Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 113 (1995)

Heft: 21

Artikel: Hochwasserereignisse in Wildbächen: Analyse grösserer Ereignisse in Rotenbach (Schwarzsee)

Autor: Barben, Martin / Weingartner, Rolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78721

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: 13.07.2025

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

Martin Barben und Rolf Weingartner, Bern

Hochwasserereignisse in Wildbächen

Analyse grösserer Ereignisse im Rotenbach (Schwarzsee)

Wildbacheinzugsgebiete sind komplexe, schnell reagierende, hochdynamische Systeme, über die nur wenige Messdaten verfügbar sind. Es ist zu erwarten, dass sie auf Veränderungen in den Umwelt- und Klimabedingungen besonders sensitiv reagieren. Um diese Hypothese zu prüfen, sind Untersuchungen notwendig, die zu einem besseren Systemverständnis beitragen. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Analyse grosser Hochwasserereignisse im Rotenbach (Schwarzsee, Kanton Freiburg) vorgestellt.

Die vorliegende Untersuchung bildet einen Beitrag zum Projekt «Sensitivität von Wildbachsystemen», einem Teilprojekt des Nationalen Forschungsprogramms 31 «Klimaänderung und Naturkatastrophen», das am Geographischen Institut der Universität Bern zur Ausführung gelangt. Sie beschäftigt sich mit den grössten Hochwasserereignissen der Periode 1974 bis 1991 im voralpinen Wildbacheinzugsgebiet des Rotenbachs. Neben den Hochwasserereignissen selbst wurden auch das Niederschlagsgeschehen und der Gebietszustand analysiert. Die zentrale Frage lautete: Können die Hochwasserereignisse mit dem auslösenden Niederschlagsereignis und dem Gebietszustand erklärt werden? Im Zusammenhang mit Fragen der Klimaänderung sind solche Analysen von grundlegender Bedeutung, wirken sich doch Klimaänderungen nicht nur direkt - etwa durch eine Erhöhung der Niederschlagsintensität - sondern auch indirekt zum Beispiel über den Gebietszustand, der von der Vorgeschichte eines Ereignisses entscheidend beeinflusst wird, auf das Hochwassergeschehen aus.

Übersicht über das Untersuchungsgebiet

Der Rotenbach mündet etwa zwei Kilometer nördlich des Ausflusses des Schwarzsees von Westen her in die Warme Sense. Das Einzugsgebiet mit einer Fläche von 1,66 km² und einer mittleren Höhe von 1455 m über Meer liegt an der Ostabdachung des Schwybergs im Wildflysch der Gurnigelzone. Die Abflussmessstation Rotenbach befindet sich auf 1275 m über Meer.

Der Rotenbach gehört zu den schweizerischen Einzugsgebieten mit den höchsten spezifischen Hochwasserabflüssen. Nach [8] beträgt die 50jährliche Spitzenabflussspende rund 6950 l/s km², die 100jährliche rund 8450 l/s km². Bild 1 gibt einen Überblick über die nach der theoretischen Verteilungsfunktion berechneten 50jährlichen Hochwasserspenden kleiner schweizerischer Einzugsgebiete; es belegt deutlich die hohe Abflussbereitschaft des Rotenbachs. Nur gerade der Riale di Roggiasca östlich von Bellinzona erreicht unter den mit langjährigen Messreihen belegten Einzugsgebieten eine höhere Hochwasserspende.

Auffallend ist die nach der Wasserbilanz berechnete sehr kleine Gebietsverdunstung von nur 224 mm (Tabelle 1). Sie liegt weit unter dem nach dem Verfahren in [2] geschätzten Erwartungswert von 430 mm. Dies verdeutlicht einmal mehr die hohe Abflussbereitschaft des Gebietes. Dabei spielen die gerinnenahen Hanglagen eine besondere Rolle, wie das Bild 2 verdeutlicht: Der Topoindex, der beim TOPMODEL [3] eine zentrale Rolle spielt, dient zur Modellierung der Sättigungsbereitschaft eines Einzugsgebietes. Hohe Topoindex-Werte bedeuten hohe Bereitschaft zur Sättigung und damit rasches Ansprechen bei Niederschlagsereignissen. Es kann gezeigt werden, dass zwischen den Topoindex-Werten und den Böden im Einzugsgebiet des Rotenbachs signifikante Zusammenhänge bestehen: Hohe Topoindex-Werte treten in jenen Rasterzellen auf, in denen Böden mit deutlichen Nässezeigern, wie beispielsweise Hanggleye mit Oxydationsflecken, kartiert wurden.

Auswahl der Daten und erste Analysen

Aus Gründen der Datenverfügbarkeit wurden hier nur die Hochwasserereignisse der Periode 1974 bis 1991 analysiert. Besonders komplexe Ereignisse, wie sie im Bereich der

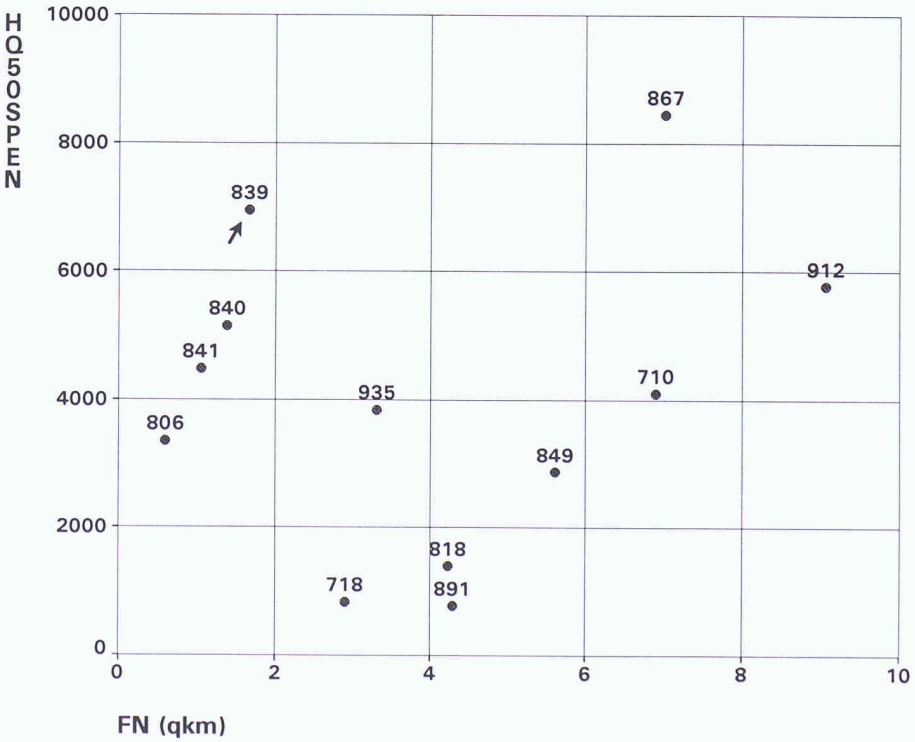

Bild 1.
50jährliche Spitzenabflussspenden in kleinen schweizerischen Einzugsgebieten [8]

Schneeschmelze auftreten können, blieben unberücksichtigt. Deshalb stammen alle analysierten Hochwasser aus dem Zeitraum Juni bis Oktober. Zur Abtrennung der grösseren Hochwasserereignisse wurde ein Schwellenwert von 3000 l/s (1800 l/s km²) für den Spitzenabfluss gewählt; das heisst, es wurden nur Hochwasserspitzenabflüsse mit einer Jährlichkeit von ≥ 0,5 Jahren analysiert. Tabelle 2 vermittelt einen chronologischen Überblick über die 43 untersuchten Hochwasserabflüsse.

Zu jedem Ereignis wurden 18 verschiedene Kennwerte bestimmt, welche die Hochwasserganglinie, den auslösenden Niederschlag und den Zustand des Einzugsgebietes beschreiben. Die wichtigsten Parameter sind:

Kenngrösse	Wert	Quelle
mittlerer Jahresabfluss (1971-1979)	85 l/s	
mittlere Jahresabflusshöhe (1971-1979)	1617 mm	Landeshydrologie
Gebietsniederschlag, unkorr. (1971-1979)	1841 mm	
Verdunstung	224 mm	Wasserbilanz
Jährlicher Abflusskoeffizient	0,88	Wasserbilanz
Abflussregime	nival de transition	[12]
$HQ_{2.33}$	≈ 4,8 m³/s; ≈2,9 m³/s km²	
HQ_{50}	≈11,5m³/s; ≈6,9 m³/s km²	[8]
HQ_{100}	≈14 m³/s; ≈8,4m³/s km²	
Niederschlagsintensität 1 Std., 2,33 Jahre	21 mm/h	
Niederschlagsintensität 1 Std., 100 Jahre	46 mm/h	[5]
Niederschlagsintensität 24 Std., 2,33 Jahre	2,3 mm/h	
Niederschlagsintensität 24 Std., 100 Jahre	5,5 mm/h	

Tabelle 1.
Hydrologische Kennwerte des Rotenbachs

Abfluss

- Abflussspitze (Q_{max})
- Anstiegszeit der Ganglinie bis Q_{max} (t_a)
- Schwerpunkt der Abflussganglinie (t_{AS})
- Abflussbeiwert (ψ)

Niederschlag

- maximale Niederschlagsintensität innerhalb von 5 min (I_{max})
- Zeit vom Regenbeginn bis zu I_{max} (t_{int})
- Schwerpunkt der Niederschlagsganglinie (t_{NS})
- Dauer des Niederschlagsereignisses (t_d)

Gebietszustand

- Vorregenindex (VN)
- Basisabfluss (Q_{bas})

Der Vorregenindex, der vielfach zur Beschreibung des Gebietszustandes beim Beginn eines Hochwasserereignisses beigezogen wird, wurde wie folgt berechnet:

$$VN_n = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot k^i$$

P_i am i-ten Tag vor dem Hochwasserereignis gefallener Tagesniederschlag
k Konstante, Wertebereich [0,1] (hier k = 0,9)
n Anzahl berücksichtigter Tage vor dem Ereignis (hier n = 30)

Mit Hilfe der Pearson-III-Verteilung kann eine Hochwasserganglinie mit den drei Parametern Q_{max}, t_a und t_{AS} beschrieben werden (Bild 3). Diese Parameter wurden verwendet, um die grossen Hochwasser des Rotenbachs mittels einer Clusteranalyse zu klassieren. Das Ergebnis der Klassifikation ist in Form von sechs typischen synthetischen Hochwasserganglinien in Bild 4 dargestellt.

Ergebnisse

Korrelationsanalysen

Mit Korrelationsanalysen wurden die Zusammenhänge zwischen den Parametern des Niederschlags und des Gebietszustandes auf der einen Seite und den Parametern des Abflusses auf der anderen Seite untersucht. Diese Analysen wurden für die

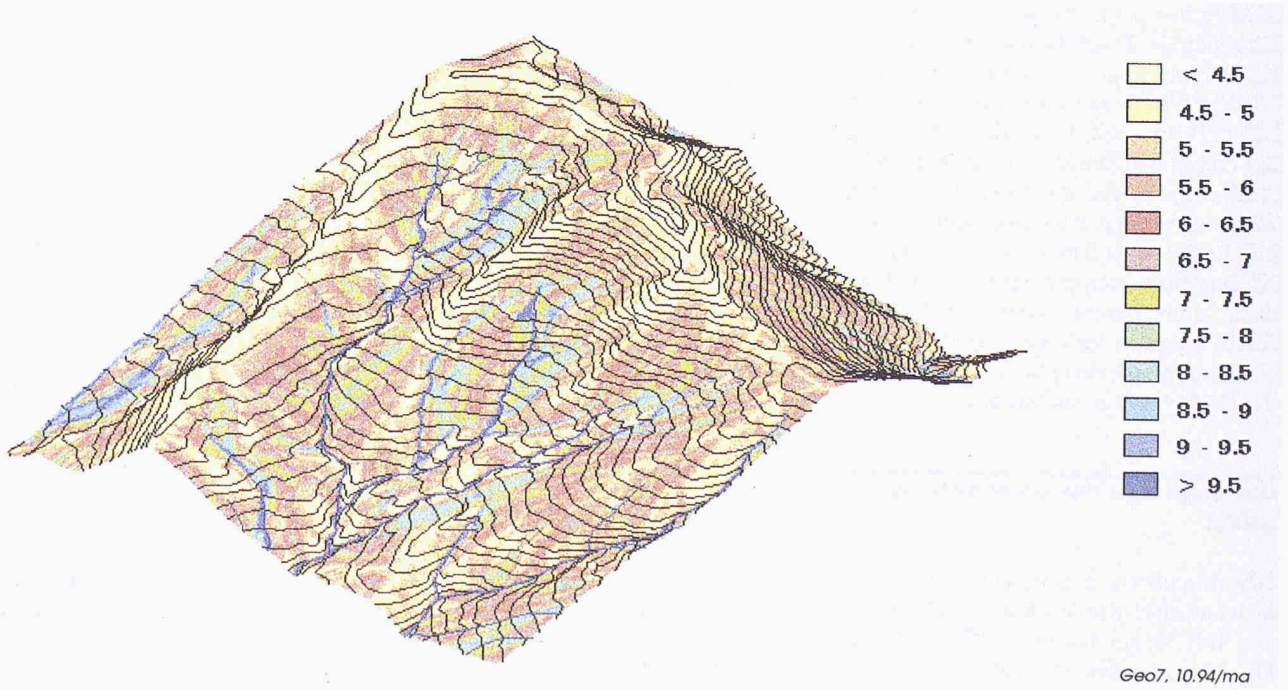

Bild 2.
Räumliche Verteilung des Topoindexes im Rotenbach [13]

Datum	Q_{max}	Datum	Q_{max}	Datum	Q_{max}
25. 07. 74	3692	20. 07. 80	3222	04. 07. 85	9987
09. 07. 75	4580	15. 08. 80	3598	04. 06. 86	4020
18. 07. 75	4110	19. 08. 80	5003	17. 06. 86	3453
30. 09. 75	3036	09. 06. 81	3269	23. 08. 86	3332
24. 06. 77	3129	09. 07. 81	4674	26. 08. 86	4596
25. 07. 77	3036	10. 07. 81	4204	26. 06. 87	5208
31. 07. 77	3175	23. 06. 82	3645	07. 07. 87	7820
07. 08. 77	3692	28. 06. 82	3410	23. 07. 88	9907
08. 06. 78	5512	23. 07. 82	3222	29. 08. 88	7236
10. 06. 78	3692	15. 08. 82	3692	10. 10. 88	3453
30. 06. 78	3175	26. 06. 83	3692	08. 06. 90	3831
07. 08. 78	4204	16. 09. 83	3316	05. 07. 90	4818
11. 09. 78	3316	05. 08. 84	3410	23. 09. 90	3390
19. 08. 79	3457	10. 08. 84	3129		
08. 07. 80	3175	14. 09. 84	3878		

Tabelle 2.
Übersicht über die analysierten Hochwasserereignisse; Q_{max}: Spitzenabflussmenge [1/s]

einzelnen in Bild 4 dargestellten Hochwasserklassen durchgeführt.

Niederschlag und Hochwasserabfluss

Einzig zwischen den Schwerpunkten der Niederschlags- und Abflussganglinie konnten signifikante positive Zusammenhänge gefunden werden. Dieser Schwerpunkt ist, wie Bild 3 veranschaulicht, zwar für die Charakterisierung einer Abflussganglinie sehr wichtig; er genügt aber nicht, um ein Abflussereignis befriedigend zu beschreiben, insbesondere erlaubt er keine Aussagen in bezug auf die Abflussspitzen. Dieses Ergebnis weist einmal mehr auch auf die Problematik der sogenannten Black-Box-Modelle hin, in denen der Hochwasserabfluss allein auf der Basis von Niederschlagskennwerten modelliert wird (Input-Output-Betrachtung).

Gebietszustand und Hochwasserabfluss

Es konnten keine signifikanten Abhängigkeiten zwischen dem Gebietszustand und dem Abfluss festgestellt werden. Dies hängt wohl damit zusammen, dass die konventionellen Parameter, die als Indexgrössen für den Gebietszustand verwendet werden, nicht genügen. Die Bodenverhältnisse, aber auch die Witterungsbedingungen vor einem Ereignis, insbesondere auch die Verdunstungsverhältnisse, bleiben beim Vorregenindex weitgehend unberücksichtigt. Seine zeitliche Auflösung wird den kleinen Konzentrationszeiten und der schnellen Drainage der kleinen Einzugsgebiete nicht gerecht. Wenn es beispielsweise wenige Stunden vor einem am gleichen Tag stattfindenden Hochwasserereignis geregnet hat, geht dieser Niederschlag nicht in die Berechnung des Vorregenindexes ein, obwohl sich der Feuchtezustand des Gebietes dadurch entscheidend verändert hat.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Resultaten anderer Untersuchungen in kleineren Einzugsgebieten [6,11]. Sie zeigen einmal mehr, dass von diesem zwar einfach bestimmbaren, aber wenig aussagekräftigen Vorregenindex endgültig abzurücken ist! Allerdings bereitet die Formulierung tauglicher Alternativen einige Mühe, zumal die Prozesse der Abflussbildung nach wie vor nicht vollumfänglich verstanden werden. So sind etwa die in den meisten Einzugsgebieten festgestellten grossen Schwankungen des Abflussbeiwertes, die eigentlich entscheidend vom Gebietszustand beeinflusst sein sollten, im deterministischen Sinne nur ansatzweise erklärbar. In [7] wird deshalb vorgeschlagen, den Abflussbeiwert als Zufallszahl mit einer bestimmten Verteilung zu behandeln.

Der Bedarf nach Prozessforschung im Gelände ist nach wie vor sehr gross; trotz Computer und Computermodellen gehören Stiefel immer noch zur Grundausrüstung der Hydrologinnen und Hydrologen! Deshalb haben sich die Gruppen für Geomorphologie und Hydrologie des Geographischen Instituts entschlossen, in einem alpinen Wildbacheinzugsgebiet solche detaillierte Prozessanalysen durchzuführen, welche Fragen der Feststoffbereitstellung und des Feststofftransportes mitberücksichtigen [13]. Die komplexen und oft nicht-linearen Vorgänge in Wildbächen sind modellmässig nur in Ansätzen erfassbar. Nachhaltige Prävention und ökologisch angepasste Strategien zur Verminderung der Schäden erfordern deshalb ein vertieftes Prozessverständnis. Neben der Untersuchung möglicher Prozessabläufe sind auch Kenntnisse der entscheidenden Kausalketten notwendig.

Saisonale Schwankungen

Unter saisonalen Schwankungen werden hier die Variationen verstanden, denen die analysierten Parameter in den Monaten Juni bis Oktober unterworfen sind. Die deutlichsten Schwankungen zeigen beim Abfluss der Parameter t_{AS} (Schwerpunkt der Ganglinie), beim Niederschlag die Parameter t_{NS} (Schwerpunkt) und I_{max} (maximale Niederschlagsintensität) sowie der Basisabfluss (Q_{bas}). Die Variationen der Schwerpunkte der Niederschlags- und Abflussganglinien sowie der Niederschlagsintensitäten lassen sich mit der zeitlichen Häufigkeit einzelner Wetterlagen gut erklären. Beim Niederschlagsgeschehen dominieren im Frühling und Herbst die advektiven Lagen, im Sommer die konvektiven [10]. Im Hochsommer sind die Niederschläge

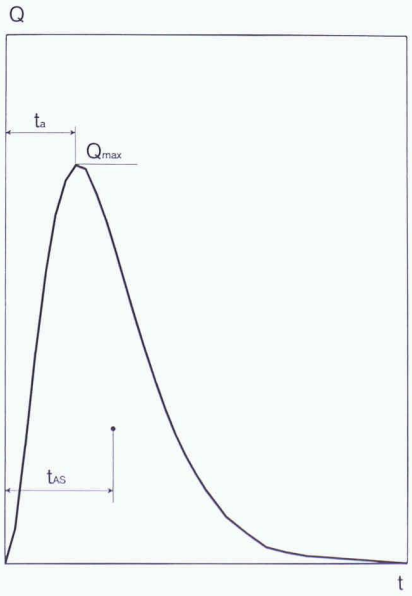

Bild 3.
Parametrisierung einer Hochwasserganglinie [9]

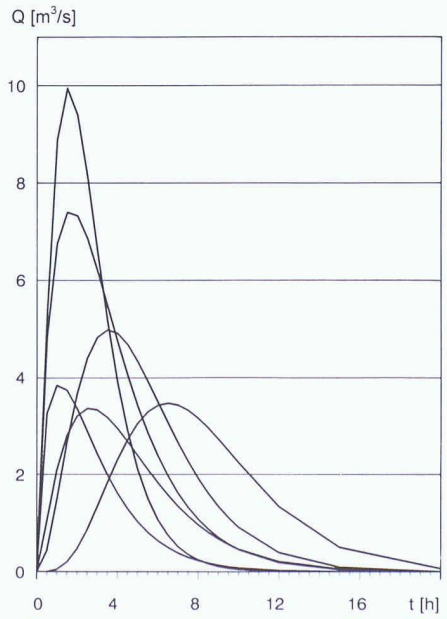

Bild 4.
Charakteristische Hochwasserganglinien der grössten Ereignisse im Rotenbach

deshalb in der Regel kürzer und intensiver. Damit werden die Schwerpunktzeiten der Niederschlags- und Abflussganglinie kleiner.

Die Variationen der Basisabflüsse zeigen erwartungsgemäss einen ausgeprägten saisonalen Gang mit hohen Frühlings- und Herbstwerten und relativ tiefen Sommerwerten. Sie leisten aber keinen direkten Beitrag zum Verständnis der Variationen der Hochwasserabflüsse.

Fazit und Ausblick

Der Gebietszustand einerseits und der auslösende Niederschlag andererseits sind Schlüsselgrössen zum Verständnis eines Hochwasserereignisses. Mit konventionellen Parametern wie Vorregenindex und Basisabfluss lässt sich ersterer nicht zufriedenstellend parametrisieren. Im Zusammenhang mit der unbedingt notwendigen Prozessforschung zur Verbesserung der Kenntnisse im Bereich der Abflussbildung muss insbesondere auch versucht werden, die Zustände der relevanten abflusssteuernden Speicher räumlich-zeitlich differenziert zu betrachten. Zu diesem Zweck wird nun in einer Folgearbeit das Bilanzmodell BROOK eingesetzt [1]. Dabei handelt es sich um ein deterministisches Konzeptmodell (semi-distributed) mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag. Die Erfahrungen in anderen schweizerischen Einzugsgebieten zeigen, dass mit ihm die relevanten Speicher (Wurzelzone, ungesättigte Zone, Grundwasser) gut abgebildet werden können [4]. Dieses Modell soll deshalb nun dazu verwendet werden, die grösseren Hochwasser im Rotenbach aus der Sicht der Speicherzustände zu analysieren. Bild 5 vermittelt dazu ein erstes Beispiel: Im Hochwasserjahr 1987 überschritten die Niederschlagssummen der Monate März, Mai, Juni und Juli die langjährigen Mittel zum Teil beträchtlich und führten im Juni und Juli zu nur geringen Wassersättigungsdefiziten, entsprechend kleinen Speicherkapazitäten und demzufolge zu hohen Direktabflussvolumina und - bei entsprechenden Niederschlagsintensitäten - zu grossen Hochwasserspitzen.

Erste Ergebnisse der Untersuchung in [1] zeigen, dass die geringen Speicherkapazitäten wahrscheinlich wesentlich für die aussergewöhnlich hohen Hochwasserspenden des Rotenbachs verantwortlich sind.

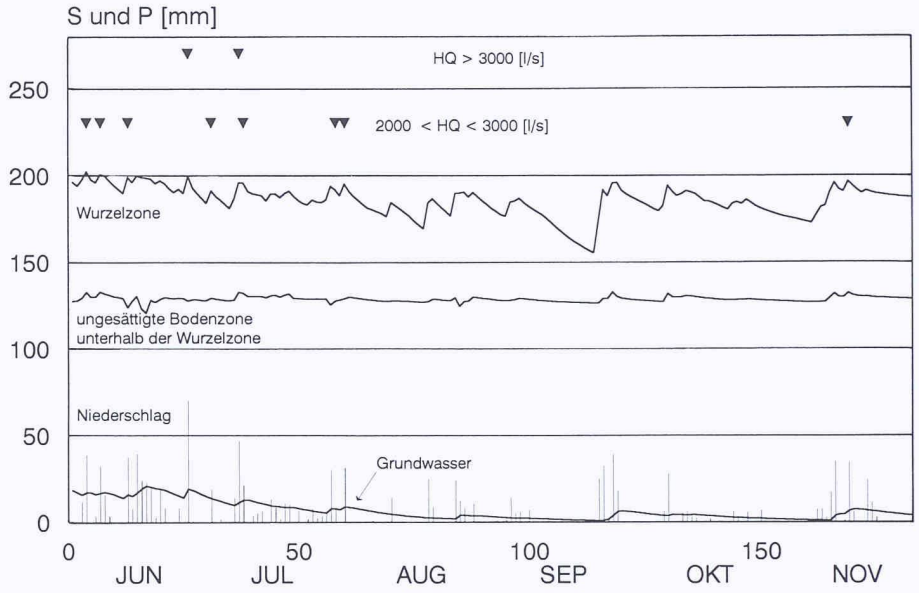

Bild 5.
BROOK-Modell Rotenbach: Modellierung der hydrologischen Verhältnisse im Rotenbach im Sommerhalbjahr 1987 als Grundlage zur Analyse grosser Hochwasserereignisse

Verdankung

Hans M. Keller (†) hat uns zu dieser Arbeit ermuntert. Hans Burch und Felix Forster von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, standen uns jederzeit mit Tat und Rat zur Verfügung. Peter Mani hat uns mit Beiträgen aus seinen Untersuchungen unterstützt.

Adresse der Verfasser:
Martin Barben, Dr. Rolf Weingartner, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstr. 12, 3012 Bern

Literatur

[1]
Barben M.: Dynamische Bilanzierung eines Wildbacheinzugsgebietes mit Hilfe des BROOK-Modells. Diplomarbeit Geographisches Institut der Universität Bern, Bern (in Vorbereitung).

[2]
Baumgartner A., Reichel E., Weber G.: Der Wasserhaushalt der Alpen. München 1983.

[3]
Beven K.J., Lamb R., Quinn P., Romanowicz R, Freer J.: TOPMODEL. Computer Models of Watershed Hydrology, Herausgeber Singh V.P, (in Druck).

[4]
Forster F.: Anwendungen und Erfahrungen mit dem Simulationsmodell BROOK. Interner Hydrologie-Bericht B349.1, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (unveröffentlicht), Birmensdorf 1992.

[5]
Geiger H., Röthlisberger G., Stehli A., Zeller J.: Extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901-1970. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern 1992.

[6]
Naef F., Zuidema P., Kölla E.: Abschätzung von Hochwassern in kleinen Einzugsgebieten. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie Nr. 33, Bern 1986.

[7]
Naef F.: Der Abflusskoeffizient: einfach und praktisch? Zürcher Geographische Schriften 53, Zürich 1993.

[8]
Spreafico M., Aschwanden H.: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern. Mitteilung Nr.16 der Landeshydrologie- und geologie, Bern 1991.

[9]
Streit U.: Ein mathematisches Modell zur Simulation von Abflussganglinien. Giessener Geographische Schriflen 27, Giessen 1973.

[10]
Schüepp M.: Witterungsklimatologie. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Zürich 1979.

[11]
Weingartner R.: Das Unit-Hydrograph-Verfahren und seine Anwendung in schweizerischen Einzugsgebieten. Publikation Gewässerkunde Nr. 107, Bern 1989.

[12]
Weingartner R., Aschwanden H.: Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern 1992.

[13]
Weingartner R., Kienholz H.: Zur Sensitivität von Wildbachsystemen - Konzepte und erste Ergebnisse aus Untersuchungen in den Testgebieten Rotenbach (Schwarzsee) und Spissibach (Leissigen). Gedenkschrift Hans M. Keller, Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 35, Zürich 1994.