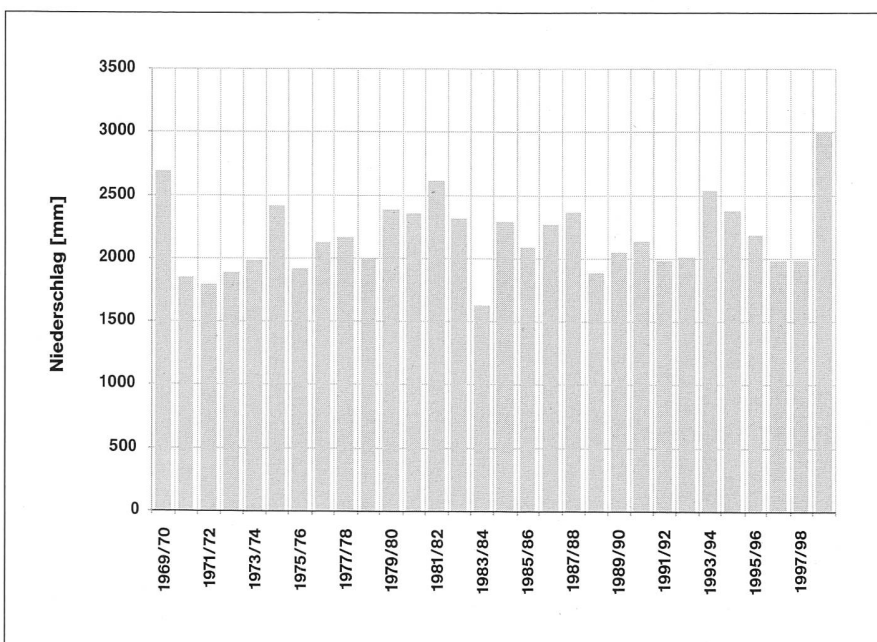


Abbildung 7: Die jährlichen Niederschläge im Vogelbachgebiet (1.6.-31.5.)

das Pfingst-Ereignis auf Grund der 30-jährigen Niederschlagsmessreihe aus dem Erlenbachgebiet eine Wiederkehrdauer zwischen 20 und 50 Jahren.

Wird die Monatssumme der Niederschläge im Mai 1999 betrachtet, erkennt man die Seltenheit der Niederschlagsituation im Alptal. Aus *Abbildung 6* geht hervor, dass sich der grösste je gemessene Mai-Niederschlag im Jahr 1999 ereignet hat und 454 mm beträgt. Der zweithöchste je gemessene Maiwert liegt mit 322 mm deutlich tiefer. Die mittleren monatlichen Niederschläge lassen einen Jahresgang erkennen. Die monatlichen Maximalwerte scheinen jedoch mehr oder weniger unabhängig von der Jahreszeit zu sein.

Auch wenn man das Zeitfenster noch einmal erweitert, zeigt sich Ausserordentliches. Betrachtet man nämlich die Jahreswerte der längsten Niederschlagsreihe im Alptal (Vogelbachgebiet), so erkennt man einen Rekordwert. Mit einem Jahresniederschlag von rund 3000 mm liegt das Jahr 1998/99 (Juni bis Mai) deutlich an der Spitze (*Abbildung 7*). Mit Ausnahme der Monate August, Dezember und März lagen die monatlichen Niederschläge in dieser Periode über dem langjährigen Mittelwert.

Der hohe Niederschlag im Mai 1999 fiel in eine Schneeschmelzperiode und ergab für das Erlenbachgebiet mit der monatlichen Abflusshöhe von 754 mm das höchste je gemessene monatliche Abflussvolumen (*Abbildung 8*). Der zweithöchste Maiwert wurde am Ende des ebenfalls schneereichen Winters 1982 mit 588 mm gemessen. Die Monate April, Mai und Juni weisen schmelzbedingt ohnehin die höchsten Abflusssummen auf, und kombiniert mit hohen Regenniederschlägen sind damit grosse Abflussmengen für diese Monate zu erwarten.

Die während der Mai-Ereignisse gemessenen maximalen Abflussspitzen betragen $2,7 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ im Erlenbach und $2,0 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ im Vogelbach. Solche Abflussspitzen sind praktisch jedes Jahr einmal zu verzeichnen. Daher ist es nicht erstaunlich, dass auf Grund dieser Mai-Ereignisse im Alptal keine Hochwasserschäden zu verzeichnen waren.

4. Analyse der Abflussereignisse im Mai 1999 und deren Vorgeschichte

4.1 Erlenbach

In *Abbildung 9* sind die Phasen der Hauptschmelze und der beiden interessierenden Mai-Niederschlagsereignisse dargestellt. Sie enthält die Abflussganglinie, den Verlauf des Wasseräquivalentes der Gebietschneedecke sowie die für die drei Phasen jeweils wieder neu angesetzten Summenkurven für Niederschlag, Abfluss und simulierte Schmelze. Die entsprechenden Zahlenwerte sind aus *Tabelle 1* ersichtlich.

Hauptschmelzphase (19. April bis 10. Mai 1999)

Während der Hauptschmelzphase war das Abflussvolumen zu 80% schmelzbedingt. Der nicht durch die Schneeschmelze bedingte Abfluss von 80 mm ergab sich aus dem in dieser Periode gefallenen Regenniederschlag von 100 mm. Der Boden war

offenbar bereits vor der Hauptschmelze praktisch gesättigt und hat während der Hauptschmelzphase nur einige Millimeter Wasser aufgenommen. Dies wird durch hohe im Einzugsgebiet gemessene Grundwasserstände bestätigt (*Abbildung 2*).

Auffahrt-Ereignis (11. bis 14. Mai 1999)

Das Ereignis an Auffahrt ereignete sich zu einem Zeitpunkt, da die Böden weitgehend gesättigt waren. Mit Ausnahme von ein paar wenigen Millimetern floss der gesamte Ereignisniederschlag direkt ab. Die Abflusssummenkurve liegt ziemlich genau um den Betrag des Schmelzanteils dieser Phase über der Summenkurve des Niederschlages.

Pfingst-Ereignis (19. bis 22. Mai 1999)

Beim etwa zehn Tage später folgenden Pfingst-Ereignis war die Schmelze weitgehend abgeschlossen und das Gebiet wieder nahezu aper. Damit absorbierte das Gebiet mehr Strahlungsenergie, die in der Zeit zwischen den zwei Niederschlagsereignissen in Evaporation umgesetzt wurde und im Boden bereits wieder gewisse Speicherkapazitäten schuf. Vom Ereignisniederschlag flossen bis zum 22. Mai 1999 fast 90% ab. Davon waren nur noch etwa 5 mm schmelzbedingt.

In *Tabelle 1* sind die in *Abbildung 9* dargestellten hydrologischen Grössen noch tabellarisch zusammengestellt und im Hinblick auf die beiden wichtigsten Abflusskomponenten, dem Schmelz- und dem Niederschlagsanteil, ausgewertet. Zur Berechnung des Schmelzanteils bzw. des Abflusskoeffizienten des Regens wird der gemessene Abfluss im Verhältnis des Niederschlages und der Schmelze aufgeteilt, da beide Grössen für die Abflusstenstehung als gleichwertig betrachtet werden können. Entsprechend wird für die Phase der Hauptschmelze die Abflusssumme von 405 mm im Verhältnis $330/100$ aufgeteilt. Dies ergibt einen Abflussanteil von 310 mm infolge Schmelze und einen solchen von 95 mm infolge Regen. Daraus resultiert ein Schmelzanteil von $310/405 = 77\%$ bzw. ein Abflusskoeffizient für den Regenniederschlag von $95/100 = 95\%$.

Der Schmelzanteil nimmt auf Grund des Rückganges der schneebedeckten Fläche vom Zeitpunkt der Hauptschmelze bis zum Pfingst-Ereignis ab. Der Abflusskoeffizient des Regenniederschlages ist bereits während der Hauptschmelze sehr hoch, bedingt durch die hohe Bodensättigung. Während des Auffahrt-Ereignisses war das Freiland im oberen Gebiets teil immer noch schneebedeckt, und das übrige Einzugsgebiet wies einen derart hohen Sättigungsgrad auf, dass die 175 mm Niederschlag zu 100% abflossen. Bis zum Pfingst-Ereignis hatte der schneefreie Boden bereits etwas Zeit, den Bodenspeicher zu entleeren. Von den 205 mm Niederschlag flossen nur noch etwa 88% direkt ab.

Für die gesamte 34 Tage dauernde Periode ergibt sich ein Schmelzanteil von 47%. Mit 92% weist der Abflusskoeffizient für den Regenniederschlag einen sehr hohen Wert auf. Dies ist auf die schmelzbedingt hohe Bodensättigung und die im Erlenbachgebiet sehr geringmächtigen Böden zurückzuführen.

Tabelle 1: Die massgebenden hydrologischen Grössen im Erlenbachgebiet während der verschiedenen Ereignisphasen. Die Werte sind absolut und als prozentuale Abflussanteile angegeben.

Ereignis	Datum	Niederschlag	Abfluss Q_{tot}	Schmelze	Schmelzanteil	Abflusskoeff.
		[mm]	[mm]	[mm]	an Q_{tot} [%]	des Regens [%]
Hauptschmelze	19.4.–10.5.99	100	405	330	77	95
Auffahrt-Ereignis	11.5.–14.5.99	175	225	50	22	100
Pfingst-Ereignis	19.5.–22.5.99	205	185	5	3	88
Gesamtperiode	19.4.–22.5.99	490	850	430	47	92

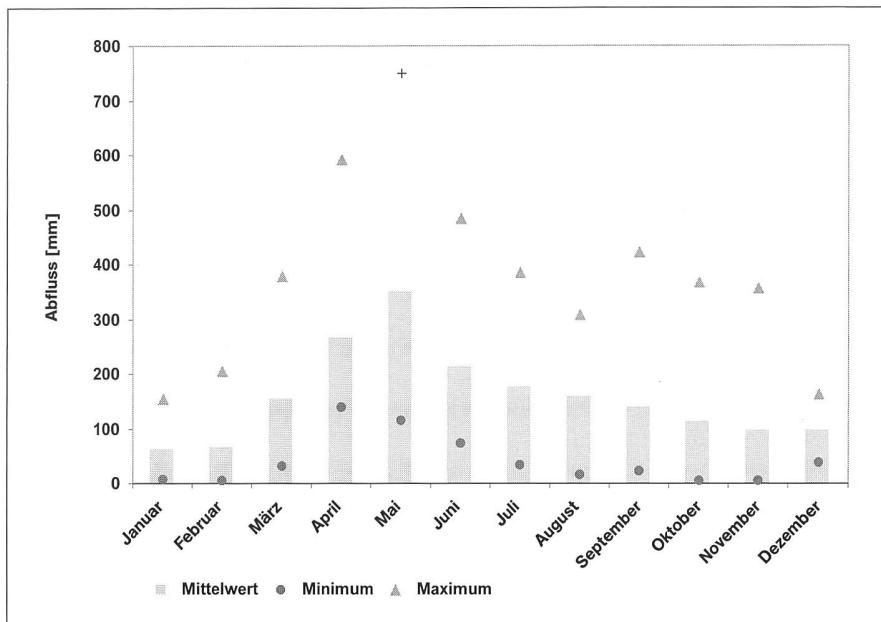


Abbildung 8: Die mittleren, minimalen und maximalen Monatsabflüsse des Erlenbaches für die Messreihe 1978–1999. Der mit einem (+) gekennzeichnete Mai-Maximalwert stammt aus dem Jahr 1999.

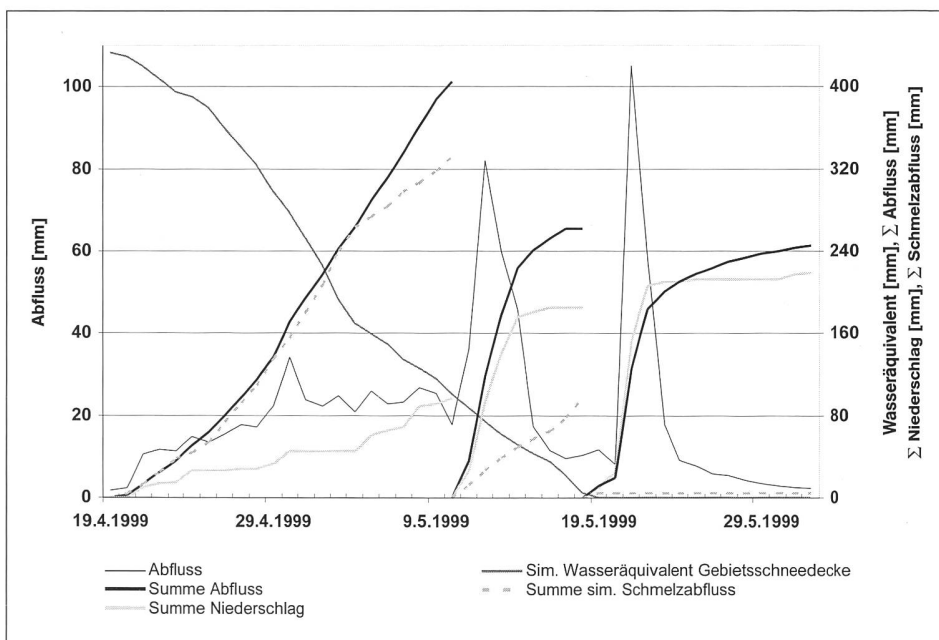


Abbildung 9: Die Hauptschmelzphase sowie die nachfolgenden Mai-Niederschlagsphasen zwischen dem 19.4 und dem 1.6.1999 im Einzugsgebiet des Erlenbaches (Tageswerte).

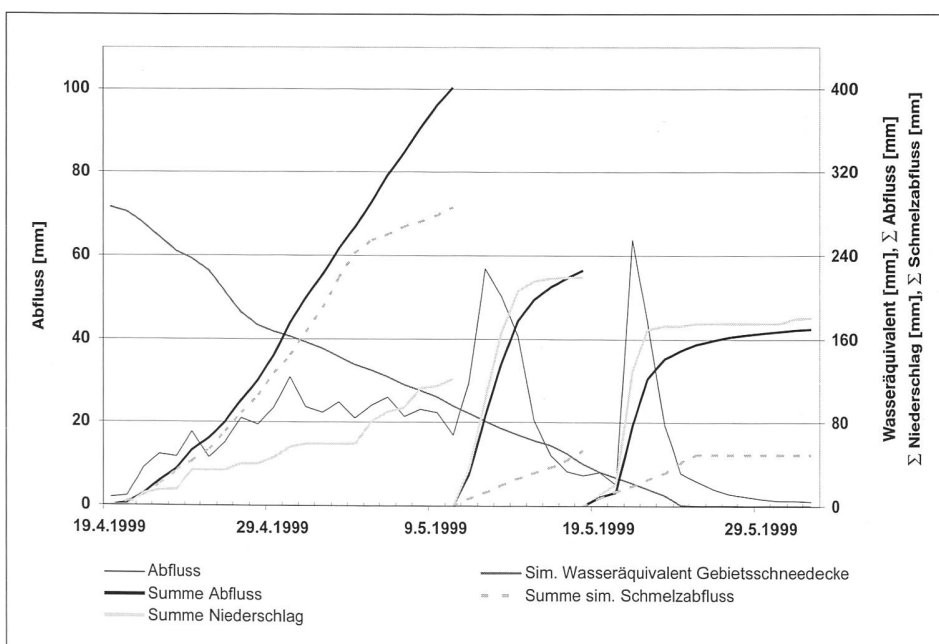


Abbildung 10: Die Hauptschmelzphase sowie die nachfolgenden Mai-Niederschlagsphasen zwischen dem 19.4 und dem 1.6.1999 im Einzugsgebiet des Vogelbaches (Tageswerte).

Beim Ereignis an Auffahrt erreichte der Abflusskoeffizient für Regenniederschlag mit 100% einen Wert, der seit Bestehen der Messanlage (1983) noch nie registriert wurde. Beim Pfingst-Ereignis liegt der entsprechende Abflusskoeffizient im Bereich der höchsten bisher gemessenen Werte.

4.2 Das Vogelbachgebiet im Vergleich mit dem Erlenbachgebiet

Abbildung 10 zeigt das Niederschlag-Abflussverhalten der Periode von Mitte April bis Ende Mai 1999 im Vogelbachgebiet, die Tabelle 2 enthält die entsprechenden Zahlenwerte.

Während der Hauptschmelze unterscheiden sich die Einzugsgebiete des Vogel- und Erlenbaches in ihrem Abflussverhalten kaum.

Beim Auffahrt-Ereignis war der Anteil des abgeflossenen Niederschlages im Vogelbachgebiet deutlich kleiner als im Erlenbachgebiet. Die Summenkurve des Abflusses liegt klar unter jener des Niederschlages, wobei noch 11% des Abflusses schmelzbedingt waren.

Auch für das Pfingst-Ereignis war der Anteil des abgeflossenen Niederschlages im Vogelbachgebiet deutlich kleiner als im Erlenbachgebiet. Der Schmelzanteil im Vogelbachgebiet betrug immer noch 13%.

Das unterschiedliche Abflussverhalten der beiden Gebiete dürfte einerseits durch den im Vergleich zum Erlenbachgebiet eher tiefgründigeren und durchlässigeren Boden im bewaldeten Teil des Vogelbachgebietes und andererseits durch den grösseren Bewaldungsanteil im Vogelbachgebiet begründet sein. Im ausgeaperten Teil des Vogelbachgebietes vermochte der Nadelwald durch Evapotranspiration im Bodenspeicher bereits etwas Speicherraum zu schaffen. Für die beiden Mai-Ereignisse weist das zu zwei Dritteln bewaldete Vogelbachgebiet mit 78% und 62% bedeutend kleinere Abflusskoeffizienten auf als das Erlenbachgebiet.

Für die Gesamtperiode vom 19. April bis 22. Mai 1999 ergibt sich ein Schmelzanteil von 42%. Mit 85% weist der Abflusskoeffizient für den Regenniederschlag in einem zu zwei Dritteln bewaldeten Einzugsgebiet einen sehr hohen Wert auf. Dies ist wie im Erlenbachgebiet auf die schmelzbedingt hohe Bodensättigung zurückzuführen.

Auch im Vogelbachgebiet erreichte der Abflusskoeffizient für Regenniederschlag beim Auffahrt-Ereignis mit 78% einen Wert, der in den letzten 15 Jahren noch nie vorgekommen ist. Der entsprechende Abflusskoeffizient (62%) beim Pfingst-Ereignis hingegen wurde auch schon früher während grosser Niederschlagsereignisse erreicht bzw. überschritten.

4.3 Die verschiedenen Gebietsschmelzraten im Alptal

Um die mögliche Bandbreite der räumlichen Variabilität noch etwas besser zu bestimmen, werden nachfolgend die täglichen Schmelzraten der drei instrumentierten Alptaler Einzugsgebiete des Erlen-, Vogel- und Lümpenenbaches während einer Schönwetterphase in der Hauptschmelzperiode miteinander verglichen. Auf Grund der unterschiedlichen Exposition und Vegetationsbedeckung der Einzugsgebiete ist es schwierig, eine Zeitperiode während der Hauptschmelze zu finden, während der alle drei Gebiete vollständig schneebedeckt sind. Vom 1. bis 3. Mai 1999 waren die Bedingungen recht einheitlich. Mit Ausnahme der im untersten Gebietsteil gelegenen Waldgebiete im Einzugsgebiet des Erlenbaches, des untersten Teils des Vogelbachgebietes, der wegen der trichterförmigen Ausbildung des Einzugsgebietes anteilmässig klein ausfällt, und des untersten Fünftels des Lümpenengebietes waren die drei Einzugsgebiete noch weitgehend schneebedeckt. Die Gebietsschmelzraten werden auf Grund der gemessenen Abflusssummen ermittelt.

Im wenig bewaldeten Einzugsgebiet des Lümpenenbaches ergibt sich mit 30 mm die grösste mittlere tägliche Schmelzrate (Tabelle 3), obwohl das Gebiet anteilmässig die grösste schneefreie Fläche aufweist. Dass sich die Schmelzraten der beiden anderen Einzugsgebiete trotz unterschiedlicher Bewaldung nicht deutlicher unterscheiden, ist auf den ersten Blick erstaunlich. Das Resultat erscheint jedoch plausibel, wenn man in Betracht zieht, dass der Waldanteil im Erlenbachgebiet zwar etwas geringer ist, sich die Waldstruktur von derjenigen im Vogelbachgebiet aber dadurch unterscheidet, dass der eher lockere Wald zunehmend in die ehemaligen Weiden einwächst und gesamthaft eine relativ grosse Fläche abschattet. Anteilmässig dürfte zudem die Summe der schneefreien Flächen im Erlenbachgebiet, bedingt durch die unterschiedliche Gebietsform, eher grösser und daher der Schmelzwasseranfall im Vergleich zum Vogelbachgebiet eher etwas kleiner gewesen sein. Im Weiteren dürfen auch die unterschiedliche Topographie und Exposition der drei Einzugsgebiete nicht ganz ausser Acht gelassen werden.

5. Schlussfolgerungen

Bereits im Februar 1999 haben gewisse Stimmen vor einer grossen Hochwassergefahr gewarnt. Die grossen Schneemengen bewirkten eine Erhöhung des Hochwasserrisikos. Grosse Schneemengen müssen jedoch nicht zwingend zu Hochwasser

Tabelle 2: Die massgebenden hydrologischen Grössen im Vogelbachgebiet während der verschiedenen Ereignisphasen. Die Werte sind absolut und als prozentuale Abflussanteile angegeben.

Ereignis	Datum	Niederschlag	Abfluss	Schmelze	Schmelzanteil	Abflusskoeff.
		[mm]	[mm]	[mm]	an Q_{tot} [%]	des Regens [%]
Hauptschmelze	19.4.–10.5.99	130	400	285	70	95
Auffahrt-Ereignis	11.5.–14.5.99	205	175	25	11	78
Pfingst-Ereignis	19.5.–22.5.99	170	120	25	13	62
Gesamtperiode	19.4.–22.5.99	510	750	370	42	85

Tabelle 3: Tägliche Schmelzraten in den Einzugsgebieten des Erlen-, Vogel- und Lümpenenbaches (Alptal) für die in der Hauptschmelze gelegene Vergleichsperiode vom 1.–3. Mai 1999.

	Abflusssumme 1.–3. 5.99 [mm]	Mittlere tägliche Gebietsschmelzrate [mm/Tag]
Erlenbach	71	24
Vogelbach	71	24
Lümpenenbach	91	30

führen. In den Wintern 1974/75 und 1981/82 lag im Alptal bedeutend mehr Schnee, und während der beiden Winter 1987/88 und 1994/95 waren die maximalen Schneewasseräquivalente annähernd so gross wie im Winter 1998/99. Damals führten die jeweiligen Schmelzsituationen nicht zu ausserordentlichen Abflussverhältnissen.

Ein schneereicher Winter ist keine ausreichende Bedingung für Frühlingshochwasser. Die Niederschläge des Auffahrt-Ereignisses fielen im Alptal auf weitgehend gesättigte Böden, bedingt durch die Schneeschmelze. Der Abflusskoeffizient betrug deshalb im Erlenbachgebiet für das Ereignis an Auffahrt 100%, ein Wert, wie er seit dem Bau der Messanlage (1983) noch nie erreicht wurde. Die aus diesem lang anhaltenden, wenig intensiven Regen resultierende Abflussspitze war aber nur ein Wert, wie er in diesem Einzugsgebiet praktisch jedes Jahr einmal gemessen wird. Wenn allerdings ein derartiger Regenniederschlag grossflächig auf einen schmelzbedingt nassen Boden trifft, sind die Voraussetzungen für ein Frühlingshochwasser gegeben. Im Frühling 1999 handelte es sich um eine solche Kombination ungünstiger Verhältnisse. Sie hat in grossen Einzugsgebieten zur Entstehung von ausserordentlichen Hochwassern geführt.

In kleinen Einzugsgebieten führt diese Konstellation nur in seltenen Ausnahmesituationen zu grossen Hochwasserabflüssen. Dort sind es meist kurzzeitige Sommergewitter mit hohen Niederschlagsintensitäten oder in seltenen Fällen Frühlingsgewitter kurz nach der Schneeschmelze, die extreme Spitzenabflüsse verursachen. Erstreckt sich die Schmelzperiode in den Vorsommer hinein, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens der Schmelze mit einem Gewitter.

Zusammenfassung

Ein schneereicher Winter bedeutet noch keineswegs Hochwasser im Frühling. In den Wintern 1974/75 und 1981/82 lag im Alptal bedeutend mehr Schnee als im Winter 1998/99, ohne dass die jeweiligen Schmelzsituationen zu ausserordentlichen Abflussverhältnissen geführt hätten.

Als im Mai 1999 der Boden durch die Schneeschmelze bzw. durch die überdurchschnittlichen April-Niederschläge weitgehend gesättigt war, wurde ein grosser Teil der Schweiz von zwei heftigen und ausgedehnten Niederschlagsereignissen erfasst. Grosse Überschwemmungsschäden z.B. am Thunersee und am Bodensee sowie gefährliche Hochwassersituationen z.B. an der Linth waren die Folge. Im Alptal fielen während des ersten Ereignisses gut 150 mm Regen innerhalb von drei Tagen und etwa zehn Tage später nochmals soviel innerhalb von 48 Stunden. Die Untersuchungsgebiete der WSL im Alptal ermöglichten mit den hochaufgelösten Messreihen für Niederschlag, Abfluss, Schneedecke, Temperatur, Grundwasserpegelstände etc. eine zwar räumlich begrenzte, dafür sehr detaillierte Analyse der massgebenden Abflussprozesse.

Die beiden untersuchten Mai-Ereignisse wiesen bezüglich der kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten (10 min, 1 h) Werte auf, wie sie im Alptal jedes Jahr mehrmals vorkommen. In Bezug auf mehrtägige Niederschlagsdauern hingegen waren die beiden Ereignisse viel seltener. Sie wiesen eine Wiederkehrdauer auf, die zwischen 20 und 50 Jahren liegt. Die schmelzbedingte hohe Bodensättigung führte in den beiden untersuchten kleinen Einzugsgebieten des Erlen- und des Vogelbaches dazu, dass grosse Anteile des Niederschlages fast direkt ins Gerinne gelangten. Dabei war der Abflusskoeffizient klar höher im prozentual weniger bewaldeten Einzugsgebiet mit den geringmächtigeren, eher undurchlässigeren Böden. Da grosse Hochwasserabflüsse in kleinen Gebieten fast ausschliesslich durch kurze und sehr intensive Gewitterregen verursacht werden, resultierten aus diesen langanhaltenden und

deshalb weniger intensiven Niederschlägen trotz des hohen Abflusskoeffizienten in beiden Gebieten lediglich Abflussspitzen, wie sie im Alptal fast jedes Jahr vorkommen. Bedingt durch das Zusammentreffen des grossflächigen Niederschlages und der Schneeschmelze im Frühjahr 1999 summieren sich die Abflüsse aus kleinen Einzugsgebieten zu extremen Hochwasserabflüssen in grossen Einzugsgebieten.

Résumé

Les crues de mai 1999: une analyse basée sur des mesures hydrologiques effectuées dans de petits bassins versants

Un hiver très enneigé ne signifie pas forcément des crues extrêmes au printemps. Dans la vallée de l'Alptal, il y a eu nettement plus de neige pendant les hivers 1974/75 et 1981/82 qu'en 1998/99, sans que des débits extraordinaires n'aient toutefois été enregistrés à la fonte des neiges.

En mai 1999, alors que le sol était déjà saturé par la fonte des neiges et les importantes précipitations d'avril, deux grands événements pluvieux de longue durée ont affecté la majeure partie de la Suisse. Ces pluies ont provoqué d'importantes inondations (p. ex. au bord des lacs de Thoune et de Constance) et des situations de crues dangereuses (p. ex. aux abords de la Linth). Dans l'Alptal, il est tombé plus de 150 mm de pluie en trois jours puis, dix jours plus tard, encore une fois la même quantité en l'espace de 48 heures. Grâce à des données à haute résolution sur les précipitations, les débits, la couverture de neige, la température, le niveau de la nappe phréatique, etc., les bassins de recherche du WSL dans l'Alptal ont permis une analyse très détaillée des principaux processus d'écoulement, même si leur portée géographique est limitée.

Sur de courtes durées (10 min., 1 h), les deux événements pluvieux du mois de mai ont présenté des intensités qui sont atteintes plusieurs fois par année dans l'Alptal. Par contre, les intensités calculées sur de plus longues durées (2 à 4 jours) correspondaient à des valeurs beaucoup plus rares, avec un temps de retour compris entre 20 et 50 ans. Suite à la fonte des neiges, le sol saturé d'eau a entraîné des coefficients d'écoulement élevés dans les deux bassins analysés (Erlenbach et Vogelbach). Ce coefficient était en outre nettement plus grand dans le bassin moins boisé, au sol moins profond et plutôt moins perméable. Dans les petits bassins, les fortes crues se limitent souvent aux brèves averses orageuses de forte intensité. Malgré leurs coefficients d'écoulement élevés, les deux événements analysés étaient de longue durée mais d'intensité réduite; ils n'ont de ce fait produit, dans les deux bassins étudiés, que des débits comme on peut en mesurer chaque année dans l'Alptal. Due à la coïncidence des pluies répandues à large échelle et la fonte des neiges au printemps 1999, la somme des débits provenant des petits bassins a engendré une crue extraordinaire dans les grands bassins.

Summary

The Flood Events of May 1999: an Analysis Based on Hydrologic Measurements in Small Catchments

A winter rich in snow does not necessarily mean floods during the melting period. During the winter periods of 1974/75 and 1981/82, the maximum snow water equivalents in the test-catchments of the Alptal-valley (canton of Schwyz, Switzerland) were higher than those during the corresponding period in 1998/99, but there were no exceptional floods, neither in spring 1975 nor in 1982.

In May 1999, with soils nearly saturated due to snow-melt and rainy weather during the spring, two heavy rainfall events covered large parts of northern Switzerland. These events resulted in large inundation damages (e.g. lake of Thun, lake of Constance) and dangerous flood situations (e.g. river Linth). The rain gauges in the Alptal-catchments recorded approx. 150 mm rain within three days and ten days later about the same amount within two days. The test-catchments of the Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, Switzerland, in the Alptal-valley, with their data for precipitation, discharge, snow-cover, temperature, radiation etc. measured in short intervals, offered an excellent opportunity to provide a detailed analysis of the controlling flow processes even if the considered area is rather limited.

The short-duration rainfall intensities (10 min, 1 h) of the two events in May showed values measured more than once a year in the Alptal-valley. However, the rainfall intensities for two to four days made the events rarer and resulted in return periods of 20 to 50 years. Due to snow melt, the nearly saturated soil in the two investigated small catchments resulted in high runoff-coefficients for the two events. At the same time, the runoff-coefficient was distinctly higher in the catchment with the lower forest coverage and the shallower and somewhat less permeable soil. Peak discharges in small catchments result almost exclusively from short and intensive storms. Despite the high runoff-coefficients in the investigated catchments, these two long-lasting and, therefore, less intensive rainfall events in May 1999 produced peak flows, which are commonly measured almost each year. Due to the coincidence of the heavy rainfall event spread over a large area and the snow melt in spring 1999, the peak flows of small catchments added up to extreme peak floods in large catchments.

Literaturverzeichnis

- ASCHWANDEN, H., 2000: Die Maihochwasser 1999 – Analyse der Messdaten und extremwertstatistische Einordnung. Mitteilung Nr. 28, Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- BÄNZIGER, R.; BURCH H., 1991: Geschiebetransport in Wildbächen. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 24: 4 S.
- BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie), 2000: Hochwasser 1999 – Ereignisanalyse, Studienbericht des BWG, Biel.
- BURCH, H., 1994: Ein Rückblick auf die hydrologische Forschung der WSL im Alptal. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, 35: 18–33.
- FORSTER, F., 1994: Wie vertrauenswürdig bildet das Simulationsmodell Brook massgebende hydrologische Prozesse ab? Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, 35: 195–208.
- HEGG, C.; RICKENMANN, D., 1998: Short-time relations between runoff and bedload transport in a steep mountain torrent. IAHS Publ. no. 249: 317–324.
- KELLER, H.M.; STROBEL, T.; FORSTER, F., 1984: Die räumliche und zeitliche Variabilität der Schneedecke in einem schweizerischen Voralpentale. In: Workshop: Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa, Hann. Münden (BRD). 12.–15. März 1984, DVWK-Mitteilungen, Bonn. Vol. 7: 257–284.
- KELLER, H.M.; BURCH, H.; GUECHEVA, M., 1989: The variability of water quality in a small mountainous region. IAHS Publication, no. 182: 305–312.
- STÄHLI, M.; PAPRITZ, A.; WALDNER, P.; FORSTER, F., 2000: Die Schneedeckenverteilung im voralpinen Einzugsgebiet Erlenbach während des Rekordwinters 1998/99. Schweiz. Z. Forstwes. 151 (im Druck).
- WALDNER, P.; SCHNEEBELI, M.; WUNDERLI H., 2000: Messungen des Nährstoffaustrages aus einer schmelzenden Schneedecke im Alptal, SZ. Schweiz. Z. Forstwes. 151 (im Druck).

Dank

Pierre Sulser gebührt ein herzliches «Dankeschön» für die sorgfältige Datenaufbereitung. Ein ebenso herzlicher Dank geht an Ueli Moser für seine exakte Manuskript-Durchsicht. Ein Teil der Arbeiten wurde mit massgeblicher finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft durchgeführt.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 8903 Birmensdorf.

Verfasser:

FELIX FORSTER, dipl. Bauing. ETH; Dr. CHRISTOPH HEGG; Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf.