

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 141 (1990)

**Heft:** 11

**Artikel:** Zur Frage der Wirksamkeit des Waldes für den Hochwasserschutz : ein Beispiel aus dem oberen Reusstal

**Autor:** Leuppi, Emil / Forster, Felix

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-765027>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

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

# Zur Frage der Wirksamkeit des Waldes für den Hochwasserschutz — ein Beispiel aus dem oberen Reusstal

Von *Emil Leuppi* und *Felix Forster*

Oxf.: 116.2

(Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft [WSL], CH-8903 Birmensdorf)

## 1. Einleitung

Im Sommer 1987 lösten intensive Niederschläge in Teilen der Zentralalpen, im Emmental und im Puschlav katastrophale Hochwasser aus. Im Raume des oberen Reusstales fielen in den Tagen zwischen dem 23. und dem 25. August 1987 rund 270 bis 300 mm Niederschlag. Die abgeführte Wassermenge überschwemmte weite Teile des Reusstales bei Altdorf (*Abbildung 1*) und zerstörte Verkehrseinrichtungen beidseits der Reussufer.



*Abbildung 1.* Überschwemmtes Reusstal bei Flüelen am 24./25. August 1987. Aufnahme: Kantonales Bauamt Uri.

Hochwasserkatastrophen ereigneten sich aber schon im letzten Jahrhundert, so wurden in den drei Tagen vom 1. bis 3. Oktober 1868 auf dem Gotthard-Pass 325 mm Niederschlag gemessen (*Schweizerische Meteorologische Anstalt*, 1868). Das Eidgenössische Forstgesetz von 1876 wurde unter anderem als Folge dieser Überschwemmungen erlassen, in der Meinung, dem Problem der Hochwasserführung durch entsprechende Aufforstungen sowie durch die Sicherstellung des Waldflächenanteils gezielt entgegenwirken zu können. Die Frage der hydrologischen Waldwirkung wurde nun im Zusammenhang mit den Unwetterereignissen vom Sommer 1987 neu gestellt.

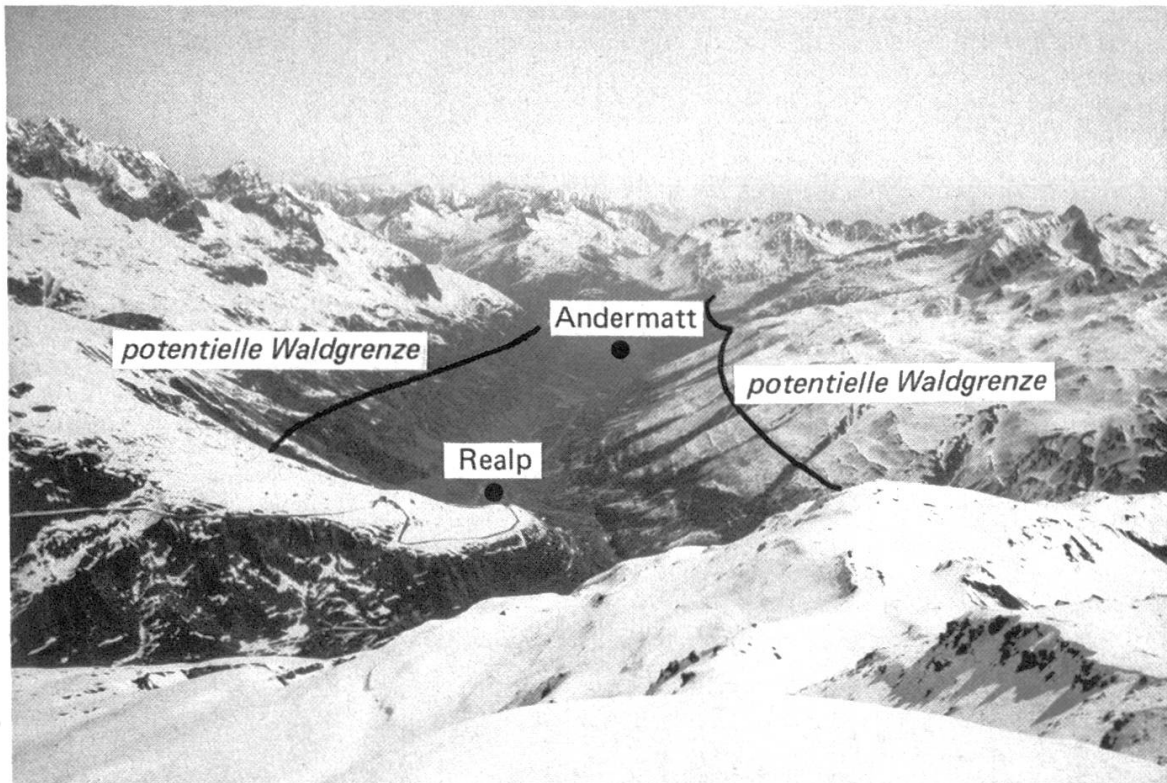


Abbildung 2. Das Urserental. Aufnahme: Forstliche Hydrologie, WSL.

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) wurde deshalb vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) beauftragt, den Waldeinfluss in bezug auf das Abflussgeschehen bei solchen Ereignissen abzuklären (*Leuppi et al.*, 1990). Um eine möglichst differenzierte Aussage zu erhalten, wurden die Untersuchungen in drei unterschiedlichen Einzugsgebieten durchgeführt. Die unbewaldete Urseren steht in diesem Aufsatz im Mittelpunkt der Betrachtungen (*Abbildung 2*). Die Frage, inwieweit eine hypothetisch wiederbewaldete Urseren das Abflussverhalten beim Augustereignis 1987 hätte positiv beeinflussen können, ist von grossem Interesse.

## 2. Methode und Vorgehen

Die hydrologische Waldwirkung einer hypothetisch aufgeforsteten Urseren kann nur modellhaft in Szenarien dargestellt werden. Der Wasserkreislauf wurde deshalb mit dem Wasserhaushaltsmodell Brook nach *C. A. Federer* (1987) unter Berücksichtigung aller wichtigen hydrologischen Prozesse im Untersuchungsgebiet simuliert. Das Modell wird von der Tagestemperatur und dem Tagesniederschlag als Eingangsgrößen (Input) gesteuert. Die Parametrisierung des Einzugsgebietes wurde teilweise durch umfangreiche Feld- und Laborarbeiten vorgenommen (Bodenansprache). Im Modell sind dann die täglichen Abflusswerte, die Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) sowie der Wassergehalt in den verschiedenen Bodenhorizonten berechnet worden (Output). Es können jedoch keine Abflussspitzen (zum Beispiel Stundenwerte), sondern lediglich Summenwerte über einen ganzen Tag berechnet werden.

Der Einfluss des Waldes auf das hydrologische Verhalten (Abfluss, Verdunstung, Wassergehalt im Boden) in einem Einzugsgebiet wird modellmässig mit Hilfe von Szenarien abgeschätzt. Die Untersuchung ist so gegliedert, dass in

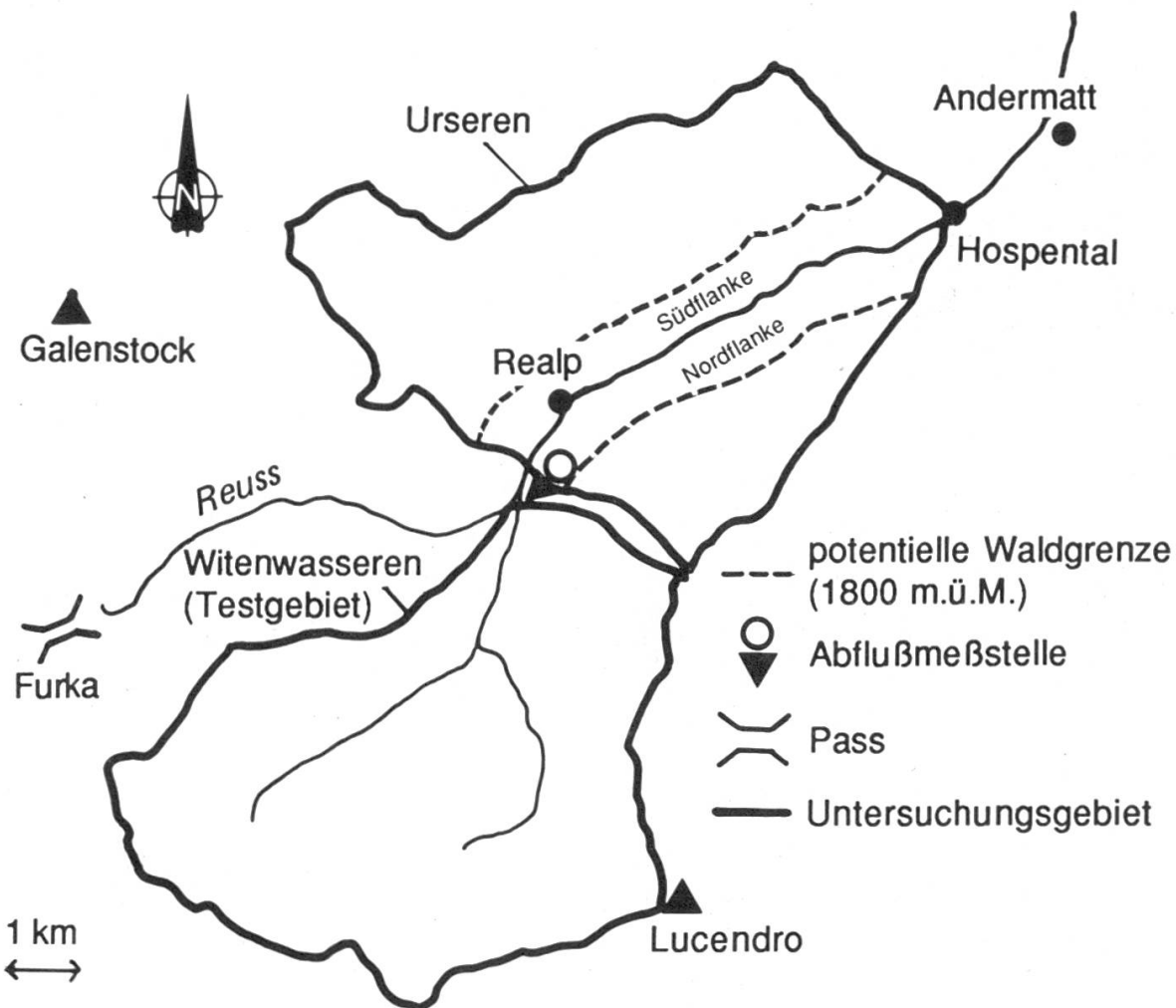


Abbildung 3. Das Testgebiet und das Untersuchungsgebiet der Urseren im oberen Reusstal.

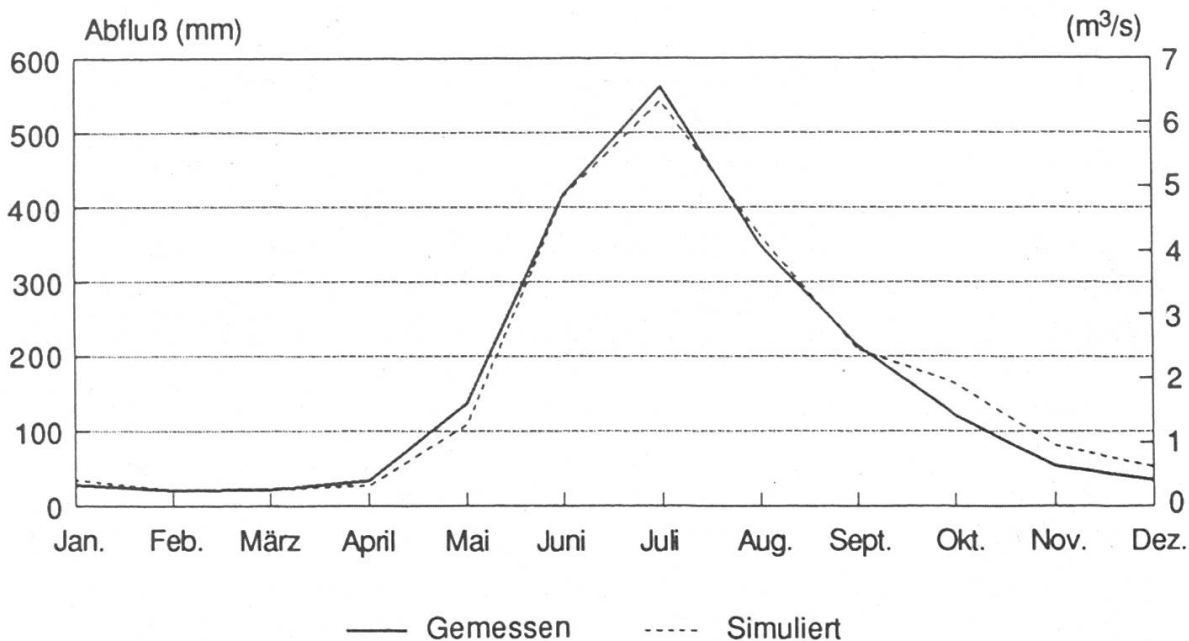
einem ersten Schritt die generelle Waldwirkung an der Teilfläche der Urseren-Südflanke gezeigt wird. Dabei wird das Abflussverhalten dieser Teilfläche im vollbewaldeten Zustand (Fichtenwald) mit jenem im unbewaldeten (alpiner Rasen) verglichen. In einem zweiten Schritt wird die Waldwirkung bezüglich der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes der Urseren beurteilt (*Abbildung 3*).

### 3. Modelltest

Um das nötige Vertrauen in das Modell zu gewinnen, wurde das Wasserhaushaltsmodell Brook zuerst getestet. Als Testgebiet eignete sich das benachbarte Einzugsgebiet der Witenwasserrennens, welches eine vergleichbare Gebietscharakteristik aufweist und mit einer Abflussmessstelle bei Realp ausgerüstet ist (*Abbildung 3*).

In der zehnjährigen Testperiode (1977 bis 1987) fiel im Einzugsgebiet der Witenwasserrennens ein mittlerer jährlicher Niederschlag von 2100 mm. Die modellierte mittlere Jahresverdunstung von 100 mm ist nach *Föhn* (1978) für eine Höhenzone von 2000 bis 3000 m ü.M. durchaus plausibel. Die mittlere Jahresabflussmenge von 2000 mm stimmt recht gut mit der mittleren gemessenen Abflussmenge von 1990 mm überein. Der Vergleich der gemessenen mit den simulierten Monatsabflussvolumina zeigt auch im saisonalen Verlauf eine recht gute Übereinstimmung (*Abbildung 4*).

In *Abbildung 5* ist das 60tägige Abflussgeschehen vor dem Unwetterereignis im August 1987 aufgezeichnet. Die hydrologischen Prozesse werden im Modell selbst auf der feinsten Auflösungsstufe (Tagesschritt) befriedigend nachvollzo-



*Abbildung 4.* Gemessene und simulierte mittlere Monatsabflüsse für das Einzugsgebiet der Witenwasserrennens (1977 bis 1987).

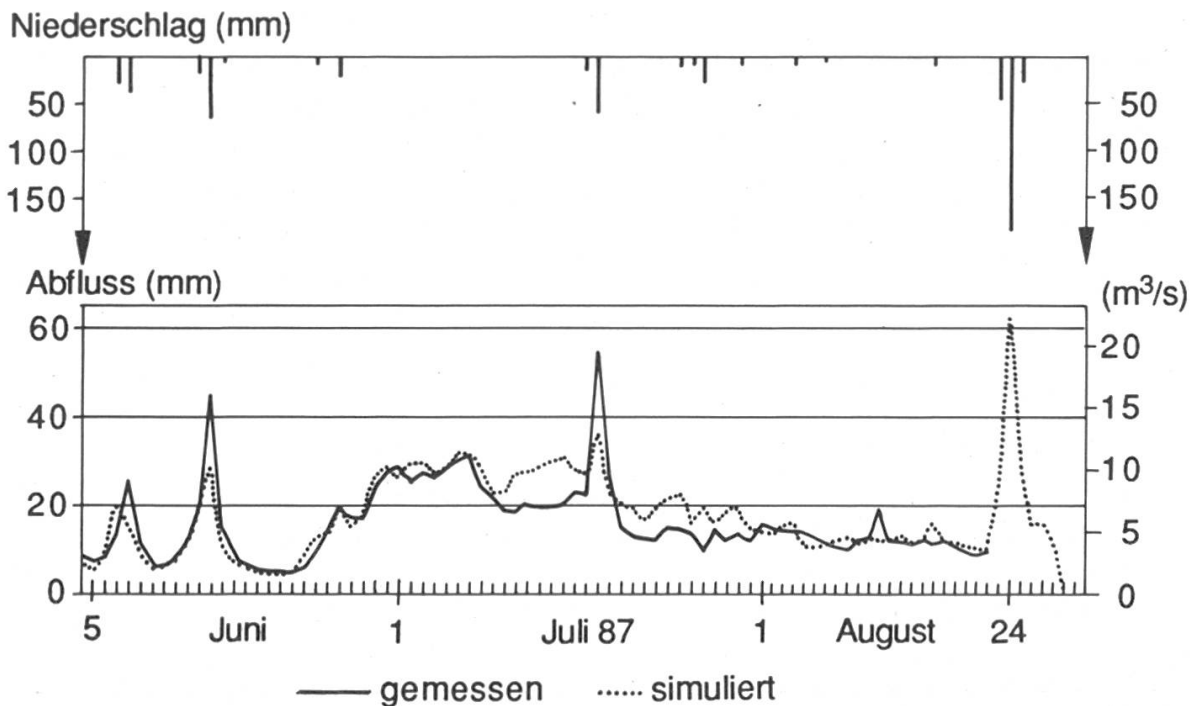


Abbildung 5. Gemessener und simulierter Tagesabfluss für das Testgebiet der Witenwasserrenneuss aufgrund des Tagesniederschlags vom 22. Juni bis 25. August 1987. Der Limmnigraph an der Witenwasserrenneuss wurde während des Ereignisses vom August 1987 zerstört.

gen. Die unterschätzten simulierten Abflusswerte bei hohen Niederschlägen sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auf das Problem der Übertragung der Tagesniederschläge aus den umliegenden Niederschlagsstationen in das Gebiet der Witenwasserrenneuss zurückzuführen.

#### 4. Generelle Waldwirkung an der Urseren-Südflanke

Die generelle Waldwirkung wird an der potentiell aufforstbaren, süd-exponierten Talflanke der Urseren zwischen Realp und Hospental aufgezeigt (Abbildung 3). Das Waldszenarium sieht eine Fichtenbestockung vor, die mit dem Kernteil des Bannwaldes von Andermatt vergleichbar ist. Dieser weist eine für den Wasserhaushalt besonders günstige Rohhumusauflage im Oberboden auf.

Bei gleichem Niederschlag ist von einer hypothetisch vollbewaldeten Urseren-Südflanke gegenüber einer unbewaldeten ein verminderter Abfluss zu erwarten. Ausgegangen wird von einem jährlichen Niederschlag von 1740 mm. Ein Vergleich der beiden Wasserbilanzen zeigt, dass von der bewaldeten Teilfläche ein mittlerer Jahresabfluss von 1160 mm zu erwarten ist (Abbildung 6). Die mittlere jährliche Gesamtverdunstung beträgt rund 580 mm oder 33% der Niederschlagsmenge. Die Verminderung des Abflusses aus einer bewaldeten Südflanke gegenüber einer unbewaldeten beträgt 270 mm.

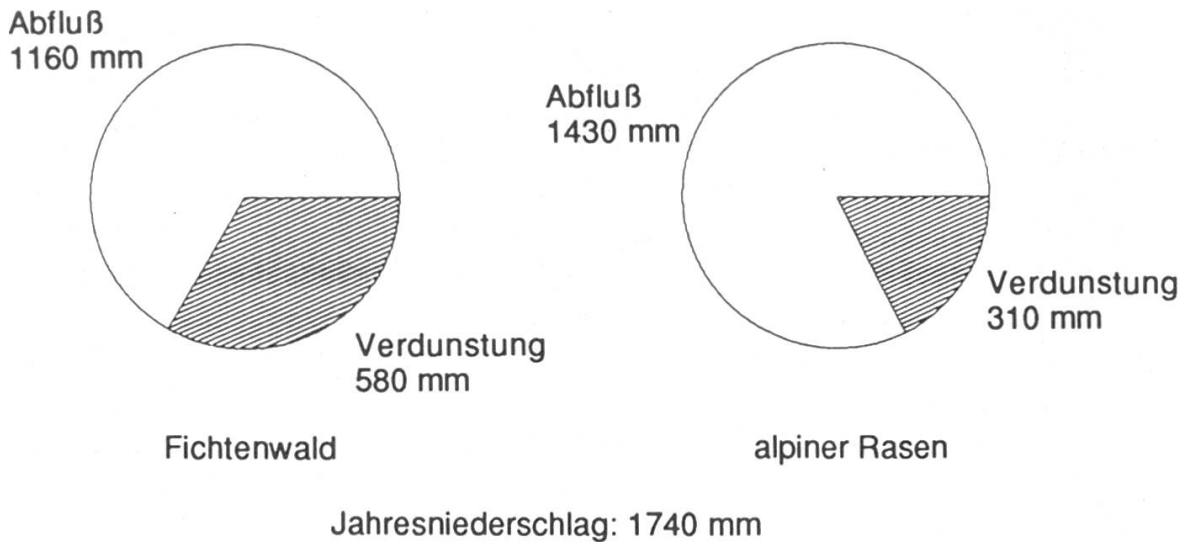


Abbildung 6. Mittlere jährliche Wasserbilanz der Urseren-Südflanke für den bewaldeten und den unbewaldeten Zustand (1978 bis 1987).

Das saisonale Abflussverhalten ermöglicht aufgrund der Simulationen eine differenzierte Beurteilung (Abbildung 7). Die monatlichen Abflusswerte für den Fichtenwald unterscheiden sich deutlich von denjenigen des alpinen Rasens. Die mittleren Monatsabflüsse erreichen ihr Maximum unter dem alpinen Rasen schon im Mai. Beim Fichtenwald tritt das Maximum einen Monat später auf (Juni), wobei die Abflussmenge unter Wald deutlich kleiner ist als unter dem alpinen Rasen. Die Verschiebung der Maxima ist eine Folge des verzögerten Abbaus der Schneedecke. Die kleineren Abflusswerte sind jedoch der höheren Evapotranspirationsleistung des Waldes zuzuschreiben.

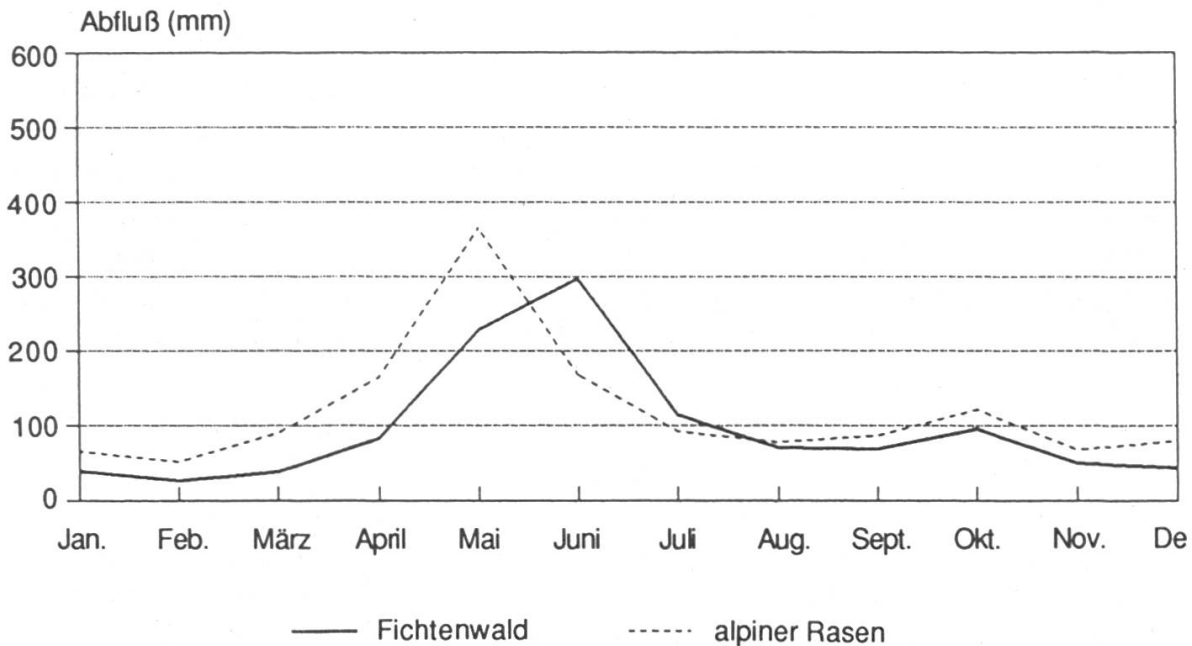


Abbildung 7. Mittlere monatliche Abflussvolumina an der Urseren-Südflanke für den bewaldeten und den unbewaldeten Zustand (1977 bis 1987).

Die monatlichen Evapotranspirationswerte (*Abbildung 8*) und deren Aufschlüsselung in ihre Verdunstungskomponenten zeigen ein differenziertes Bild der beiden Vegetationsformen: Die Evapotranspirationsleistung der alpinen Rasenvegetation liegt über alle Monate hinweg tiefer als diejenige des Fichtenwaldes.

Während der eigentlichen Sommermonate (Juli, August) sind die Unterschiede zwischen dem Wald und dem alpinen Rasen anteilmässig klein. Hingegen treten während der Frühlingsmonate, sowohl absolut wie auch anteilmässig, die grössten Unterschiede auf. Der Fichtenwald ist dann bereits verdunstungswirksam (Schneeinterzeption und Transpiration). Der alpine Rasen, welcher noch unter Schnee liegt, weist dagegen nur etwas Schneeverdunstung auf. Dass die Transpiration im April selbst bei Fichten im Gebirge bei entsprechender Temperatur tatsächlich einsetzt, zeigt *Häsler* (1990) mit seinen Gaswechsellmessungen in Davos.

Im Herbst nehmen die Verdunstungsunterschiede zwischen Fichtenwald und alpinem Rasen wieder zu. Die Pflanzenaktivität und damit die Transpiration sinken beim alpinen Rasen im Gegensatz zum Wald auf Null ab. Im Winter hingegen sind die prozentualen Unterschiede am grössten, weil im Fichtenwald ein Interzeptionsvermögen vorhanden ist und an warmen Tagen bereits etwas Transpiration möglich ist.

## **5. Die Bedeutung des Zeitpunktes des Eintreffens eines Ereignisses**

Für die Interpretation des Abflussverhaltens ist der Bodenspeicherzustand unmittelbar vor dem interessierenden Ereignis von grosser Bedeutung. Das Wasserrückhaltevermögen des Bodens wird von der vorausgehenden Witterung und der Evapotranspirationsleistung gesteuert. Im Sinne einer Grenzwertbetrachtung wurden die Abflusswerte für das Augustereignis, wie sie aus zwei extremen Witterungslagen hervorgehen würden, einander gegenübergestellt. Damit kann die Bedeutung des Augustereignisses von 1987 in Relation zu diesen beiden Extremsituationen besser eingestuft werden.

In *Abbildung 9* ist das Abflussverhalten eines Fichtenwaldes gegenüber einem alpinen Rasen im Teilgebiet der Urseren-Südflanke für das Augustereignis 1987 dargestellt. Gleichzeitig wird das entsprechende Abflussverhalten unter extremen Witterungsbedingungen gezeigt (nach Regenperiode bzw. Trockenheit).

Die Niederschlagsmenge der drei Ereignistage vom 23. bis 25. August 1987 betrug in der Urseren nach *Grebner et al.* (1989) 270 mm, nämlich 50 mm, 190 mm und 30 mm. Ein Vergleich mit den extremen Witterungsphasen zeigt, dass die Waldwirkung unterschiedlich, aber in allen Situationen erkennbar ist. Nach einer nassen Witterung wird der Abfluss unter einem Fichtenwald gegen-



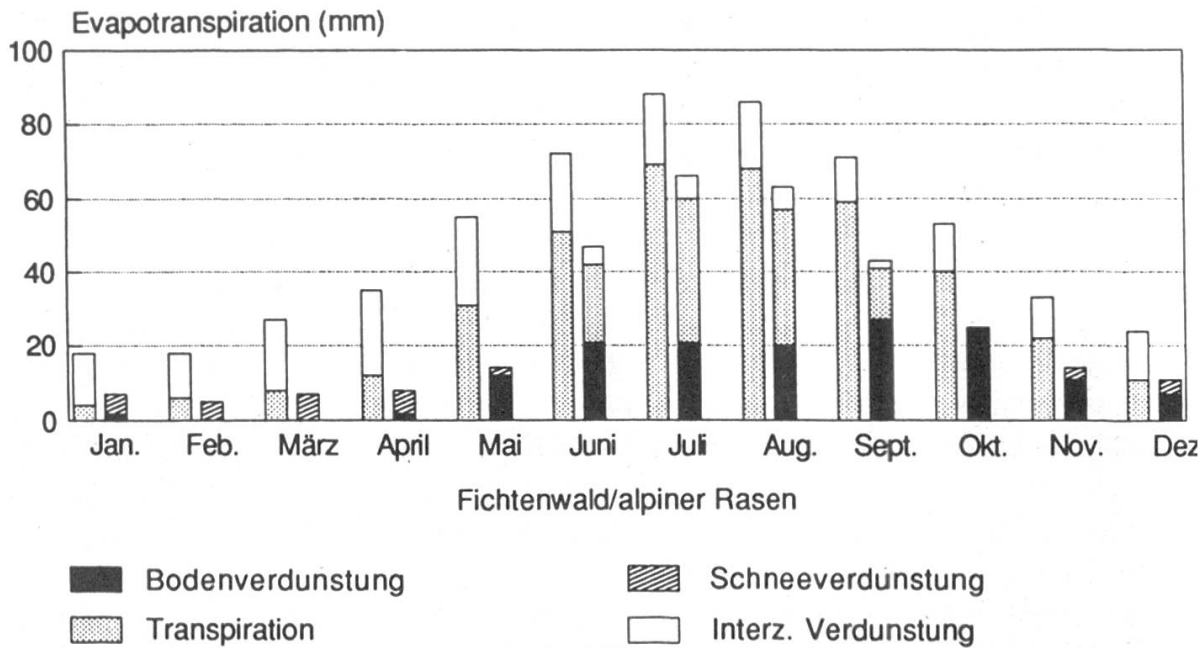


Abbildung 8. Mittlere monatliche Evapotranspirationswerte an der Urseren-Südflanke für den Fichtenwald und den alpinen Rasen (1977 bis 1987).

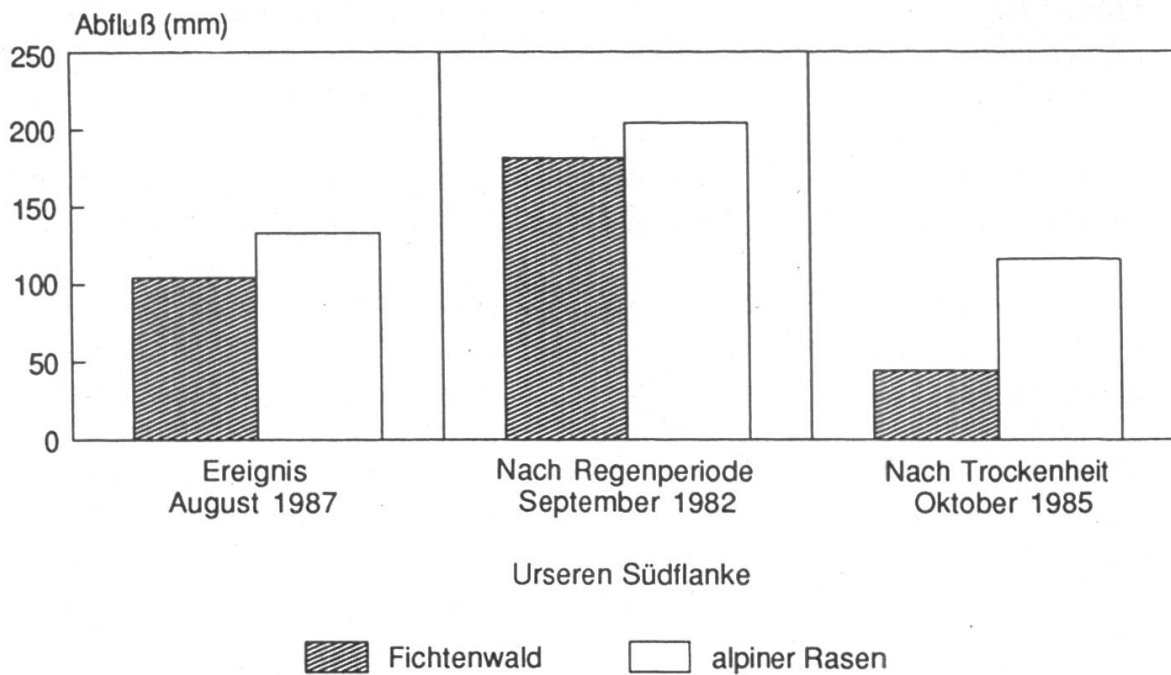


Abbildung 9. Vergleich der dreitägigen Abflussvolumina an der Urseren-Südflanke für das Augustereignis 1987 (270 mm Niederschlag) mit dem entsprechenden Abfluss nach zwei extremen Witterungsphasen für den Fichtenwald und den alpinen Rasen.

über einem alpinen Rasen um 10% von 205 mm auf 180 mm reduziert. Nach einer trockenen sogar um 57%, von 130 mm auf 55 mm. Die Witterung vor dem Augustereignis war feucht; sie war jedoch nicht so nass wie in der Regenperiode im September 1982. Aus der *Abbildung 9* ist zu entnehmen, dass die Höhe der

Abflussmenge durch die witterungsbedingte Vorgeschichte dominiert wird. Das heisst, der Zeitpunkt des Eintreffens eines solchen Ereignisses (nasse bzw. trockene Vorgeschichte) ist entscheidender als alle anderen hydrologischen Unterschiede zwischen einem bewaldeten und einem unbewaldeten Gebiet.

## **6. Der Einfluss einer hypothetisch wiederbewaldeten Urseren auf das Abflussverhalten**

Das Untersuchungsgebiet der Urseren zwischen Realp und Hospental (*Abbildung 2*) steht stellvertretend für das gesamte obere Reusstal da. Es ist derjenige Teil des oberen Reusstales, welcher zusammen mit dem Einzugsgebiet der Witenwasserenreuss im August 1987 am meisten Niederschlag erhalten hat.

Bei der Frage der hydrologischen Wirksamkeit des Waldes ist der maximal mögliche Bewaldungsanteil und die Gebietscharakteristik von Bedeutung. Vorausgesetzt, dass die potentielle Waldgrenze nicht durch eine Klimaveränderung über 1800 m ü.M. ansteigt, ist in der Urseren mit einem maximalen Bewaldungsanteil von 20 Prozent zu rechnen (*Abbildung 2*). Die Gebietscharakteristik der Urseren oberhalb der potentiellen Waldgrenze ist gekennzeichnet durch einen hohen Geröll- und Felsanteil (30 Prozent der Gesamtfläche). Die hydrologischen Eigenschaften der Fels- und Geröllpartien weichen deutlich von den tieferliegenden Moränenböden ab.

Von einer szenarisch wiederbewaldeten Urseren (20% der Gesamtfläche) ist gemäss dieser Modellierung praktisch keine spürbare Waldwirkung zu erwarten (*Abbildung 10*). Dies gilt insbesondere auch für die Situation im August 1987. Eine maximal bewaldete Urseren hätte die Hochwasserkatastrophe von 1987 nicht verhindern können. Das Abflussvolumen der *drei* Ereignistage hätte nur um 5 mm, von 130 mm auf 125 mm, reduziert werden können. Ein Vergleich mit der Extremsituation der Regenperiode im September 1982 zeigt, dass das Ereignis noch zu einem ungünstigeren Zeitpunkt hätte eintreffen können.

## **7. Schlussbemerkung**

Wären alle aufforstbaren Flächen im oberen Reusstal bewaldet, würden sich ideale hydrologische Voraussetzungen bieten, das Abflussverhalten bei Niederschlagsereignissen günstig zu beeinflussen. Das Abflussvolumen könnte spürbar reduziert werden. Die Tatsache aber, dass aus klimatischen Gründen das obere Reusstal im besten Fall nur zu rund 20 Prozent des gesamten Einzugsgebietes mit Wald bestockt sein könnte, schränkt den positiven hydrologischen «Waldeffekt» stark ein. Das Abflussvolumen im oberen Reusstal würde sich auch bei bestmöglicher Bewaldung in Hochwassersituationen nur in einem unbedeutenden Masse reduzieren lassen.

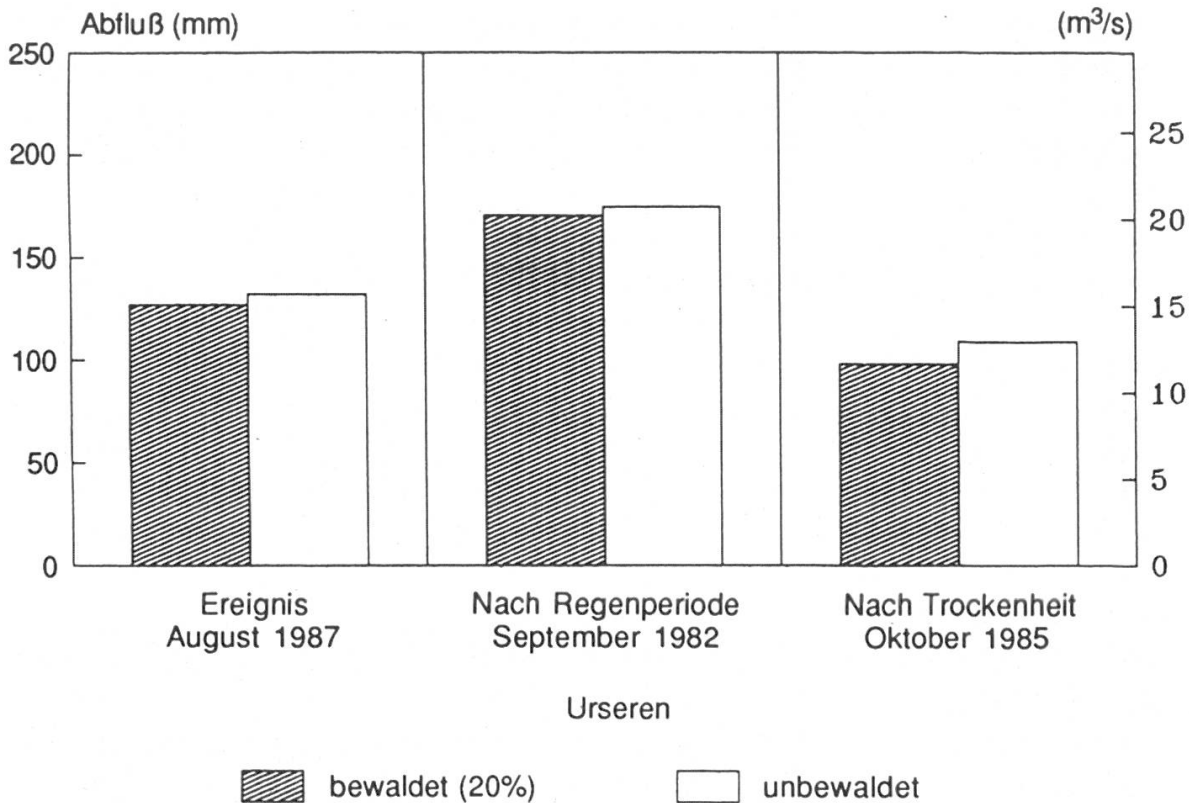


Abbildung 10. Vergleich der dreitägigen Abflussvolumina für das Augustereignis 1987 (270 mm Niederschlag) mit dem entsprechenden Abflussvolumen nach zwei extremen Witterungsphasen in einer bewaldeten (20%) und unbewaldeten Urseren.

Obwohl die hydrologische Wirkung einer potentiell wiederbewaldeten Urseren im Sinne des Hochwasserschutzes für Ereignisse in der Grössenordnung desjenigen vom August 1987 als gering einzustufen ist, darf die Bedeutung des Waldes nicht unterschätzt werden. Dies hat die Untersuchung der generellen Waldwirkung an einer Teilfläche der Urseren gezeigt. Der Wald zeigt immer, wenn auch nicht in jeder Situation gleich deutlich, eine abflusshemmende Wirkung nach Niederschlägen. Diese Wirkung besteht vor allem in der grösseren Evapotranspirationsleistung des Waldes gegenüber dem alpinen Rasen. Damit wird die Speicherfähigkeit des Waldbodens während niederschlagsfreien Perioden laufend erhöht.

Das Wasseraufnahmevermögen oder das Rückhaltevermögen von Niederschlägen im Boden wird sowohl vom Zeitpunkt des letzten Niederschlages als auch von der Mächtigkeit des Bodens und dessen Struktur entscheidend mitbeeinflusst. Je länger die niederschlagsfreie Zeit ist, desto grösser ist das Wasserrückhaltevermögen im Wald gegenüber dem alpinen Rasen. Das Wasserrückhaltevermögen erschöpft sich, wenn es sich um Niederschlagsmengen handelt, die im Verhältnis zur Wasseraufnahme im Wald gross sind. Eine deutlich abflussmindernde Wirkung ist dann zu erwarten, wenn die Niederschlagsmenge von ähnlicher oder kleiner Grössenordnung ist wie das erwähnte Wasseraufnahmevermögen.

Die geologischen Voraussetzungen und die auf ihr stockende Vegetationsart spielen für das potentielle Wasserrückhaltevermögen eine wichtige Rolle. Das obere Reusstal ist durch tiefgründige Moränenböden von bis zu einem Meter gekennzeichnet. Der Rohhumus in einem Fichtenwald, wie er im Bannwald von Andermatt zu finden ist, stellt zusätzlich ein beträchtliches Wasseraufnahmepotential dar.

Modellierungen in weiteren Einzugsgebieten der Alpen und Voralpen (Bedretto TI, Biembach BE und Erlenbach SZ) haben gezeigt, dass eine generelle Übertragung der Resultate aus dieser Fallstudie in andere Einzugsgebiete der Alpen nicht ohne weiteres zulässig ist. Jedes Einzugsgebiet hat seine eigene Gebietscharakteristik und Abflussdynamik. Die hydrogeologischen und morphologischen Eigenschaften eines Einzugsgebietes sowie die Vegetationsbedeckungen sind nicht einheitlich und können von Einzugsgebiet zu Einzugsgebiet grosse Unterschiede aufweisen. Die Waldstruktur und die mit ihr zusammenhängende hydrologische Bodenbeschaffenheit ist von grosser Bedeutung. Auch hier ist zu beachten, dass nicht jeder Wald und Waldboden die gleichen hydrologischen Eigenschaften besitzen.

Abschliessend ist beizufügen, dass ein vollausgebildeter Gebirgswald, wie er im oberen Reusstal möglich wäre und zum Teil auch besteht (Bannwälder), noch andere Funktionen besitzt, die bei einer solchen Teilbetrachtung des Ökosystems Wald wie diese hier nicht übersehen werden dürfen. Auch wenn der Wald in seinen Wirkungen beim Hochwasserschutz an Grenzen stösst, so bietet er doch auch Schutz vor Lawinen und Bodenerosion und besitzt einen nicht zu unterschätzenden Erholungswert.

## Résumé

### **Efficacité de la forêt dans la protection contre les crues — L'exemple de la vallée d'Urseren**

La capacité d'évapotranspiration est plus grande dans une forêt que dans une prairie alpine. Cela signifie que le pouvoir de rétention d'eau du sol forestier est également supérieur. En cas de précipitations, il est probable qu'une forêt située dans l'Urseren aura pour effet de réduire le volume d'eau. Cependant les conditions atmosphériques qui précèdent l'événement sont d'une importance décisive. Leur influence sur le volume d'eau est encore plus forte que celle exercée par la couverture végétale. La surface potentielle des forêts de l'Urseren est trop petite pour qu'elle eût pu à même être de réduire le débit d'eau de manière efficace au cours des précipitations du mois d'août 1987.

### Literatur

- Federer, C. A., Lash, D.*, 1978: Brook: A Hydrologic Simulation Model for Eastern Forests. Water Resource Research Center, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, USA.
- Föhn, P.*, 1978: Schnee-Verdunstung in alpinem Gelände. In: Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 25: 35–42.
- Grebner, D., Richter, K. G.*, 1989: Teilprojekt A3: «Gebietsniederschlag» (Ursachenanalyse Hochwasser 1987), Zwischenbericht vom 12. Februar 1989, Geographisches Institut der ETHZ.
- Häsler, R.*, 1990: Teilprojekt «Gaswechsel der Fichte»: Schlussbericht vom 19. Januar 1990. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Interner Bericht zuhanden der Programmleitung NFP 14+ «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz».
- Leuppi, E., Forster, F., Tarjan, D.*, 1990: Teilprojekt A1: «Waldwirkung» (Ursachenanalyse Hochwasser 1987). Abschlussbericht. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf, 120 Seiten.
- Schweizerische Meteorologische Anstalt: Annalen.* 1868. Zürich.