

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

Autor(en): **Barben, Martin / Weingartner, Rolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 21

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78721>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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 50jährige Spitzenabflusspende rund 6950 l/s km², die 100jährige rund 8450 l/s km². Bild 1 gibt einen Überblick über die nach der theoretischen Verteilungsfunktion berechneten 50jährigen 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 Gebiets-

verdunstung 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 Topindex, der beim TOP-MODEL [3] eine zentrale Rolle spielt, dient zur Modellierung der Sättigungsbereitschaft eines Einzugsgebietes. Hohe Topindex-Werte bedeuten hohe Bereitschaft zur Sättigung und damit rasches Ansprechen bei Niederschlagsereignissen. Es kann gezeigt werden, dass zwischen den Topindex-Werten und den Böden im Einzugsgebiet des Rotenbachs signifikante Zusammenhänge bestehen: Hohe Topindex-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

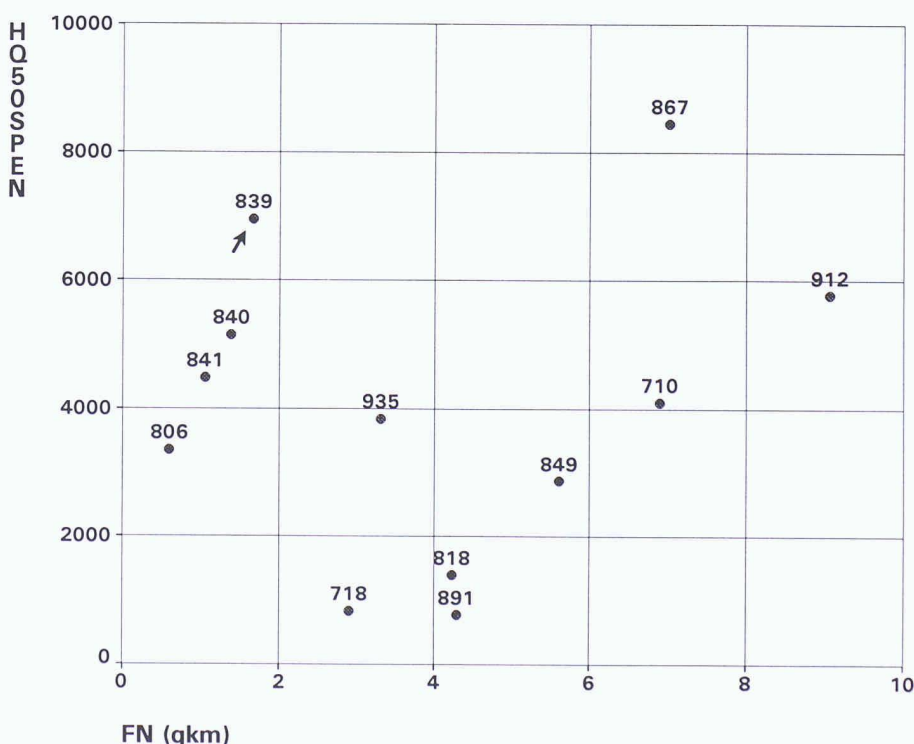


Bild 1.
50jährige Spitzenabflusspenden in kleinen schweizerischen Einzugsgebieten [8]

Schneeschnmelze 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 $\geq 0,5$ 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:

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})

Kenngrösse	Wert	Quelle
mittlerer Jahresabfluss (1971-1979)	85 l/s	Landeshydrologie
mittlere Jahresabflusshöhe (1971-1979)	1617 mm	
Gebietsniederschlag, uncorr. (1971-1979)	1841 mm	
Verdunstung	224 mm	Wasserbilanz Wasserbilanz [12]
Jährlicher Abflusskoeffizient	0,88	
Abflussregime	nival de transition	
HQ _{2,33}	$\approx 4,8 \text{ m}^3/\text{s}; \approx 2,9 \text{ m}^3/\text{s km}^2$	[8]
HQ ₅₀	$\approx 11,5 \text{ m}^3/\text{s}; \approx 6,9 \text{ m}^3/\text{s km}^2$	
HQ ₁₀₀	$\approx 14 \text{ m}^3/\text{s}; \approx 8,4 \text{ m}^3/\text{s km}^2$	
Niederschlagsintensität 1 Std., 2,33 Jahre	21 mm/h	[5]
Niederschlagsintensität 1 Std., 100 Jahre	46 mm/h	
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

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

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

- 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 $n = 30$)

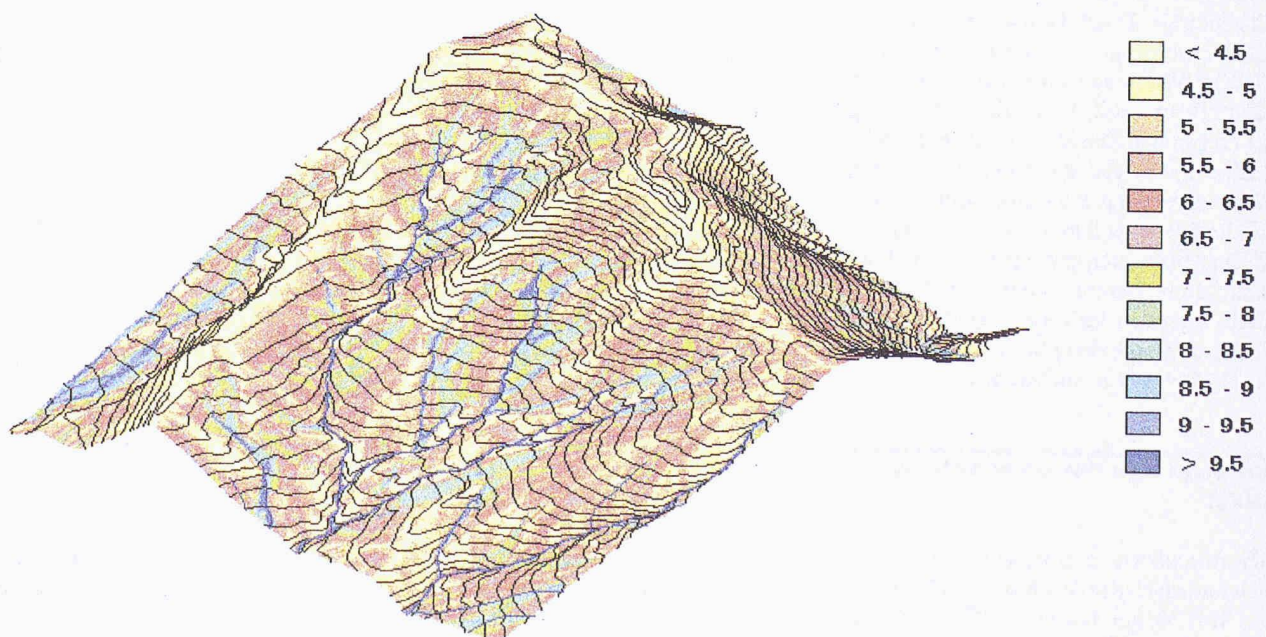
Mit Hilfe der Pearson-III-Verteilung kann eine Hochwasserganglinie mit den drei Parametern $Q_{\max}$, t_a und t_{AS} beschrieben werden (Bild 3). Diese Parameter wurden

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



Geo7, 10.94/ma

Bild 2.
Räumliche Verteilung des Topindex 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 Hoch-
wasserereignisse;
 $Q_{\max}$: Spitzenabfluss-
menge [1/s]

einzelnen in Bild 4 dargestellten Hochwasser-
serklassen durchgeführt.

Niederschlag und Hochwasserabfluss

Einzig zwischen den Schwerpunkten
der Niederschlags- und Abflussganglinie
konnten signifikante positive Zusammen-
hänge gefunden werden. Dieser Schwer-
punkt ist, wie Bild 3 veranschaulicht, zwar
für die Charakterisierung einer Abfluss-
ganglinie sehr wichtig; er genügt aber nicht,
um ein Abflussereignis befriedigend zu be-
schreiben, 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 Hochwas-
serabfluss allein auf der Basis von Nieder-
schlagskennwerten modelliert wird (Input-
Output-Betrachtung).

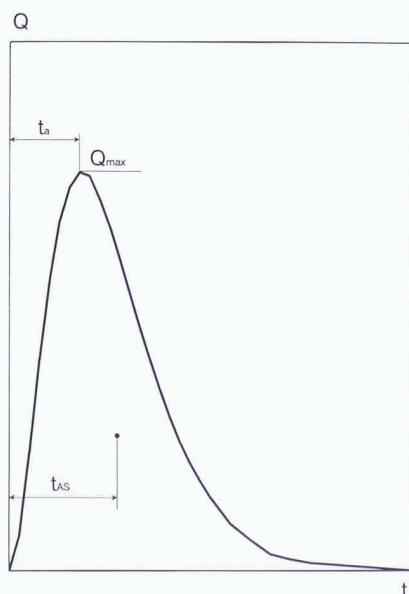


Bild 3.
Parametrisierung einer Hochwasserganglinie [9]

Gebietszustand und Hochwasser- abfluss

Es konnten keine signifikanten Ab-
hängigkeiten zwischen dem Gebietszu-
stand und dem Abfluss festgestellt werden.
Dies hängt wohl damit zusammen, dass die
konventionellen Parameter, die als Index-
größen für den Gebietszustand verwendet
werden, nicht genügen. Die Bodenverhält-
nisse, aber auch die Witterungsbedingun-
gen vor einem Ereignis, insbesondere auch
die Verdunstungsverhältnisse, bleiben beim
Vorregenindex weitgehend unberücksich-
tigt. Seine zeitliche Auflösung wird den
kleinen Konzentrationszeiten und der
schnellen Drainage der kleinen Einzugs-
gebiete nicht gerecht. Wenn es beispiels-
weise wenige Stunden vor einem am gleichen
Tag stattfindenden Hochwasserereignis ge-
regnet hat, geht dieser Niederschlag nicht

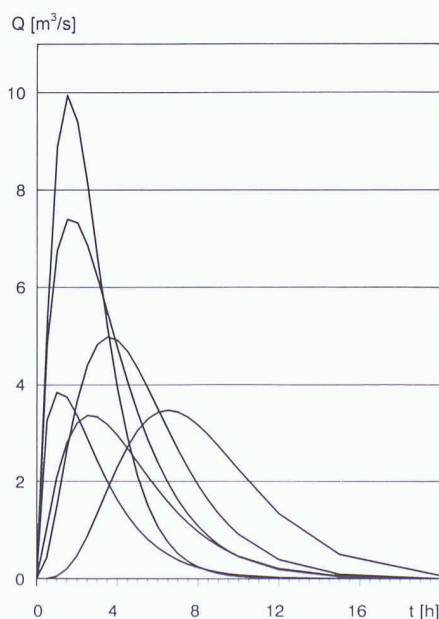


Bild 4.
Charakteristische Hochwasserganglinien der
grössten Ereignisse im Rotenbach

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 klei-
neren Einzugsgebieten [6,11]. Sie zeigen
einmal mehr, dass von diesem zwar einfach
bestimmbaren, aber wenig aussagekräfti-
gen Vorregenindex endgültig abzurücken
ist! Allerdings bereitet die Formulierung
tauglicher Alternativen einige Mühe, zumal
die Prozesse der Abflussbildung nach wie
vor nicht vollumfänglich verstanden wer-
den. So sind etwa die in den meisten
Einzugsgebieten festgestellten grossen
Schwankungen des Abflussbeiwertes, die
eigentlich entscheidend vom Gebietszu-
stand beeinflusst sein sollten, im determi-
nistischen Sinne nur ansatzweise erklärbar.
In [7] wird deshalb vorgeschlagen, den Ab-
flussbeiwert als Zufallszahl mit einer be-
stimmten Verteilung zu behandeln.

Der Bedarf nach Prozessforschung im
Gelände ist nach wie vor sehr gross; trotz
Computer und Computermodellen gehö-
ren Stiefel immer noch zur Grundausrü-
stung der Hydrologinnen und Hydrologen!
Deshalb haben sich die Gruppen für Geo-
morphologie und Hydrologie des Geogra-
phischen Instituts entschlossen, in einem
alpinen Wildbacheinzugsgebiet solche de-
taillierte Prozessanalysen durchzuführen,
welche Fragen der Feststoffbereitstellung
und des Feststofftransportes mitberück-
sichtigen [13]. Die komplexen und oft
nicht-linearen Vorgänge in Wildbächen
sind modellmässig nur in Ansätzen erfass-
bar. Nachhaltige Prävention und ökolo-
gisch angepasste Strategien zur Verminde-
rung der Schäden erfordern deshalb ein ver-
tiefte Prozessverständnis. Neben der Un-
tersuchung möglicher Prozessabläufe sind
auch Kenntnisse der entscheidenden Kau-
salketten notwendig.

Saisonale Schwankungen

Unter saisonalen Schwankungen werden
hier die Variationen verstanden, denen die
analysierten Parameter in den Monaten Juni
bis Oktober unterworfen sind. Die deut-
lichsten Schwankungen zeigen beim Ab-
fluss der Parameter t_{AS} (Schwerpunkt der
Ganglinie), beim Niederschlag die Para-
meter t_{NS} (Schwerpunkt) und $I_{\max}$ (maxi-
male Niederschlagsintensität) sowie der
Basisabfluss (Q_{bas}). Die Variationen der
Schwerpunkte der Niederschlags- und Ab-
flussganglinien sowie der Niederschlagsin-
tensitäten lassen sich mit der zeitlichen Häu-
figkeit einzelner Wetterlagen gut erklären.
Beim Niederschlagsgeschehen dominieren
im Frühling und Herbst die advektiven
Lagen, im Sommer die konvektiven [10].
Im Hochsommer sind die Niederschläge

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 ver-

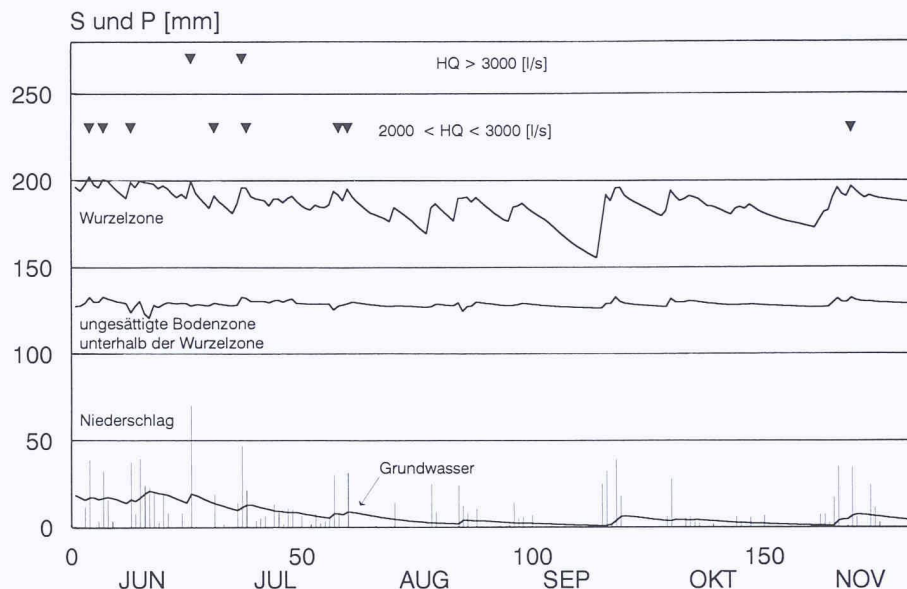


Bild 5.
BROOK-Modell Rotenbach: Modellierung der hydrologischen Verhältnisse im Rotenbach im Sommerhalbjahr 1987 als Grundlage zur Analyse grosser Hochwasserereignisse

Sommerhalbjahr 1987 als Grundlage zur Analyse grosser Hochwasserereignisse

mittelt 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.

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., Rütliberger G., Stebli 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 Schriften 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.