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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 92 (2000)

Heft: 3-4

Artikel: Schneeschmelz- und Abflussprognose für das Berner Oberland im Frühling 1999

Autor: Mani, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940245

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: 24.08.2025

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

Schneeschmelz- und Abflussprognose für das Berner Oberland im Frühling 1999

Peter Mani

1. Ausgangslage

Ungefähr ein Jahr ist es her, seit in verschiedenen Teilen des Mittellandes und des Voralpengebietes Flüsse über die Ufer traten und Seespiegel die Schadengrenze überschritten. Dies galt insbesondere auch für den Kanton Bern. Diese Situation traf aber den Kanton Bern nicht unerwartet. Die gewaltigen Schneemengen, die im Februar im Alpen- und Voralpengebiet fielen, liessen bereits Ende Februar bei den zuständigen Stellen des Kantons (Tiefbauamt, Abteilung Naturgefahren des Waldamtes sowie Wasser- und Energiewirtschaftsamt) die Frage aufkommen, welche Auswirkungen dies auf die Abflüsse in den kommenden Monaten haben könnte. Um diese Frage weiter abzuklären, wurde die Arbeitsgruppe Schnee/Wasser eingesetzt. Innerhalb dieser Arbeitsgruppe wurde Geo7 beauftragt, mit Hilfe von Modellen kurzfristige Prognosen der Schneeschmelze und der daraus resultierenden Abflüsse zu erstellen und Szenarien der längerfristigen Entwicklung zu berechnen. Der vorliegende Aufsatz fasst die angewendeten Verfahren und die praktischen Erfahrungen zusammen.

2. Modellansatz

Bei der Prognose der Schneeschmelze und des Abflusses sind verschiedene Prozesse zu berücksichtigen. Für die Plausibilisierung der Prognose ist es entscheidend, dass die verschiedenen Prozesse analysiert werden können. Ein statistischer Ansatz ist daher ungeeignet. Für die Prognose wurde deshalb ein Ansatz gewählt, der es erlaubt, die verschiedenen Prozesse dynamisch abzubilden. Das eingesetzte Modell besteht aus zwei Modulen: Ein Modul übernimmt die Simulation des Wasserangebotes aus dem Niederschlag und aus der Schneeschmelze, das zweite die Simulation des Abflusses.

Die Simulation der Schneeschmelze basiert auf dem erweiterten Tag-Grad-Verfahren von Braun (1985). Das Verfahren wurde unter anderem von Gurtz et al. (1997) und Schulla (1997) im Rahmen von Studien im Thur-Einzugsgebiet eingesetzt. Für die Arbeiten im Kanton Bern wurden im Modell folgende Prozesse berücksichtigt (Bild 1):

- Übergang Schnee/Regen: Die Unterscheidung erfolgt auf Grund der Temperatur.
- Strahlungsschmelze: Die Strahlungsschmelze wird über den Tag-Grad-Ansatz berechnet, wobei der Tag-Grad-Faktor im Jahresverlauf variiert wird.
- Schmelze durch sensible und latente Wärme: Advektive Schmelze wird angenommen, wenn der Niederschlag einen Schwellenwert überschreitet. Die advektive Schmelze wird auf Grund der Temperatur, des Niederschlages und des Windes berechnet.
- Speicherung von Regen und Schmelzwasser in der Schneedecke: Aus der Schneedecke wird erst Wasser abgegeben, wenn diese gesättigt ist. Die Speicherkapazität der Schneedecke ist vom Wasseräquivalent abhängig. Sie beträgt ungefähr 10%.
- Wiedergefrieren von Wasser in der Schneedecke: Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt kann Wasser, das in flüssiger Form in der Schneedecke gespeichert ist, wieder gefrieren.
- Verdunstung: Die Verdunstung wird mit dem Verfahren berechnet, wie es im Brook-Modell (Federer & Lash, 1983) verwendet wird.

Das erste Modul liefert das Wasserangebot, das auf den Boden auftrifft. Es bildet den Input für die Abflusssimulation. Die Parameter für die Schneeschmelzsimulation wurden weitgehend der Literatur entnommen. Für die Transformation des Wasserangebotes in den Abfluss wurde ein Einzellinearspeicher-Ansatz verwendet. Dieser Ansatz erlaubt es, die Verzögerungen bei der Abflussbildung abzubilden. Da die Speicher im Frühling 1999 weitgehend gefüllt waren, konnte dieser einfache Ansatz gewählt werden. Der Abflusskoeffizient und die Speicherkonstante sowie der Speicher für den Basisabfluss wurden vor der Simulation geeicht.

3. Prognosebetrieb

Anfang März wurde entschieden, ab Ende März für das Berner Oberland und das Voralpengebiet periodisch Schneeschmelz- und Abflussprognosen zu erstellen. Damit stand ein knapper Monat zur Verfügung, um einen operationellen Prognosebetrieb aufzubauen. In dieser Zeit mussten das Modell implementiert, die Datenflüsse festgelegt und die Form der Outputs definiert werden.

Das Simulationsmodell wurde in Powersim®, einem modernen Werkzeug für die Simulation dynamischer Systeme, aufgebaut (vgl. auch Mani, 2000). Auf eine Simulation der Schneeschmelze im GIS wurde verzichtet, weil die Aufbereitung der Inputdaten und die Simulationen für eine Prognose zu aufwendig gewesen wären. Ausserdem wies ein Teil der Inputdaten, z.B. die Meteodaten, ohnehin nur eine grobe räumliche Auflösung auf. Um aber dennoch räumliche Unterschiede berücksichtigen zu können, wurde das Unter-

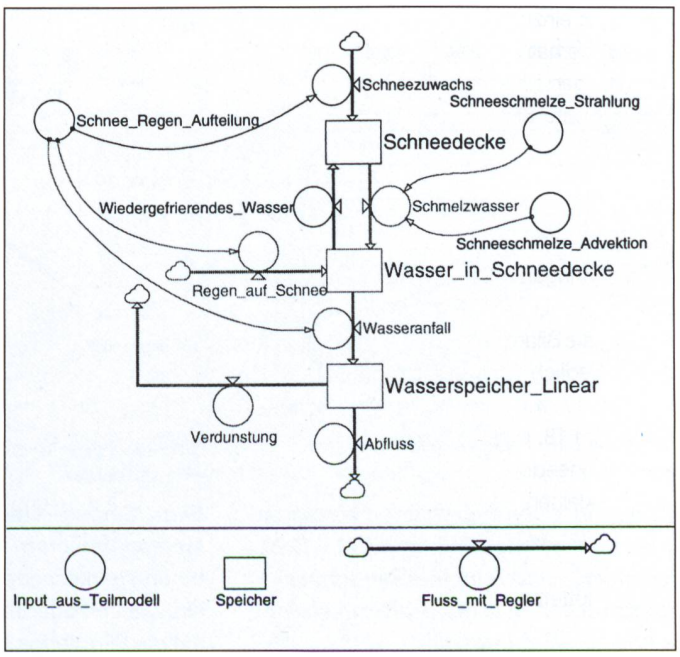

Bild 1. Struktur des Simulationsmodells für die Schneeschmelz- und Abflusssimulation.

suchungsgebiet in Teilflächen gegliedert, für die jeweils eine Simulation durchgeführt wurde. Die Gliederung wurde so gewählt, dass sich einerseits Unterschiede in den Schneevorräten abbilden liessen, andererseits eine Aggregation des Wasserangebotes für den Thuner- und Brienzersee möglich war. Daraus resultierten sechs Regionen. Zusätzlich wurde das ganze Gebiet in Höhenstufen von 200 m unterteilt. Für jede dieser Teilflächen wurde die Veränderung der Schneedecke in Tagesschritten simuliert. Die Resultate wurden auf Stufe Region aggregiert und mit dem Einzel-linearspeicher-Ansatz in einen Abfluss umgerechnet.

Vor einer Prognosesimulation mussten die Ausgangsbedingungen definiert werden. Dazu waren folgende Inputdaten notwendig:

- Anteil schneebedeckte Fläche: Diese Daten wurden für jede Teilfläche auf Grund der Schneeverteilungskarten, die vom Geografischen Institut geliefert wurden (vergleiche Beitrag von H. Kleindienst et al. in der gleichen Ausgabe von «wasser, energie, luft»), im GIS ermittelt.
- Wasseräquivalent der Schneedecke: Sofern aktualisierte Werte zur Verfügung standen, wurde auf Grund der Wasseräquivalentskarten des Geografischen Instituts für jede Teilfläche das mittlere Wasseräquivalent berechnet. Wenn keine Wasseräquivalentsdaten vorlagen, wurden die Werte aus der letzten Simulationsperiode übernommen.
- Durchfeuchtung der Schneedecke: Diese Werte wurden aus der vorangehenden Simulationsperiode übernommen.

Für die Prognosesimulation, welche normalerweise eine Periode von sieben Tagen umfasste, mussten die notwendigen Meteodaten bereitgestellt werden. Dies geschah durch die Firma Meteotest. Folgende Meteoparameter wurden für die Simulation geliefert:

- Mittlere Tagestemperatur: Die Temperatur wurde für jede 200-m-Höhenstufe prognostiziert.
- Tagesniederschlag: Für den Niederschlag wurde eine Prognose, unterteilt für das westliche und das östliche Berner Oberland sowie für das Voralpengebiet abgegeben.
- Mittlere Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wurde die analoge räumliche Unterteilung vorgenommen.

Diese Inputdaten mussten normalerweise am Donnerstagmittag vorliegen. Anschliessend wurden die Daten aufbereitet und die Simulationen durchgeführt. Die Simulation lieferte für jede Region, gegliedert nach Höhenstufen und Tagen, Angaben zu den Schmelzraten sowie zum Wasserangebot aus Schneeschmelze und Regen. Bild 2 zeigt das prognostizierte Wasserangebot im Einzugsgebiet Simme – Oberwil für das Auffahrtsereignis (12. bis 15. Mai 1999).

Dieses Einzugsgebiet wurde zu Verifikationszwecken zusätzlich zu den ausgeschiedenen Regionen bearbeitet. Die Auswertung zeigt, dass bis in eine Höhe von 1400 m ü.M. kein Schnee mehr lag. Hier entsprach das Wasserangebot dem Nieder-

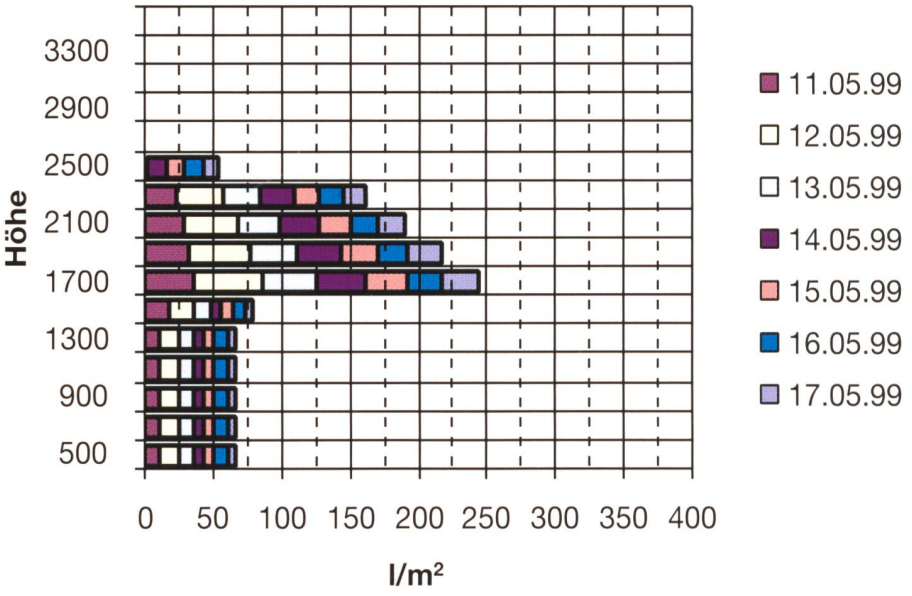

Bild 2. Simme – Oberwil: Prognose des Wasserangebots aus Schneeschmelze und Regen, gegliedert nach Höhenstufen für die Periode 11. bis 17. Mai 1999. Unterhalb 1400 m ü.M. liegt kein Schnee mehr. Hier entspricht das Wasserangebot dem Niederschlag. Während des Ereignisses vom 12./13. Mai kommt das grösste Wasserangebot aus der Höhenstufe 1600 bis 2200 m ü.M. Zwischen 2200 und 2400 m ü.M. trägt die Schneedecke erst ab dem 13. Mai zum Wasserangebot bei. Vorher konnte sie noch Wasser zurückhalten.

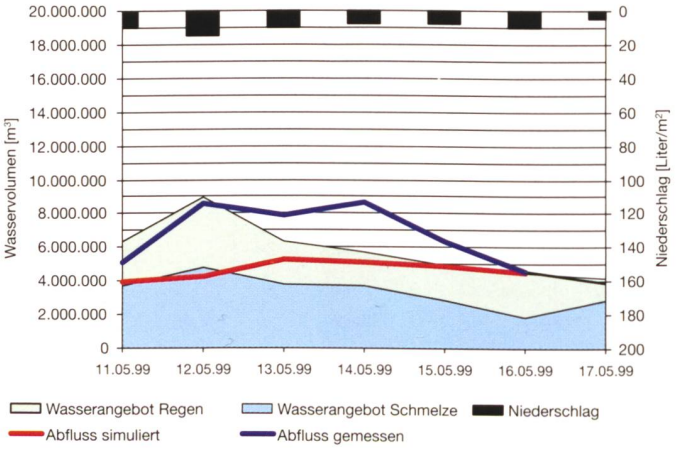

Bild 3. Simme – Oberwil: Prognose des aggregierten Wasserangebotes und des Abflusses für die Periode 11. bis 17. Mai 1999, basierend auf der Niederschlags- und Temperaturprognose vom 11. Mai. Zu Vergleichszwecken ist in der Grafik zusätzlich der effektiv gemessene Abfluss eingetragen.

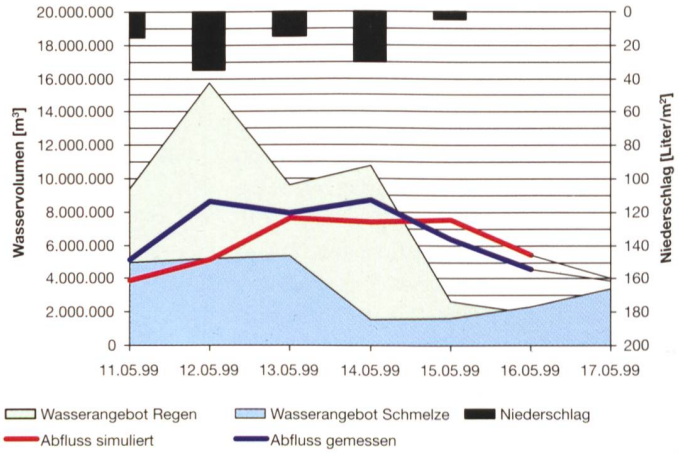

Bild 4. Simme – Oberwil: Nachsimulation mit den gemessenen Meteoparametern für die Periode 11. bis 17. Mai 1999. Simulierter und gemessener Abfluss stimmen wesentlich besser überein. Die Verzögerung im Anstieg des Abflusses um einen Tag ist auf die Simulation in Tagesschritten zurückzuführen.

schlag. Oberhalb 1400 m ü.M. bis in die Höhe von 2400 m ü.M. trug die Schneeschmelze wesentlich zum Wasserangebot bei. Diese Angaben wurden mit den Flächenanteilen gewichtet, wobei das Wasserangebot aus der Schneeschmelze nur in den schneebedeckten Gebieten berücksichtigt wurde. Basierend auf dem so ermittelten Wasserangebot wurde in einem weiteren Schritt der Abfluss berechnet. Dieser ist für die gleiche Periode in Bild 3 dargestellt.

Die Simulationsresultate wurden in einem Bulletin zusammengefasst. Das Bulletin umfasste einen Rückblick auf die Entwicklung der letzten Tage, die aktuelle Situation bezüglich der Schneeverteilung, die Wetterprognose, die Schmelz- und Abflussprognose sowie die Entwicklung der Disposition bezüglich Hang- und Wildbachprozessen.

Bis Freitag 9 Uhr musste das Bulletin an die zuständigen Stellen im Kanton per Fax oder E-Mail übermittelt worden sein. Diese Stellen leiteten die Informationen an die Regierungsstatthalterämter, an Gemeinden und an weitere interessierte Stellen weiter.

Bild 3 zeigt, dass die prognostizierten Abflüsse in der Periode 12. bis 14. Mai wesentlich unter den gemessenen Werten liegen. Dies ist vor allem auf eine Unterschätzung des Niederschlages in der Wetterprognose zurückzuführen. Die Unterschätzung war nicht nur im Berner Oberlandein Problem (vergleiche Grebner und Roesch 1999).

Führt man eine Simulation mit den gemessenen Meteodaten durch, ergibt sich eine wesentlich bessere Übereinstimmung zwischen simuliertem und gemessenem Abfluss (Bild 4). Die zeitliche Verzögerung beim Anstieg des Abflusses ist auf die Simulation in Tagesschritten zurückzuführen. Im Einzellinearspeicher konnten Verzögerungen beim Abfluss von weniger als 24 Stunden nicht abgebildet werden. Dies wurde aber bei der Interpretation der Simulationsresultate berücksichtigt. Solche Nachsimulationen wurden immer vor der nächsten Prognose durchgeführt. Sie dienten einerseits der Überprüfung der letzten Prognose, andererseits wurden die Verhältnisse in der Schneedecke nachgeführt (Wasseräquivalent, Wassersättigung der Schneedecke).

Wegen der angespannten Lage wurde nach dem Ereignis vom 12. bis 15. Mai entschieden, die Schmelz- und Abflussprognosen auf Grund von aktuellen Wetterprognosen täglich zu überprüfen und wenn nötig anzupassen.

Damit konnte die Problematik, die sich aus der Ungenauigkeit der mittelfristigen Wetterprognose ergab, zumindest teilweise eliminiert werden.

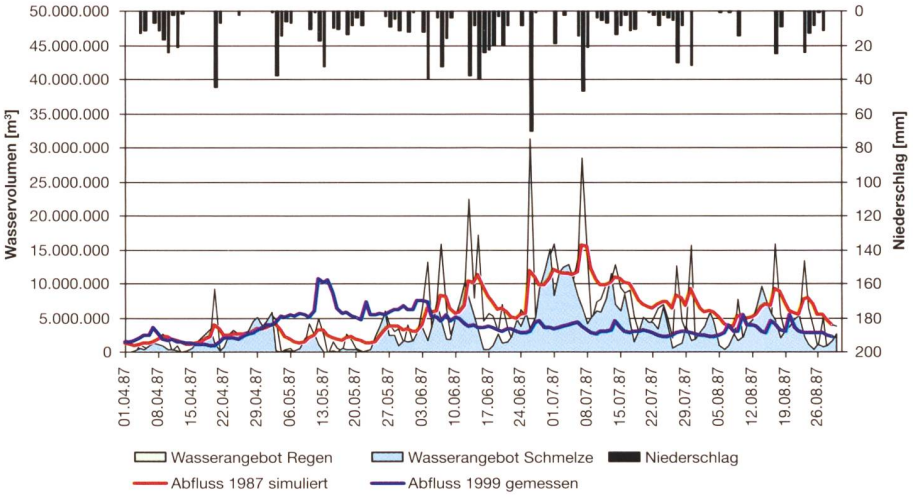

Bild 5. Szenario «Kander – Hondrich 87» (Witterungsverlauf analog 1987). Durch den kühlen Frühling wird die Schneeschmelze stark verzögert. Die intensive Schneeschmelze im Juli lässt, zusammen mit Starkniederschlägen, den Abfluss auf ein Niveau ansteigen, das deutlich über demjenigen von 1999 liegt.

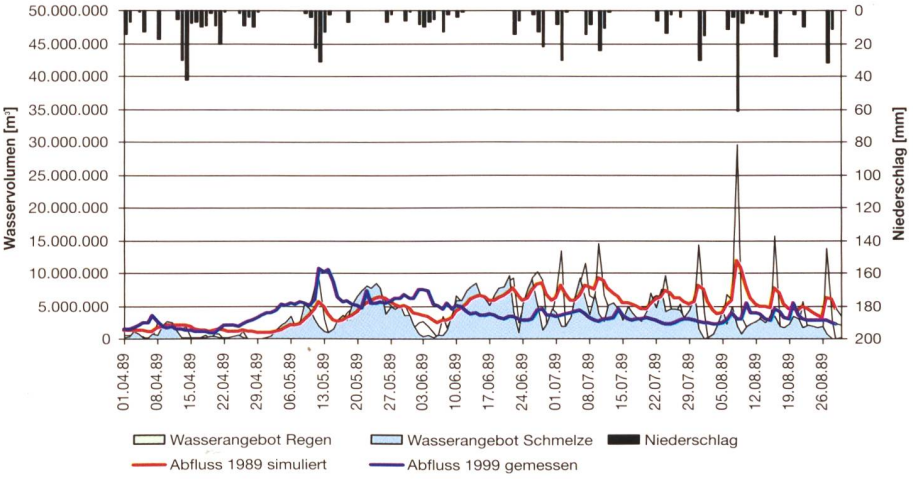

Bild 6. Szenario «Kander – Hondrich 89» (Witterungsverlauf analog 1989). Geringe Niederschläge und eher kühle Temperaturen führen, verglichen mit 1999, zu niedrigeren maximalen Abflusswerten.

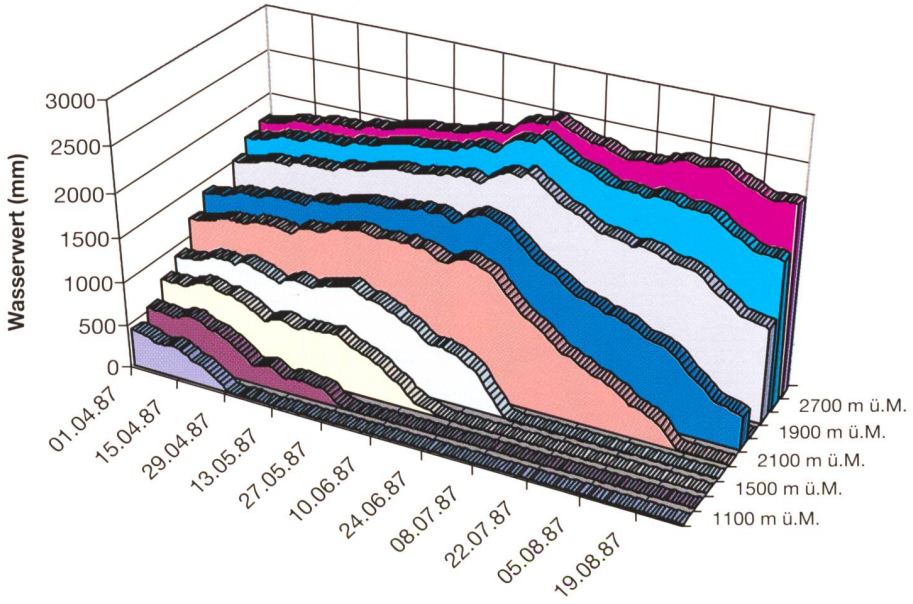

Bild 7. Entwicklung des Wasseräquivalents im Kander-Einzugsgebiet mit Szenario 1987. Oberhalb 2000 m ü.M. setzt die Schneeschmelze erst Ende Juni ein, umfasst da aber den ganzen Höhenbereich bis gegen 3000 m ü.M.

4. Berechnung von Szenarien

Neben dem wöchentlichen Prognosebetrieb wurden mehrmals Szenarien für die mittelfristige Entwicklung berechnet. Mit solchen Simulationen sollte aufgezeigt werden, wie sich verschiedene meteorologische Entwicklungen auf die Abflüsse auswirken können. Für die Berechnung von Szenarien wurden Meteodaten der Station Rotenbach FR für die Jahre 1987 bis 1989 verwendet[1]. 1987 repräsentiert ein kühles, niederschlagsreiches Sommerhalbjahr, 1988 ein warmes, niederschlagsreiches und 1989 ein kühles, trockenes.

In den Bildern 5 und 6 sind zwei Szenarien für das Einzugsgebiet der Kander in Hondrich, ausgehend von den Schneeverhältnissen am 1. April 1999 dargestellt. Bild 5 zeigt die weitere Entwicklung der Schneeschmelze und des Abflusses, wenn sich die Witterung analog 1987 entwickelt hätte, Bild 6 die Entwicklung analog 1989. Zum Vergleich sind in beiden Grafiken die gemessenen Abflusskurven für das Jahr 1999 dargestellt.

Die beiden Szenarien zeigen deutlich die Abhängigkeit der Schneeschmelze und der Abflüsse vom Witterungsverlauf. Eine eher kühle, trockene Witterung analog zu 1989 führt zu einem gleichmässigen Abschmelzen der Schneedecke. Die Abflüsse sind zwar recht hoch, doch fehlen deutliche Abflussspitzen. Die Abflussspitze Anfang August müsste eigentlich reduziert werden, da es sich bei den Niederschlägen um Stationswerte handelt, die nicht Gebietsniederschlägen gleichgesetzt werden dürften. Verzögert sich die Schneeschmelze, kann sie, wie im Szenario 1987, mit intensiven Niederschlägen zusammenfallen. In einem solchen Szenario werden Abflüsse möglich, die deutlich über dem Niveau von 1999 liegen. Auch hier gilt der Vorbehalt bezüglich der Verwendung der Stationswerte. Aus Bild 7 wird ersichtlich, dass oberhalb 2000 m ü.M. die Schneeschmelze erst gegen Ende Juni einsetzt, dann aber den Höhenbereich zwischen 1600 und 3000 m ü.M. umfasst.

Alle Szenarien, die im April simuliert wurden, wiesen darauf hin, dass die kritischste Phase in den Monaten Juni und Juli zu erwarten war. Eine Hochwassersituation im Mai, wie sie 1999 eintrat, war auf Grund der Szenariosimulationen nicht zu erwarten.

5. Modellprüfung

Wie oben beschrieben, wurden laufend Nachsimulationen mit gemessenen Meteodaten vorgenommen und die resultierenden Abflüsse mit den gemessenen verglichen. Diese Prüfungen zeigten, dass die grössten Abweichungen durch unzutreffende Wetterprognosen, insbesondere beim Niederschlag, verursacht wurden. Zusätzlich zu diesen kurzfristigen Überprüfungen wurde mehrmals auch das längerfristige Verhalten des Modells getestet. Bild 8 zeigt eine solche Simulation für die Kander in Hondrich für die Periode vom 1. April bis 15. Juni 1999. Die simulierten Abflüsse stimmen recht gut mit den gemessenen überein. Gegen Ende der simulierten Periode werden die Abflüsse jedoch eher unterschätzt. Der Grund dafür ist, dass die Wasseräquivalentswerte per Ende März in den höheren Lagen unterschätzt wurden. Für die Prognosesimulationen wurden die Werte später angepasst. Ähnlich gute Übereinstimmungen ergeben sich auch für die Station Simme – Oberwil.

6. Schlussfolgerungen

Mit dem gewählten Verfahren ist es gelungen, kurzfristig einen operationellen Prognosebetrieb aufzuziehen. Mit den verwendeten Modellansätzen lassen sich die Schneeschmelze und die Abflüsse mit genügender Genauigkeit abschätzen. Fehlerhafte Schmelz- und Abflussprognosen waren primär auf die Unsicherheit bei der Wetterprognose zurückzuführen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zuverlässige Wetterprognosen vor allem bei labilen Verhältnissen, wie sie im Frühling oft vorherrschen, sehr schwierig zu erstellen sind. Für längerfristige Simulationen sind zuverlässige Daten zum Wasseräquivalent von grosser Bedeutung, da in der Ausaperungsphase zu hohe oder zu niedrige Wasseräquivalente zu grossen Fehlern bei der Schneeschmelz- und Abflussprognose führen können. Der Einzellinearspeicher ist für die Abflusssimulation bei sehr einfachen Einzugsgebietsverhältnissen geeignet. Wenn mehrere Speicher in Einzugsgebieten eine wesentliche Rolle spielen, muss er durch einen erweiterten Ansatz ersetzt werden.

Eine Evaluation der Arbeitsgruppe Schnee/Wasser bei den Adressaten der Prognosen hat ergeben, dass die zur Verfügung gestellten Informationen als hilfreich empfunden wurden.

[1] Die Daten wurden von der WSL in verdankenswerter Weise für die Analyse des Hochwassers 1999 zur Verfügung gestellt.

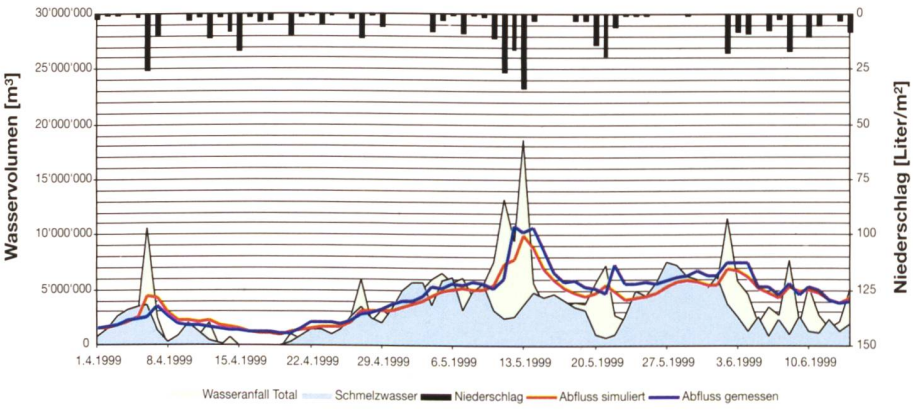

Bild 8. Kontrollsimulation 1. April bis 15. Juni 1999 mit gemessenen Meteodaten. Gegen Ende der simulierten Periode werden die Abflüsse etwas unterschätzt. Dies ist auf eine Unterschätzung des Wasseräquivalents zu Beginn der Simulation zurückzuführen.

Literatur

Braun, L. N., 1985: Simulation of snowmelt-runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Zürcher Geografische Schriften, ETH Zürich.

Federer, C. A.; Lash, D., 1983: Brook – a hydrologic simulation model for eastern forests. Water Resources Research Center, University of New Hampshire.

Grebner, D.; Roesch, T., 1999: Zusammenhänge und Beurteilung der Hochwasserperiode in der Schweiz vom 11. bis 15. Mai 1999. «wasser, energie, luft», 91. Jg., Heft 5/6.

Gurtz, J.; Baltensweiler, A.; Lang, H., Menzel, L.; Schulla, J., 1997: Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. Schlussbericht NFP31. vdf, Zürich.

Kleindienst, H.; Voigt, S.; Wunderle, S.; 2000: Monitoring und Prognose der Schneedeckenentwicklung anhand von Satellitendaten. «wasser, energie, luft», dieses Heft.

Mani, P., 2000: Das System Wildbach – Analyse mit Hilfe der Systemdynamik. In: *Hegg, Ch.*; Von der Mühll, D. (eds): Beiträge zur aktuellen geomorphologischen Forschung. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.

Schulla, J., 1997: Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Zürcher Geografische Schriften, ETH Zürich.

Adresse des Verfassers

Peter Mani, Geo7 AG, Geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern.