



**FBVA-BERICHTE** Nr. 90/1995

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien  
Waldforschungszentrum

---

## **Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen**

---

*Simulation of Heavy Rainfall -  
A Contribution to the Investigation of  
Flood Events*

E. LANG

FDK 116.2:423.1:(436)



*Das Lebensministerium*

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft

ISSN 1013-0713

Copyright 1995 by  
Forstliche Bundesversuchsanstalt

Für den Inhalt verantwortlich :  
Direktor HR Dipl. Ing. Friedrich Ruhm

Herstellung und Druck :  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Waldforschungszentrum  
Seckendorff-Gudent-Weg 8  
A-1131 Wien

Anschrift für Tauschverkehr :  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Bibliothek  
Seckendorff-Gudent-Weg 8  
A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 216  
Fax. + 43-1-877 59 07

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

## Vorbemerkungen

Untersuchungen des Abflusses bei Starkregenereignissen dienen der Erarbeitung von standortspezifischen Kennwerten für Infiltration, Oberflächenabfluß, Erosion und der Charakterisierung des zeitlichen Verlaufes des Abflußgeschehens. Diese Faktoren sind wichtig bei der Berechnung von Hochwasserabläufen, der Dimensionierung von Schutzbauwerken und auch bei der Gefahrenzonenplanung.

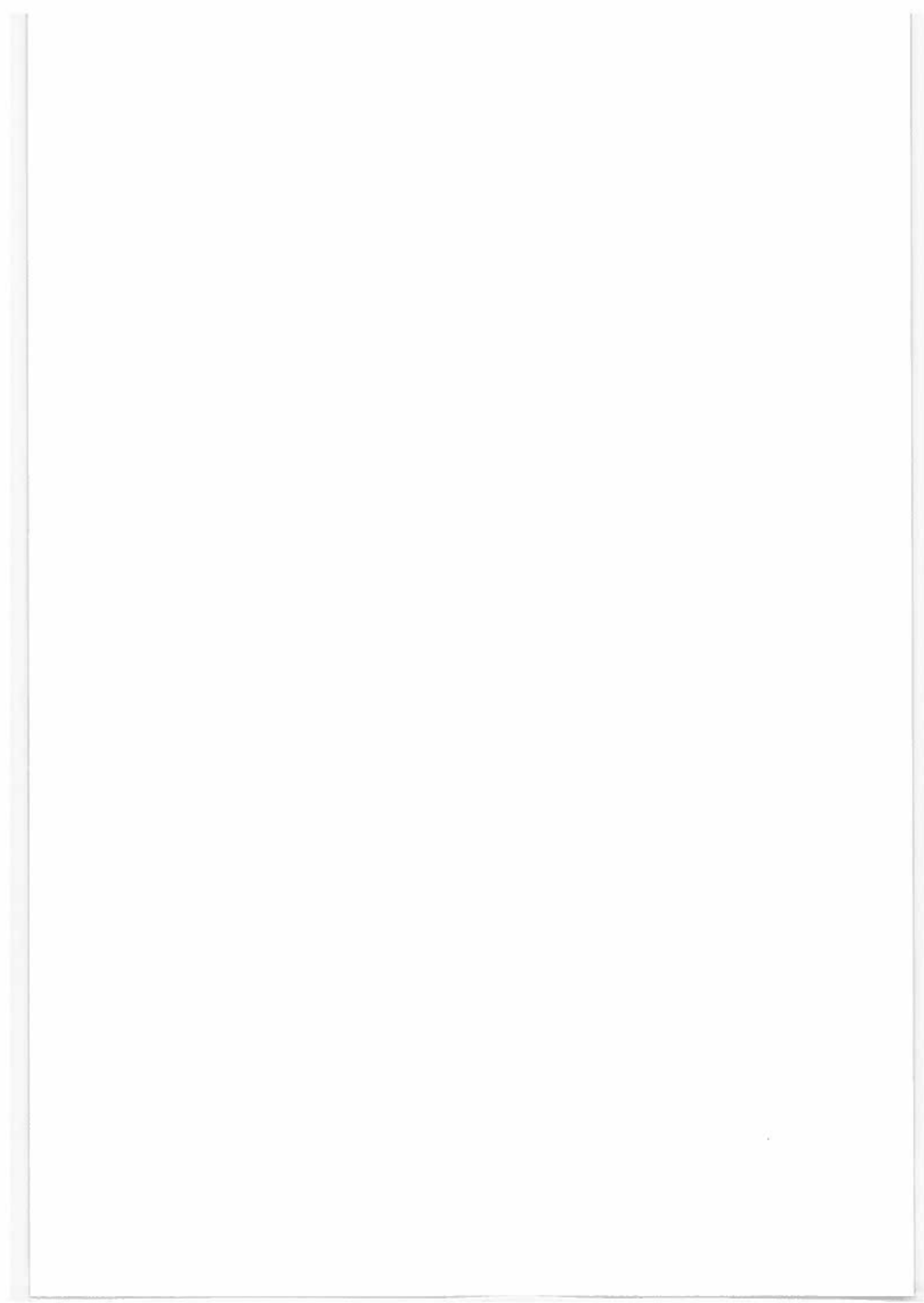
Für Projektanten stellt sich immer die Frage nach dem bei einem Hochwasserereignis in einem Gebiet zu erwartenden Abfluß, der Abflußgeschwindigkeit und dem Ansprechverhalten des Gebietes auf Niederschlagsereignisse, das sich speziell in der Form der Abflußganglinie manifestiert. Diese drei Größen haben entscheidende Auswirkungen auf Kosten und Nutzen von Verbaumaßnahmen, wobei der Nutzen meist in verhindertem Schaden - dem Schadenspotential gesehen wird. Die Kosten werden stark von der Dimensionierung der Schutzbauwerke bestimmt.

Unsicherheitsfaktor in den Dimensionierungen ist immer die Vielfalt der Naturvorgänge und Standortfaktoren. Diese werden durch die Wahl von Beiwerten und Sicherheitszuschlägen berücksichtigt. Vereinfacht gesagt, ist die Größe des Sicherheitszuschlages ein Maßstab für die Unkenntnis über Abläufe von Naturereignissen, also ein "Unsicherheitszuschlag". Zwangsläufig kostet jedes Prozent Unwissenheit, gepackt in größere Dimensionierung, Geld - meist Geld öffentlicher Hand. Weitere Auswirkungen sind stärkere Beeinflussung des Landschaftsbildes, des aquatischen Lebensraumes, des Geschiebehaushalts - mit den bekannten Folgen wie Sohleneintiefung im Mittel- und Unterlauf von Flüssen - und nicht zuletzt größere Eingriffe in private Rechte durch zusätzliche Grundablösungen, etc..

Die Erforschung von Hochwasserereignissen ist daher ebenso ein Beitrag zur Verringerung von Unsicherheiten in der Bemessung von Schutzmaßnahmen, wie zur Minderung von Eingriffen in Naturkreisläufe und in die Privatsphäre des Einzelnen.

Zusätzliche Bedeutung gewinnen Versuchstätigkeit und Forschung auf diesem Gebiet durch aktuelle Probleme wie Klimaänderung, Waldsterben, etc., deren Auswirkungen auf die Schutzfunktion des Waldes abzuschätzen sind.

Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen. Die Erwartung, innerhalb kurzer Zeit zu fixen Kennwerten über Abflußspende und Gebietsverhalten zu kommen, muß in Anbetracht der Vielfältigkeit der Gegebenheiten aber enttäuscht werden. Die Untersuchung erhöht vielmehr den Stand des Wissens, liefert neue Erkenntnisse, sowohl für den Praktiker als auch für den Wissenschaftler, unterstreicht aber auch die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen auf diesem Gebiet.



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	9
Abstract .....	9
1. Einleitung.....	9
2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes .....	10
3. Versuchsanlage und Methodik.....	11
3.1 Versuchsanlage.....	11
3.2 Versuchsmethodik .....	11
4. Beschreibung der Versuchspartzellen und Darstellung der Meßergebnisse .....	12
4.1 Beschreibung der Boden- und Vegetationseinheiten.....	12
4.1.1 Subalpine Weideparzellen .....	12
4.1.2 Hochmontane Waldparzellen .....	12
4.1.3 Tiefsubalpine Pistenparzellen .....	12
4.2 Beschreibung der Einzelpartzellen und Darstellung der Versuchsabläufe.....	14
4.2.1 Berechnungsfläche Nr. 1 (Subalpiner Weidestandort) .....	15
4.2.2 Berechnungsfläche Nr. 2 (Subalpiner Weidestandort) .....	18
4.2.3 Berechnungsfläche Nr. 3 (Subalpiner Weidestandort) .....	22
4.2.4 Berechnungsfläche Nr. 4 (Hochmontaner Waldstandort) .....	25
4.2.5 Berechnungsfläche Nr. 5 (Hochmontaner Waldstandort) .....	28
4.2.6 Berechnungsfläche Nr. 6 (Hochmontaner Waldstandort) .....	31
4.2.7 Berechnungsfläche Nr. 7 (Tiefsubalpiner Pistenstandort) .....	34
4.2.8 Berechnungsfläche Nr. 8 (Tiefsubalpiner Pistenstandort) .....	37
4.2.9 Berechnungsfläche Nr. 9 (Tiefsubalpiner Pistenstandort) .....	39
4.2.10 Berechnungsfläche Nr. 10 (Tiefsubalpiner Pistenstandort) .....	43
4.2.11 Berechnungsfläche Nr. 11 (Tiefsubalpiner Pistenstandort) .....	45
4.2.12 Berechnungsfläche Nr. 12 (Hochmontaner Waldstandort) .....	47
4.2.13 Berechnungsfläche Nr. 13 (Hochmontaner Waldstandort) .....	49
4.2.14 Berechnungsfläche Nr. 14 (Hochmontaner Waldstandort) .....	51
5. Analyse der Ergebnisse der Starkregensimulation .....	53
5.1 Untersuchung des Verhältnisses zwischen aufgebrachtem Niederschlag und erzieltm Abfluß .....	53
5.2 Zeitlicher Verlauf des Abflußgeschehens.....	54
5.3 Zusammenhang zwischen Parzellenneigung und Abfluß .....	56
5.4 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse der Versuchsperioden 1989 und 1990 .....	58
5.4.1 Vergleich der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses .....	58
5.4.2 Vergleich der zeitlichen Abläufe des Abflußgeschehens .....	60
5.5 Auswirkungen der künstlichen Vorbefeuchtung durch Versuchswiederholung.....	61
5.6 Aussagen zum Zusammenspiel von Abfluß, Boden und Vegetation .....	65
6. Zusammenfassung.....	66
Summary .....	68
7. Literaturverzeichnis.....	69

# Abbildungsverzeichnis

## Kapitel 4: Beschreibung der Versuchspartzen und Darstellung der Meßergebnisse

Abb. 4.1:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 1) .....	16
Abb. 4.2:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 1) .....	16
Abb. 4.3:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 1) .....	17
Abb. 4.4:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 1) .....	17
Abb. 4.5:	Abflußverhalten beim Vorversuch 1989 (Parzelle 2) .....	19
Abb. 4.6:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 2) .....	19
Abb. 4.7:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 2) .....	20
Abb. 4.8:	Abflußverhalten beim Vorversuch 1990 (Parzelle 2) .....	20
Abb. 4.9:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 2) .....	21
Abb. 4.10:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 2) .....	21
Abb. 4.11:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 3) .....	23
Abb. 4.12:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 3) .....	23
Abb. 4.13:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 3) .....	24
Abb. 4.14:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 3) .....	24
Abb. 4.15:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 4) .....	26
Abb. 4.16:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 4) .....	26
Abb. 4.17:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 4) .....	27
Abb. 4.18:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 4) .....	27
Abb. 4.19:	Abflußverhalten beim Versuch 1989 (Parzelle 5) .....	29
Abb. 4.20:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 5) .....	30
Abb. 4.21:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 5) .....	30
Abb. 4.22:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 6) .....	32
Abb. 4.23:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 6) .....	32
Abb. 4.24:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 6) .....	33
Abb. 4.25:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 6) .....	33
Abb. 4.26:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 7) .....	35
Abb. 4.27:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 7) .....	35
Abb. 4.28:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 7) .....	36
Abb. 4.29:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 7) .....	36
Abb. 4.30:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 8) .....	38
Abb. 4.31:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 8) .....	38
Abb. 4.32:	Abflußverhalten beim Versuch 1990 (Parzelle 8) .....	39
Abb. 4.33:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1989 (Parzelle 9) .....	41
Abb. 4.34:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989 (Parzelle 9) .....	42
Abb. 4.35:	Abflußverhalten beim Versuch 1990 (Parzelle 9) .....	42
Abb. 4.36:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 10) .....	44
Abb. 4.37:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 10) .....	44
Abb. 4.38:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 11) .....	46
Abb. 4.39:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 11) .....	46
Abb. 4.40:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 12) .....	48
Abb. 4.41:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 12) .....	48
Abb. 4.42:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 13) .....	50
Abb. 4.43:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 13) .....	50
Abb. 4.44:	Abflußverhalten beim Erstversuch 1990 (Parzelle 14) .....	52
Abb. 4.45:	Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990 (Parzelle 14) .....	52

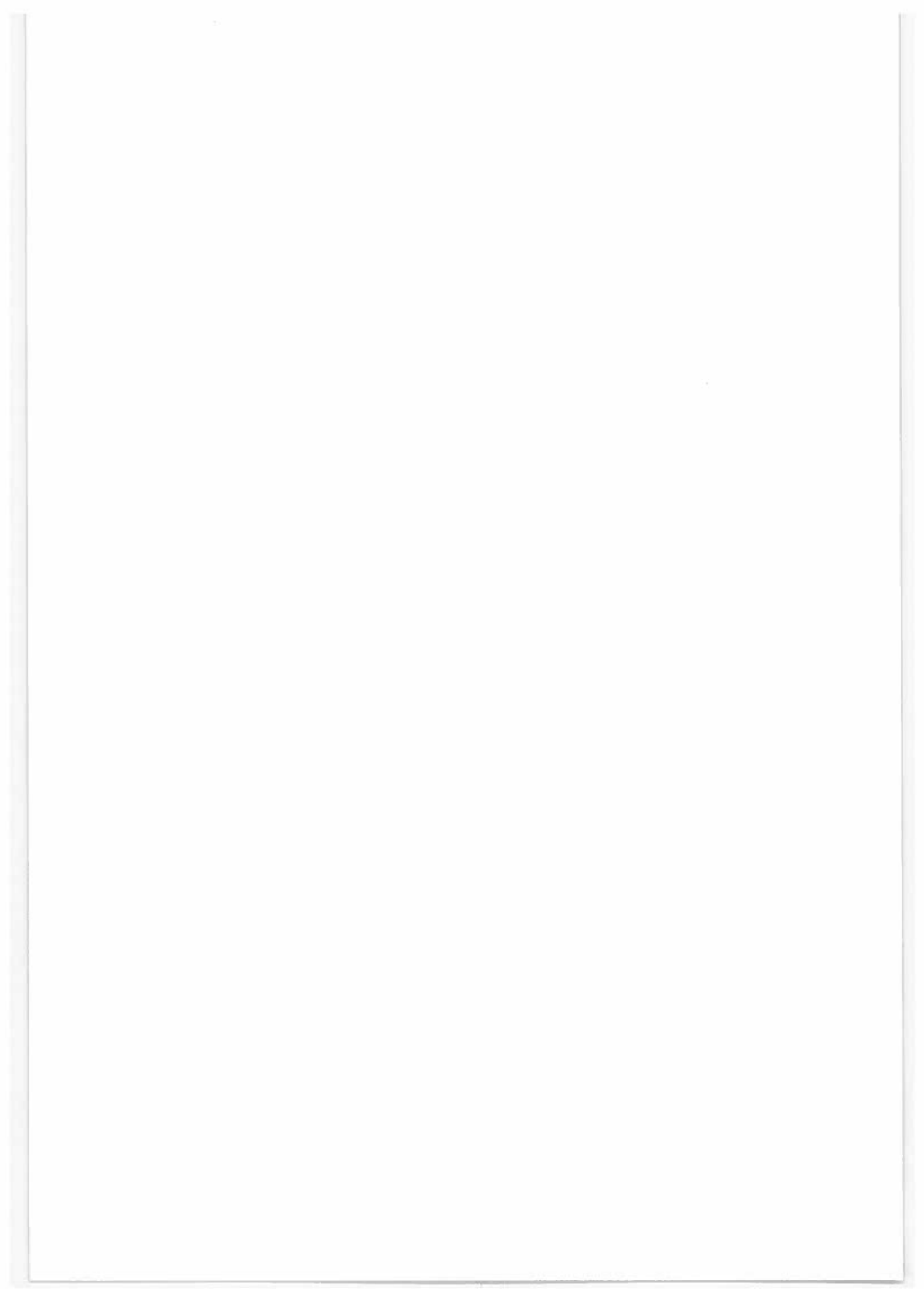
## Kapitel 5: Analyse der Ergebnisse der Starkregensimulation

Abb. 5.1:	Gliederung des zeitlichen Verlaufes beobachteter Abflußgeschehnisse .....	54
Abb. 5.2:	Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlags - und Vorlaufdauer ....	55
Abb. 5.3:	Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlags - und Neigung der entsprechenden Meßparzellen .....	56
Abb. 5.4:	Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlags - und Neigung der entsprechenden Weideparzellen .....	57
Abb. 5.5:	Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlags - und Neigung der entsprechenden Waldparzellen .....	57
Abb. 5.6:	Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlags- und Neigung der entsprechenden Pistenparzellen .....	57
Abb. 5.7:	Abflußänderung bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1989 .....	61
Abb. 5.8:	Abflußänderung bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1990 .....	62
Abb. 5.9:	Starkregensimulation auf Parzelle 7 - Piste .....	63
Abb. 5.10:	Starkregensimulation auf Parzelle 1 - Weide .....	63
Abb. 5.11:	Starkregensimulation auf Parzelle 6 - Wald .....	63
Abb. 5.12:	Änderung der Vorlaufdauer bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1989 .....	64
Abb. 5.13:	Änderung der Vorlaufdauer bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1990 .....	64
Abb. 5.14:	Darstellung der Spannweite der Abflüsse auf den in beiden Versuchsperioden berechneten Parzellen.	65

## Tabellenverzeichnis

### Kapitel 5: Analyse der Ergebnisse der Starkregensimulation

Tab. 5.1:	Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgebrauchten Niederschlags). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für Gesamtaufnahme und die Neigung der Versuchsflächen beigelegt (Meßwerte aus den Perioden 1989 und 1990) .....	53
Tab. 5.2:	Aufstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Berechnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Niederschlagssumme - Meßwerte aus den Perioden 1989 und 1990 .....	54
Tab. 5.3:	Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte - Ergebnisse der Zeitanalyse. Meßwerte aus den Versuchsperioden 1989 und 1990 .....	56
Tab. 5.4:	Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgebrauchten Niederschlags). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für die Gesamtaufnahme der Versuchsflächen beigelegt (Versuchsperioden 1989 und 1990) .....	59
Tab. 5.5:	Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Berechnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Niederschlagssumme - Parzellen 1-9; Versuchsperioden 1989 und 1990 .....	59
Tab. 5.6:	Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgebrauchten Niederschlags). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für die Gesamtaufnahme der Versuchsflächen beigelegt (Parzellengesamtheit; Versuchsperiode 1990) .....	59
Tab. 5.7:	Aufstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Berechnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt aufgebrauchten Niederschlagssumme (Parzellengesamtheit; Versuchsperiode 1990) .....	59
Tab. 5.8:	Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte - Ergebnisse der Zeitanalyse; Versuchsperioden 1989 und 1990. Die Tabelle enthält ausschließlich Werte von in beiden Versuchsperioden berechneten Parzellen .....	60
Tab. 5.9:	Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte - Ergebnisse der Zeitanalyse - Versuchsperiode 1990. Wertebereich: Parzellengesamtheit .....	60





# Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen

E. LANG

*Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt*

**Kurzfassung.** Entstehungsgeschwindigkeit und Größe von Hochwasserereignissen werden wesentlich von Gebietseigenschaften mitbeeinflusst. Mittels Simulation von Starkregenereignissen - die häufig Auslöser von Hochwasserereignissen in kleinen Einzugsgebieten sind - wurde das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Flächen untersucht. Durch Mehrfachberegnung der Parzellen wurde zudem die Frage des Reaktionszeitverhaltens bei verschiedenen Graden der Vorbefeuchtung beleuchtet. Besonders die ausgewählten Waldstandorte zeichneten sich bei diesen Versuchen durch hohes Retentionsvermögen und damit positive Wirkung auf die Dämpfung von Hochwasserabläufen aus, während die Niederschläge auf Pisten- und Weideparzellen schon bei geringer Vorfeuchte -innerhalb kurzer Zeit- zu Abfluß führten. Neben einer Einführung zur Bedeutung solcher Untersuchungen, der Erläuterung der Versuchsmethodik und der Analyse der Versuchsergebnisse werden auch die Aufnahmen von Vegetation und Boden sowie die Versuchsabläufe umfassend dargestellt.

**Schlüsselworte:** Wildbachforschung, Starkregensimulation, Abflußkenngrößen, Hochwasserberechnung, Gefahrenzonenplanung

---

**Abstract.** [Simulation of Heavy Rainfall - A Contribution to the Investigation of Flood Events.] Time and intensity of floods are essentially influenced by the typical features of the respective area. By simulating heavy rainfall, which frequently triggers flood events in small catchment areas, the runoff characteristics of differently managed areas were investigated. The question of the "reaction time" following pre-treatment in the form of artificial humidification was examined by repeated sprinkling of differently managed plots. In the course of these experiments, especially the forested plots chosen proved their high retention capacity and, consequently, their positive, mitigating effect in respect of flood hazards, while on plots used as pistes or pasture precipitation caused runoff within a short time even in case of low soil moisture. Apart from an introduction about the significance of such investigations, a description of the methodology, and the analysis of the results of the experiments, also the survey of vegetation and soil are presented and the experimental process is described in detail.

**Keywords:** Torrent research, simulation of heavy rainfall, runoff parameters, calculation of flood events, hazard zoning

---

## 1. Einleitung

Tatsächlich in der Natur ablaufende Niederschlagsereignisse erzeugen, wegen der Vielfalt der Einflußfaktoren - Vegetation, Geologie, Bodenart, Landnutzung, Größe und Form des Einzugsgebietes - bei gleicher Stärke und Spende verschieden große Abflußereignisse. Niederschläge selbst weisen starke Variationen in Intensität, Dauer, Tropfenform und -energie auf. Dazu gesellen sich noch Hauptwindrichtung,

Hauptentwässerungsrichtung und Großwetterräume, die Einfluß auf das Abflußgeschehen haben.

Im gesamten Alpenraum gibt es nur wenige Einzugsgebiete von Wildbächen, die mit Meßeinrichtungen zur Erforschung von Niederschlag-Abflußbeziehungen ausgestattet sind. Will man Kenntnisse aus Hochwasserabläufen eines Gebietes in andere Gebiete übertragen, so muß bei den ausschlaggebenden Rahmenbedingungen Deckungsgleichheit herrschen bzw. müssen vergleichbare Parameter gefunden und untersucht werden. Bei der Durchführung dazu not-

wendiger neuer Versuchsserien ermöglicht eine Anknüpfung an Rahmenbedingungen früherer Untersuchungen den Vergleich von eigenen Ergebnissen mit vorhandenem Zahlenmaterial aus dem In- und Ausland.

Diese Überlegungen führten zum Entschluß, in einem Mustereinzugsgebiet des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung, künstliche Starkregenereignisse vorgegebener Intensität und Dauer auf Meßparzellen mit einheitlichen Abmessungen mittels Beregnungsanlage zu erzeugen und bestimmte Parzeleigenschaften zu untersuchen. Die zahlenmäßig festgestellten Auswirkungen der Niederschläge, in Form von Abfluß, Infiltration, Reaktionszeit und -dauer, erlauben daher Vergleiche zwischen den einzelnen Parzellen, liefern aber auch wertvolle Hinweise für die Erarbeitung von übertragbaren Gebietskenngrößen.

Da im Vordergrund des Interesses die Ermittlung maximaler Abflußwerte stand, weiters der zeitliche Verlauf des Abflußgeschehens im Einzugsgebiet eine wichtige Rolle für die Entstehung von Hochwasser einnimmt, wurde eine neue Methode der Mehrfachberegnung von Parzellen im praktischen Einsatz erprobt. Es galt mit dieser Methode auch zu beweisen, daß die bei Einzelversuchen erreichten Zustände konstanten Abflusses nicht zwangsläufig gleichzusetzen sind mit dem, auf dem jeweiligen Standort möglichen, Maximalabfluß.

Für die genannten Ziele erschien die Verwendung einer großflächigen Beregnungsanlage (100 m<sup>2</sup>) am zweckmäßigsten. Der Einsatz einer Kleinflächenanlage wurde, wegen des starken Einflusses der systembedingten, kurzen Fließwege auf das Versickerungsverhalten der Parzellen, nicht als zielführend erachtet. Ein ausführlicher Vergleich von Groß- und Kleinflächenanlagen wird von MARKART UND KOHL (1995) in einer Arbeit über Ergebnisse von Beregnungsversuchen im Einzugsgebiet Löhnersbach (Salzburg) gebracht und ist daher nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Für die Durchführung der Versuche wurde das Einzugsgebiet des Oselitzenbaches (Kärnten) ausgewählt. Dieses Gebiet ist u.a. mit mehreren Niederschlags-, aber auch mit einer Abflußmeßstelle ausgerüstet. Vorteile dieser Wahl sind die Nutzbarkeit des vorhandenen Datenmaterials dieser Meßstellen für die Bewertung der Ergebnisse der Niederschlagssimulationen, aber auch eine Verstärkung der Aussagekraft der langjährigen hydrologischen Meßreihen.

Da für die Beurteilung von Meßergebnissen, deren Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Gebiete den vorgefundenen Standortverhältnissen größ-

te Bedeutung zukommt, werden dem Leser dieser Arbeit nicht nur eine allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes, der Versuchsanlage und Methodik und eine Analyse der Ergebnisse der Starkregensimulation, sondern auch eine umfassende Beschreibung der Einzelparzellen und Darstellung aller Versuchsabläufe angeboten.

Die Planung, Leitung der Durchführung und Auswertung der Versuche erfolgte durch Dipl. Ing. E. LANG, die vegetations- und bodenkundlichen Untersuchungen wurden von Dipl. Ing. P. ANDRECS durchgeführt. Der Zeitraum der Untersuchungen erstreckte sich von 1989 bis 1992.

## 2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Parzellen, auf denen 1989 und 1990 Beregnungsversuche durchgeführt wurden, befinden sich alle im Bereich des Einzugsgebietes des Oselitzenbaches, in den Karnischen Alpen (Kärnten/Österreich). Dieser, besonders bei der schweren Hochwasserkatastrophe im September 1983, ins Licht der Öffentlichkeit gerückte Bach ist ein rechtsufriger Zubringer der Gail. Sein Einzugsgebiet umfaßt bis zur Mündung 27,7 km<sup>2</sup>. Ober- und Mittellauf lassen sich aus hydrologischer Sicht in drei Teileinzugsgebiete untergliedern:

- a) Teileinzugsgebiet Rudniggraben, das flächenmäßig größte Gebiet mit ca. 10,8 km<sup>2</sup>
- b) Teileinzugsgebiet Trögelbach mit dem in ihn mündenden Weißsandlbach und
- c) Teileinzugsgebiet Seebäche

Die West-Ost-Ausdehnung des Gesamteinzugsgebietes beträgt ca. 7 km, die Nord-Süd-Erstreckung ca. 4,5 km. Der Unterlauf ist gekennzeichnet durch einen mächtigen Schwemmkegel von über 2 km Länge, der die Gail an den Nordrand des Tales abzudrängen vermochte und damit das Geschiebepotential des Baches mit Nachdruck dokumentiert.

Betrachtet man die Geologie in diesem Raum, so nehmen die Karnischen Alpen eine besonders interessante Stellung ein. Das Grundgebirge hat variszisches Alter mit Gesteinen aus dem Paläozoikum und eine jüngere triassische Auflage. Terrestrische und marine Sedimente wechseln einander ab. Die Gesteine bestehen vorwiegend aus Tonschiefern, Sandsteinen, Kalken und Dolomiten. Die jüngsten Sedimente stammen aus dem Quartär. Die alpidischen Störungen haben zu einem Großteil zur Instabilität des Ge-

birges beigetragen. Die Sedimente sind in sich stark verfaltet.

Das anstehende Moränenmaterial kann unterschieden werden in Moränen des hocheiszeitlichen Gailgletschers - eine häufig sandig-lehmige Grundmoräne mit einem hohen Gehalt an gerundetem Schuttmaterial unregelmäßiger Körnigkeit und Zusammensetzung, die im Bereich der Treßdorfer- und Schlanitzenalm einen hohen Anteil an Kalkkomponenten aufweist - und Moränen der Lokalgletscher. Diese sind auf Seitentäler und Kare beschränkt und wegen des hohen Anteils an Riesenblöcken oft nicht von Bergstürzen zu unterscheiden.

Die Niederschlagsverhältnisse werden durch den Namen "Naßfeld" sehr treffend beschrieben. Die durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen liegen bei 2000 bis 3000 mm, das beobachtete Tagesmaximum betrug 286,1 mm (30.07.1985). Der Einbruch niederschlagsreicher Luftmassen erfolgt sehr oft aus dem Süden, wie überhaupt das Klima der Karnischen Alpen sehr stark durch das Mittelmeer beeinflusst wird. Eine Beschreibung der Niederschlagsverhältnisse in den Jahren der Versuchsreihen ist, wegen ihres außerordentlich großen Einflusses auf das Abflußverhalten der Parzellen, der Diskussion der Meßergebnisse (Kap. 5.0) angegliedert.

Die wirtschaftliche Nutzung des Gebietes erfolgt durch Fremdenverkehr, Land- (Alm-) und Forstwirtschaft. Eine Untersuchung der Abflußverhältnisse verschieden genutzter Flächen (Wald, Weide, Skipisten) war daher auf engstem Raum möglich und ist, vor allem wegen der verstärkten Erschließung des Naßfeldes für den Wintersport und des damit verbundenen Baus von Skipisten, Liftanlagen und Hotels in den letzten Jahrzehnten und der dadurch hervorgerufenen nachhaltigen Veränderung des Belastungszustandes des Naturraumes und Landschaftsbildes, interessant.

### 3. Versuchsanlage und -methodik

#### 3.1 Versuchsanlage

Für die Simulation der Starkregenereignisse wurde eine Beregnungsanlage ähnlich der von Karl & Doldrian (1973) eingesetzt, um die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse mit früheren Untersuchungen im In- und Ausland zu erhalten. Mittels dieser (transportablen) Anlage - bestehend aus Saugschlauch mit Sieb und Rückschlagklappe, Pumpe, Druckschläuchen,

Wassermengenmeßvorrichtung, Absperr- bzw. Dosierventil und eigentlicher Beregnungsanlage aus Schnellkupplungsrohren, bestückt mit Beregnungsdüsen, Reduzierblenden und Manometer - wurden Starkregenereignisse mit einer Spende von 100 l/h.m<sup>2</sup> über eine Dauer von 1 Stunde erzeugt. Die erzielte Niederschlagshöhe wurde aus den Abmessungen der Parzelle und der im Zulauf zur Beregnungsanlage gemessenen Wassermenge errechnet. Eine ausreichend gleichmäßige Verteilung des Niederschlags wurde, nach Ergebnissen vorausgehender Niederschlagsmessungen, angenommen. Die Standardabmessungen der Parzellen betrugen 4x25 m (100 m<sup>2</sup>), wobei die Längsseite in Falllinie verlief. An der unteren Querseite wurden, in einem Abstand von ca. 1 m (Abweichungen von bis zu ±0,5 m waren durch natürliche Hindernisse nicht zu vermeiden) zu den Enden der Beregnungsanlage, schräg nach unten zusammenlaufende, ca. 25 cm tiefe Gräben angelegt, um das oberflächlich und das oberflächennah (Interflow) abfließende Wasser zu fassen und über ein Rohr in kalibrierte Glasfaserwannen mit Volumina von je 500 l abzuleiten. In diesen Wannen wurde der zusammengeleitete Abfluß aufgefangen und im Abstand von zwei Minuten, ab Beginn der Beregnung, die Abflußfracht ermittelt. Die Beregnungsdauer wurde mit 60 Minuten festgelegt. Die Parzellensituation wurde, bei Durchführung der Versuche, durch Skizzen und Photos festgehalten. Dies erleichtert die Auffindung der Parzellen für weitere Untersuchungen, dokumentiert aber auch deren Zustand beim Versuch. Weiters ist es dadurch möglich, Veränderungen der Parzellen, die nicht durch Zahlenwerte oder Beschreibungen festgehalten sind, festzustellen.

#### 3.2 Versuchsmethodik

Die Sättigung des Bodens mit Wasser hat, wie durch eine Vielzahl bekannter Katastrophenfälle belegt wird, sowohl einen entscheidenden Einfluß auf die Größe des bei einem Niederschlagsereignis entstehenden Abflusses als auch auf die Ansprechzeit, also die Zeit ab der der Boden nicht mehr in der Lage ist das Niederschlagswasser in tiefere Schichten abzuleiten bzw. zurückzuhalten. Um nun das Verhalten der untersuchten Böden (Parzellen) bei unterschiedlicher Vorbefeuchtung zu untersuchen, wurden die Flächen, im Anschluß an eine erfolgte Beregnung, nach einer Pause von einer Stunde ab Beregnungsende wiederberegnet. Dabei wurde der Sättigungsgrad der Böden nicht in seiner absoluten Größe erfaßt, um Verfälschungen des Abflußverhaltens der Parzellen, durch den Einbau von

Meßgeräten zu verhindern. Da in jedem Fall von einem bestimmten, vorgegebenen Sättigungsgrad auszugehen war, wurde der oben beschriebene Versuchsablauf im darauffolgenden Jahr auf den selben Meßflächen wiederholt.

Die Aufnahmen von Vegetation und Boden erfolgten erst nach Durchführung beider Versuchsreihen. Um die Voraussetzungen für eine vergleichende Datenbewertung zu schaffen, erfolgte die Klassifizierung der einzelnen Berechnungspartellen an Hand der "Anleitungen zur Feldarbeit und Probenahme im Rahmen der österreichischen Waldbodenzustandsinventur" der FBVA (KILIAN & MAJER 1990). Dabei wurde allerdings wegen mangelnder Personalkapazität auf Laboruntersuchungen für die Bestimmung einzelner Bodenkennwerte verzichtet, und nur diejenigen Bodenparameter, deren Ansprache direkt im Gelände möglich war, aufgenommen.

Die Werbung der Bodenproben erfolgte mit Hilfe eines Schlagbohrers ( $\varnothing$  2 cm) an jeweils 3 Stellen, die in etwa die Viertel-Punkte der jeweiligen Berechnungspartelle in der Längsachse darstellen. Auf Flächen, wo diese 3 Proben stark differierende Profile lieferten, wurden für die Bodenansprache noch zusätzliche Proben genommen.

Die Gewinnung von Bodenprofilen mit einem Schlagbohrer läßt nur eine grobe Abschätzung des Skelettanteiles der einzelnen Bodenhorizonte zu. Die Korngrößenfraktionen  $>20$  mm werden auf diese Weise nicht erfaßt und bleiben daher unberechenbare Größen. Ob ein Bodenhorizont karbonathaltig war oder nicht, wurde mit Hilfe eines Salzsäuretests (unter Verwendung von 10%iger Salzsäure) festgestellt. Zur Charakterisierung der Bodenvegetation wurden sog. "Vegetationstypen" eingesetzt, die die Conclusio der Vegetationsaufnahme der gesamten Berechnungspartelle (100 m<sup>2</sup>) bilden.

Den in der Beschreibung der einzelnen Versuchsflächen angeführten Pflanzenartenlisten wurde die lateinische Nomenklatur von EHRENDORFER (1973) zugrunde gelegt. Die Einstufung des Deckungsgrades der einzelnen Pflanzenarten folgte dabei, ebenso wie die der bodenbeschreibenden Adjektiva (z.B. *sehr starke* Durchwurzelung, *geringer* Mittelgrusanteil, *sehr frischer* Bodenwasserhaushalt), den Definitionen o.g. Heftes der FBVA. Hinsichtlich der Beschreibung der Baumvegetation der hochmontanen Waldparzellen sei in diesem Zusammenhang auf die "Waldbauliche Terminologie" von BRÜNIG & MAYER (1980) verwiesen. Um eventuelle Entwicklungsmöglichkeiten der Bewaldungssituation anzudeuten, wurden die, üblicherweise zur Boden- bzw. Strauchvegetation zäh-

lenden, Keimlinge bzw. Jungpflanzen in die Rubrik "Baumvegetation" miteingebunden.

#### 4. Beschreibung der Versuchspartellen und Darstellung der Meßergebnisse

##### 4.1 Beschreibung der Boden- und Vegetationseinheiten

###### 4.1.1 Subalpine Weideparzellen

In diese Gruppe fallen die 3 Berechnungspartellen oberhalb der Rudnigalm, östlich des Trogkofels, des mit 2280 m höchsten Gipfels dieses Gebietes. Sie befinden sich auf Seehöhen zwischen 1650 m und 1670 m und weisen eine Hangneigung von 57-60% bei Nordost- bis Ostexposition auf. Die Geländeform der Partellen 1 und 2 kann, infolge des Gefällebruches im Hang oberhalb der Partellen (verursacht durch eine Forststraße), als Unterhang bezeichnet werden; Partelle 3 liegt auf einem Mittelhangstück.

Ausgangsgestein für die Bodenbildung ist aus Trogkofelkalken und Rattendorfer Schichten bestehendes Moränenmaterial, welches durch Lokalgletscherwirkung entstanden ist.

Das buckelige (auf Partelle 1 beinahe "treppenartige") Kleinrelief weist auf die Instabilität dieses Geländeabschnittes hin, was durch den Säbelwuchs der nur vereinzelt auf dieser Fläche stockenden Lärchen und Fichten eine Bestätigung erfährt.

Die Böden der Partellen können in die Gruppe der Kalksteinlehme eingereiht werden und weisen alle Pseudovergleyung auf. Sämtliche Profile sind karbonatfrei. Der Humustyp dieser tiefgründigen Böden ist jeweils Mull.

Die Vegetation ist durch die Zunahme des Zwergstrauchanteils von Partelle 1 zu Partelle 2 und 3 gekennzeichnet. Während die Zwergsträucher auf erstgenannter Partelle noch einen geringen Deckungsgrad von ca. 25% aufweisen - es dominiert ein sehr kräuterreicher Weiderasen - ist Partelle 3 schon zu ca. 70% von Zwergsträuchern bewachsen.

Die Bodenwasserhaushaltsstufe kann als frisch bezeichnet werden, wobei die oberen Bodenhorizonte auf Grund ihrer lockeren Struktur eine gute Wasseraufnahmefähigkeit erkennen lassen, tiefere Bodenschichten, ihrer Bodenart und ihrer Kohärentstruktur wegen, jedoch staukörperähnliche Eigenschaften besitzen. Sämtliche der Versuchsflächen werden beweidet.

#### 4.1.2 Hochmontane Waldparzellen

Diese Gruppe beinhaltet insgesamt 6 Berechnungspartellen nordöstlich von Sonnleitn in einem Geländeabschnitt, der keilförmig im Norden von einer Forststraße und im Osten vom Weißsandlbach begrenzt wird.

Der gesamte Geländebereich befindet sich in der mittleren Zone einer Groß-Hanggleitung, der sogenannten "Schlanitzen-Alm-Gleitung" (Kahler & Frey 1963), die eine besondere Erscheinungsform eines Talzuschubes darstellt. Die Hauptmassen dieser Gleitbewegung sind zum überwiegenden Teil die Grenzlandbänke, auf denen hochwürmeiszeitliches Moränenmaterial aufliegt.

Die Exposition der Parzellen schwankt zwischen Nord und Ost, die Hangneigungen sind sehr unterschiedlich. Mit Ausnahme von Parzelle 14 liegen alle Versuchsflächen auf Unterhangabschnitten. Das Kleinrelief ist durch Buckeln geprägt; auch der Säbelwuchs der "Stummen Zeugen" kennzeichnet die rezenten Rutschvorgänge. Alle Parzellen sind mit Altbeständen der natürlichen Waldgesellschaft (Illyrischer Fichten-Tannen-Buchwald) bestockt, wobei besonders die Tanne in diesem Gebiet einen ihrer Verbreitungsschwerpunkte besitzt. Das gesamte Waldgebiet der Berechnungsflächen ist durch Weideservitute belastet.

Auf den Bestand positiv wirkt sich hingegen die geringe Wilddichte aus. Selbst die besonders verbißgefährdete Tanne kommt ohne besondere Schutzmaßnahmen auf. Die Bodenvegetation weist einen geringen Begrünungsgrad auf (30-50% auf Parzelle 12 und 5% auf Parzelle 14 sind die Maximal- bzw. Minimalwerte). Sie kann als Schattenkräutertyp klassifiziert werden, wobei sich auch Pflanzen des Sauerkleetyps (Mauerlattich, Seidelbast, sowie verschiedene Farne) einstellen. Dieser Vegetationstyp ist an kein bestimmtes Grundgestein gebunden und für Unterhanglagen als typisch anzusehen. Nährstoffversorgung und Wasserhaushalt sind dabei sehr gut. Trotzdem werden auf den Berechnungspartellen auch Degradationszeiger (Sprossender Bärlapp, Hainsalat, verschiedene Moose) angetroffen. Dies ist nicht zuletzt auf die zeitweilig stattfindende Waldweide zurückzuführen. Die Böden dieser Berechnungspartellen sind zum überwiegenden Teil Kalksteinlehme, die mehr oder weniger stark pseudovergleyt sind. Lediglich auf Parzelle 12 kommen Hanggleye, stellenweise sogar anmoorige Hanggleye vor. Sämtliche Mineralbodenhorizonte sind kalkfrei. Die typische Humusform dieser Standortseinheit ist der Moder, dessen Palette von mull- bis rohhumusartig reicht, wobei er mancherorts auch semiterrestrische Form zeigt.

#### 4.1.3 Tiefsubalpine Pistenparzellen

Die Parzellen dieser Gruppe beinhalten die Nummern 7 bis 11 und liegen östlich des 2013 m hohen Zweikofels. 1979/80 wurde dort der sogenannte Zweikofelschilift errichtet, mit dem es möglich ist, 1100 Personen pro Stunde auf 1720 m hinauf zu transportieren.

Zur Schaffung der Piste waren Schlägerungen notwendig, teilweise sind davon noch Stöcke in der Umgebung der Versuchsflächen zu sehen. Westlich der Richtung Rudnigalm führenden Forststraße wurden die Parzellen 9 und 10, östlich der Straße die Parzellen 7, 8 und 11 ausgewählt und während der Sommermonate 1989 und 1990 beregnet.

Mit Ausnahme von Parzelle 8 haben sie alle Ostexposition. Das Kleinrelief ist ausgeglichen, stellenweise treten Naßgallen auf. Das bodenbildende Ausgangsgestein ist auch auf diesen Flächen wieder Moränenmaterial.

Im Gegensatz zu den Wald- bzw. Weideparzellen sind die Pistenversuchsflächen wesentlich flacher; ihr Gefälle liegt zwischen 18 und 32%. Da auf keiner der Pisten-Berechnungspartellen Bäume oder Sträucher stocken, ist eine diesbezügliche Untergliederung der Vegetationskartierung hinfällig. Unter dem Begriff "Vegetation" wird bei der Beschreibung der einzelnen Parzellen somit nur die aufgenommene Bodenvegetation verstanden.

Hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes sind mehrere, in die gleiche problematische Richtung wirkende Einflußgrößen vorhanden:

Zunächst einmal die Auswirkungen der Vegetationsänderung: Anstelle einer Bewaldung ist ein künstlich initiiertes Pistenrasen vorhanden, wobei der Anteil der horstwüchsigen Gräser und Leguminosen auf den, auf den ersten Blick sehr einheitlich aussehenden, Parzellen schwankt. Die transpiratorische Vorleistung von Bäumen kann durch diese Begrünungsform jedoch nicht kompensiert werden. Weiters wirkt sich die Tatsache, daß der Boden beinahe ganzjährig mechanisch beansprucht wird, nachteilig auf die Versickerungsrate aus. Während im Winter Pistenpräpariergeräte zur Verdichtung beitragen, verursachen in den wärmeren Jahreszeiten Trittschäden des Weideviehs (Ziegen, speziell jedoch Kühe) eine zunehmende Dichtlagerung des Bodens. Aufschluß über die teilweise äußerst geringe Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens geben die, selbst viele Tage nach Niederschlagsereignissen noch in den Trittschritten stehenden Pfützen. Außerdem gibt es viele kleinflächige, die geschlossene Vegetationsdecke unterbrechende, Trittabbrüche.

Die Böden der Parzellen sind alle stark wasserbeeinflusst. Als typisch kann ein Gley angesehen wer-

den, der auf den besseren Standorten in einen vergleyten Kalksteinlehm übergeht. Mit Ausnahme einiger Bodenprofile auf Parzelle 10 sind die Bodenhorizonte karbonatfrei. Die typische Humusform ist der Mull, wobei dieser oft schon hydromorph beeinflusst ist und somit als Feuchtmull semiterrestrische Züge aufweist.

#### 4.2 Beschreibung der Einzelparzellen und Darstellung der Versuchsabläufe

Die Meßparzellen wurden chronologisch in der Folge ihrer Erstberegnung gereiht. Es erfolgte eine Klassifizierung der Parzellen in Wald, Weide und Piste. Zweck dieser Gruppeneinteilung ist die dadurch geschaffene Möglichkeit, den Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsarten auf das Abflußverhalten von Teilflächen in Wildbacheinzugsgebieten herauszuarbeiten. Die Klassifizierung stellt auch eine Vereinfachung dar, wie jede Gruppeneinteilung, und birgt daher auch die Gefahr der Unschärfe der Aussage. Als Beispiel sei die Trennung von Piste und Weide genannt, da auch Pisten oftmals beweidet werden, wie dies auch bei den untersuchten Flächen der Fall war. Die Einteilung richtete sich hier nach der Einflußnahme des

Menschen auf die untersuchten Flächen. In die Gruppe "Piste" wurden Flächen aufgenommen die, z.B. durch Erdbewegungsarbeiten, den Einsatz von Großbaumaschinen und nachträgliche künstliche Ansaat zur Wiederbegrünung, eine deutliche Veränderung des Standortes (Bodenhorizontaufbaues, Vegetation) erfahren haben. Im Winter werden diese Flächen durch Pistengeräte präpariert und fallweise künstlich beschneit.

Um die Ergebnisse der bei den Starkregensimulationen durchgeführten Messungen von Anbeginn den jeweiligen Standortverhältnissen zuordnen zu können, wurden diese mit den Aufnahmen von Vegetation und Boden verknüpft, d.h. nicht in separaten Kapiteln, getrennt voneinander behandelt. Bei der Gruppe der Waldparzellen muß erwähnt werden, daß systembedingt der Einfluß des Kronendaches auf Niederschlag und Abfluß nicht berücksichtigt werden konnte, der tatsächlich mögliche Rückhalt von Niederschlag in Waldgebieten also größer ist.

Abgerundet wird das Bild der Erhebungen für jeden Standort durch die Anfügung von Bemerkungen, in denen besondere, für die Interpretation der Versuchsergebnisse wichtige Informationen oder Randbedingungen vermerkt sind. Weiters erfolgt in dieser Notiz eine erste Interpretation der Versuchsergebnisse und gegebenenfalls ein Vergleich mit Ergebnissen von Vorversuchen.



#### 4.2.1 Berechnungsfläche Nr. 1 (Subalpiner Weidestandort)

##### Parzellensituation

Diese Parzelle liegt auf einer Meereshöhe von 1650 m und weist bei Nord-Ost-Exposition eine Hangneigung von 60% auf. Die obere Grenze dieser Parzelle bildet ein traktorbefahrbarer, nicht geschotteter Weg.

Die Versuchsfläche ist Teil eines kleinflächigen Unterhangs, dessen horizontale Ausdehnung auf 300 m, die vertikale auf 250 m geschätzt wurde. Das Kleinrelief ist sehr stark von vielen kleinen Buckeln geprägt, so daß beinahe ein treppenförmiger Eindruck entsteht. Die gesamte Parzelle steht unter starkem Weideeinfluß: Trittsiegel und kleinere Trittanbrüche sind deutlich erkennbar. Oberflächlich liegen mehrere Blöcke mit einem auf 30 cm geschätzten Mitteldurchmesser auf.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden Vegetation

- A. *Baumvegetation*: Nur eine einzelne, ca. 2 m hohe und sehr säbelwüchsige Lärche (*Larix decidua*) stockt auf dieser Parzelle.
- B. *Bodenvegetation*:  
Vegetationstyp: kräuterreicher Weiderasen (mit nur geringem Zwergstrauchbewuchs)  
Begrünungsgrad: 75-100%

DG*	Pflanzenart	
2	<i>Agrostis tenuis</i>	- Rotes Straußgras
	<i>Alchemilla vulgaris</i>	- Frauenmantel
1	<i>Alopecurus pratensis</i>	- Wiesenfuchsschwanz
	<i>Avenella flexuosa</i>	- Drahtschmiele
	<i>Rhododendron hirsutum</i>	- Behaarte Alpenrose
	<i>Tanacetum corymbosum</i>	- Doldige Wucherblume
+	<i>Ajuga reptans</i>	- Kriechender Günsel
	<i>Campanula rotundifolia</i>	- Rundblättrige Glockenblume
	<i>Carlina acaulis</i>	- Silberdistel
	<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	- Berg-Kälberkopf
	<i>Dactylis glomerata</i>	- Knäuelgras
	<i>Daphne mezereum</i>	- Seidelbast
	<i>Gentiana pneumonanthe</i>	- Lungen-Enzian
	<i>Hypericum montanum</i>	- Berg-Johanniskraut
	<i>Parnassia palustris</i>	- Herzblatt
	<i>Phleum pratense</i>	- Wiesen-Lieschgras
	<i>Ranunculus aconitifolius</i>	- Gebirgs-Hahnenfuß
	<i>Ranunculus repens</i>	- Kriechender Hahnenfuß
	<i>Sesleria varia</i>	- Kalkblaugras
	<i>Thelypteris limbosperma</i>	- Bergfarn
	<i>Torilis japonica</i>	- Gewöhnlicher Klettenkerbel
	<i>Trifolium medium</i>	- Mittlerer Klee
	<i>Tussilago farfara</i>	- Huflattich

\* = Deckungsgrad

##### Boden

*Bodentyp*: tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

*Humusform*: Mull

*Wasserhaushalt*: sehr frisch

*Bodenhydrologische Verhältnisse*: wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O <sub>t</sub> /O <sub>e</sub>	3 - 0	cm	verklebter Graswurzelfilz mit geringer Beimischung von Lärchenstreu
A <sub>h(g)</sub>	0 - 9	cm	stark lehmiger Sand, kein Grobanteil, humos, karbonatfrei, schwacher Tagwassereinfluß, sehr stark durchwurzelt (0-4 cm Wurzelfilz), gerade absetzend
A <sub>h(g)</sub> /B <sub>vg</sub>	9 - 15	cm	sandiger Lehm, in Grobanteil, karbonatfrei, mehrere deutliche Rostflecken, einige Konkretionen, stark durchwurzelt, übergehend
B <sub>vg</sub>	15 -	cm	toniger Lehm, geringer Feingrusanteil; karbonatfrei, nur mehr vereinzelte Rostflecken, mehrere Konkretionen, oben stark durchwurzelt, ab 40 cm kohärent und nicht durchwurzelt

Zusatz: Stellenweise ist der Humus hydromorph beeinflusst und daher schmierig.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.1:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

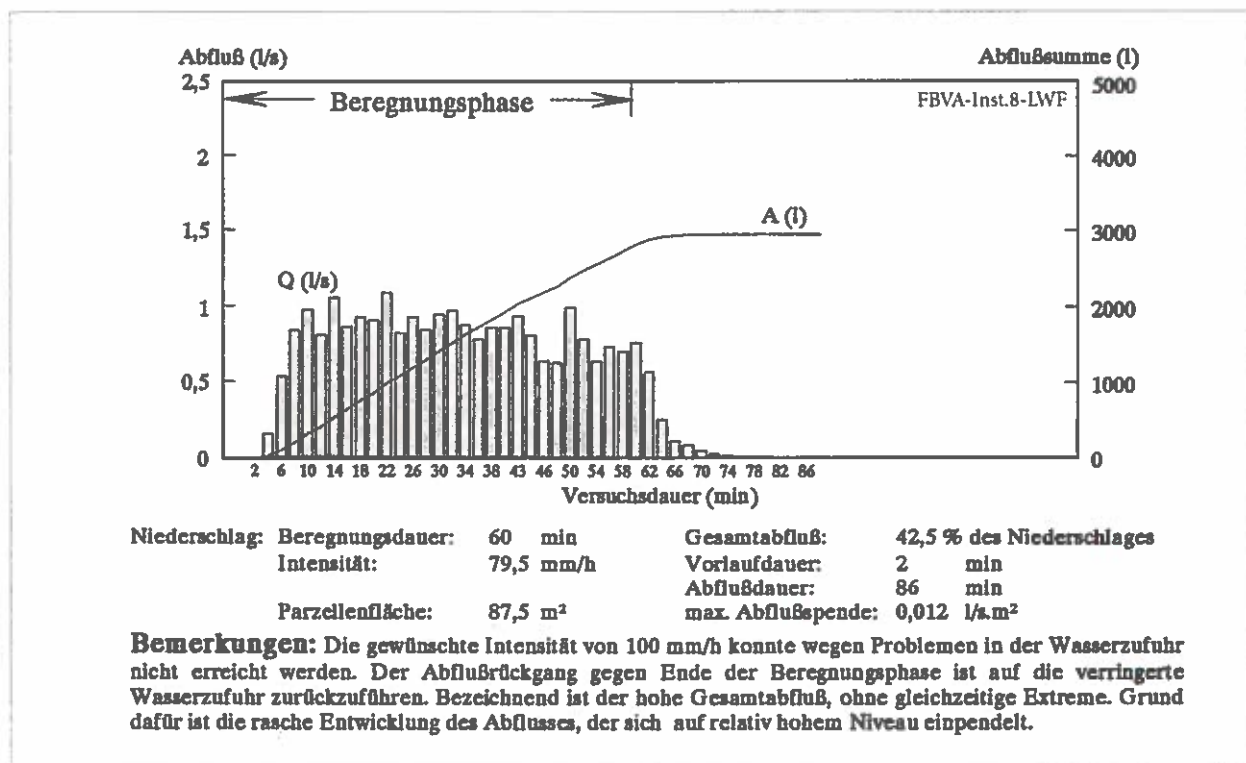


Abb. 4.2:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

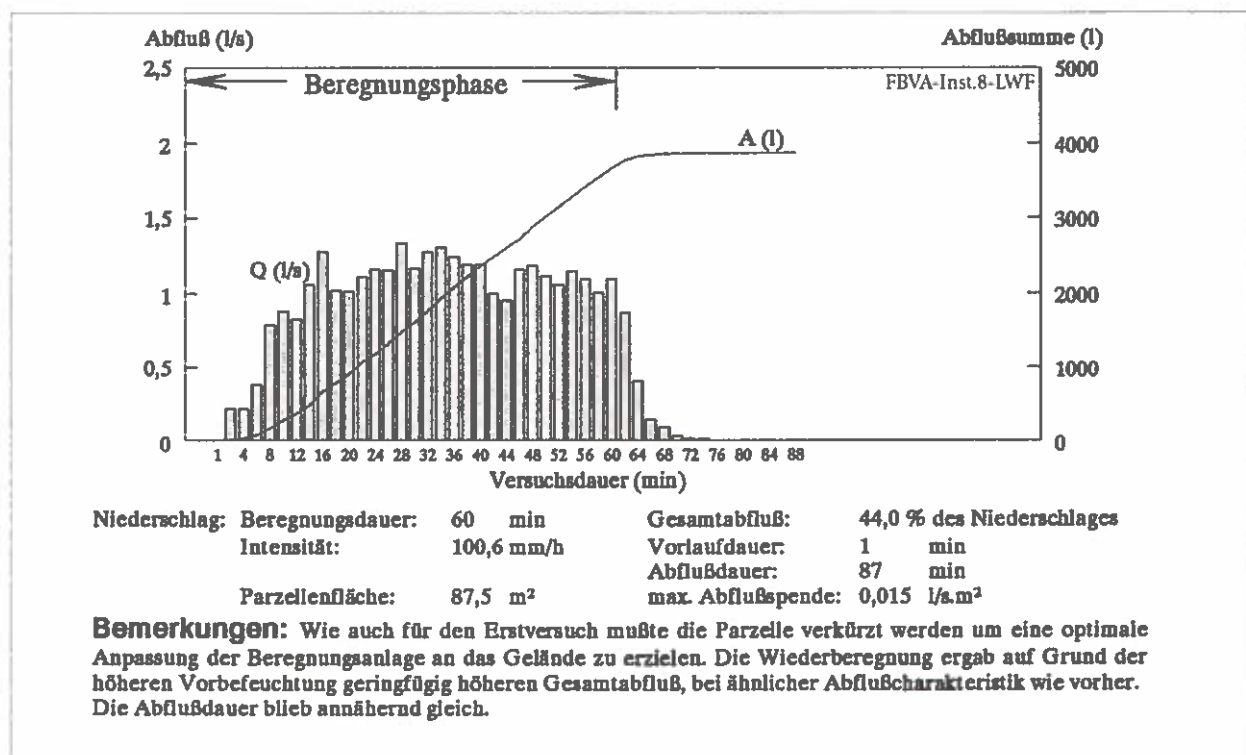




Abb. 4.3:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

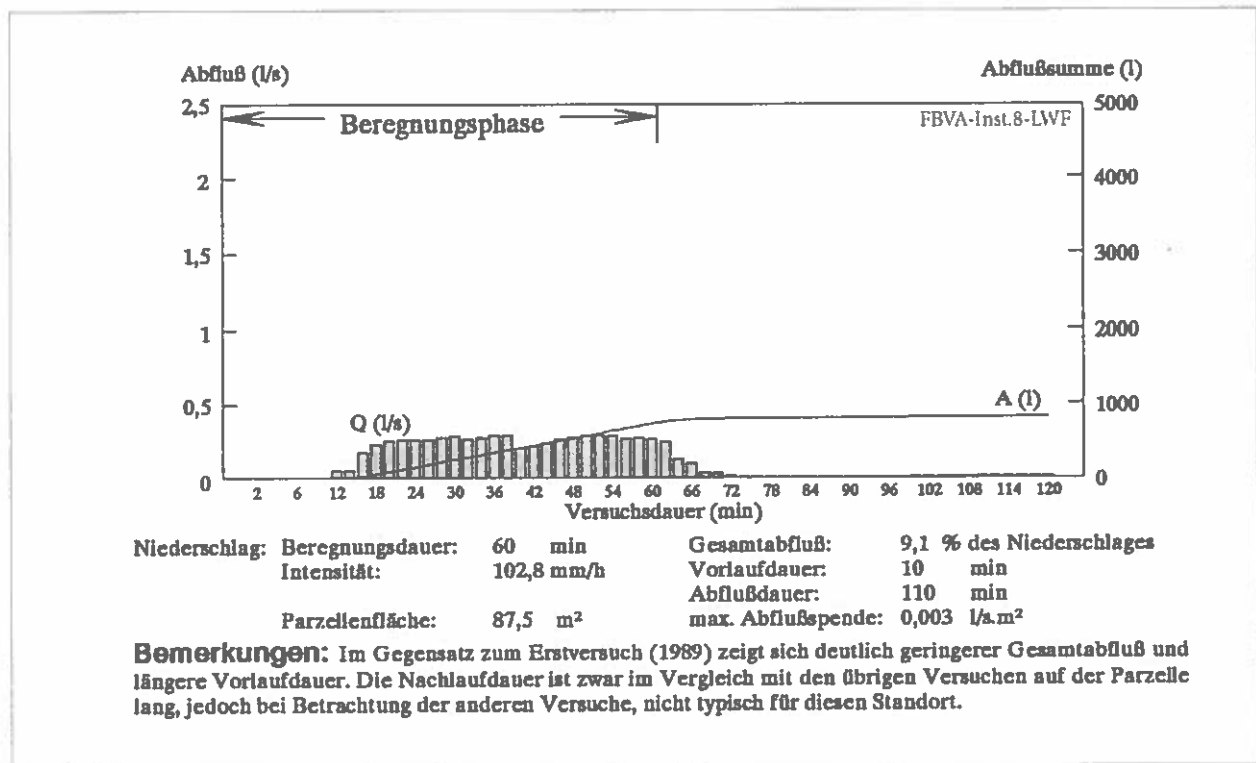
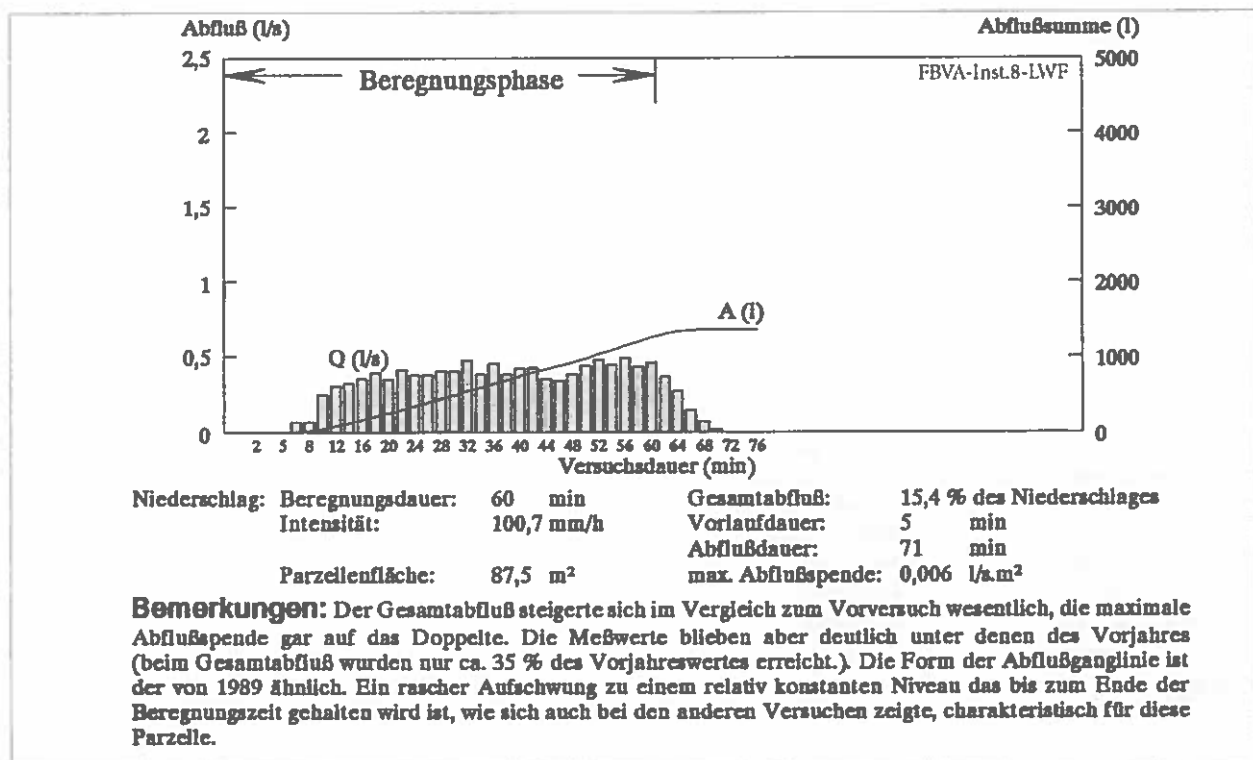


Abb. 4.4:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.2 Beregnungsfläche Nr. 2 (Subalpiner Weidestandort)

##### Parzellensituation

In unmittelbarer räumlicher Nachbarschaft zu Parzelle 1 liegt die Beregnungsparzelle Nr. 2. Ihre Exposition ist jedoch Ost. Die Hangneigung beträgt 60%, die Seehöhe 1660 m. Zu dem oberhalb liegenden Traktorweg beträgt der Abstand nur wenige Meter.

Hinsichtlich der Geländeform, Weideeinfluß und Blockmaterial gilt das gleiche wie für Parzelle 1. Das Kleinrelief ist, wenngleich schon etwas ausgeglichener als das der Parzelle 1, noch immer als unruhig zu bezeichnen (Buckeln). Im Gegensatz zu Parzelle 1 werden die Kräuter dieser Fläche, sowohl ihre Artenvielfalt als auch ihren Deckungsgrad betreffend, allmählich durch Gräser und Zwergsträucher zurückgedrängt. Diese Versuchsfläche könnte daher als eine Art Zwischenglied der Parzellen 1 und 3 eingeordnet werden.

#### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

2 Lärchen (2 bzw. 3 m hoch) bilden die Baumvegetation dieses Standortes. Wie schon auf Parzelle 1 zeigen auch diese sehr starke Säbelwüchsigkeit. In der Krautschicht finden sich einige Keimlinge dieser Baumart.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Weiderasen mit Zwergsträuchern und Kräutern

Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 2 Rhododendron ferrugineum | - Rostrote Alpenrose |
| 1 Agrostis tenuis          | - Rotes Straußgras   |
| Festuca rubra              | - Rotschwingel       |
| Ranunculus aconitifolius   | - Gebirgs-Hahnenfuß  |
| Rhododendron hisutum       | - Behaarte Alpenrose |
| Thelypteris limbosperma    | - Bergfarn           |
| Trifolium pratense         | - Wiesenklees        |
| Vaccinium myrtillus        | - Heidelbeere        |
| + Carlina acaulis          | - Silberdistel       |
| Gentiana pneumonanthe      | - Lungen-Enzian      |
| Gentianella ciliata        | - Gefranster Enzian  |
| Hypericum montanum         | - Berg-Johanniskraut |
| Lotus corniculatus         | - Hornklee           |
| Nardus stricta             | - Bürstling          |
| Tofieldia calyculata       | - Simsenlilie        |
| Tussilago farfara          | - Huflattich         |

\*=Deckungsgrad

##### Boden

**Bodentyp:** tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

**Humusform:** Mull

**Wasserhaushalt:** frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O <sub>1</sub> /O <sub>2</sub>	3 - 0 cm	ident mit Parzelle 1, jedoch kein hydromorpher Einfluß
A <sub>h</sub>	0 - 10 cm	schwach lehmiger Sand, kein Grobanteil, karbonatfrei, sehr stark durchwurzelt, absetzend
B <sub>vg</sub>	10 - cm	stark lehmiger Sand, geringer Fein- grusanteil, karbonatfrei, vereinzelte Rostflecken, viele Konkretionen, mittel durchwurzelt

**Zusatz:** Der B<sub>vg</sub>-Horizont kann stellenweise in einen B<sub>vg1</sub> und einen B<sub>vg2</sub> unterteilt werden, wobei das Unterscheidungsmerkmal die wesentlich dichtere Lagerung des B<sub>vg2</sub> mit der Bodenart toniger Lehm ist.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.5: Abflußverhalten beim Vorversuch 1989

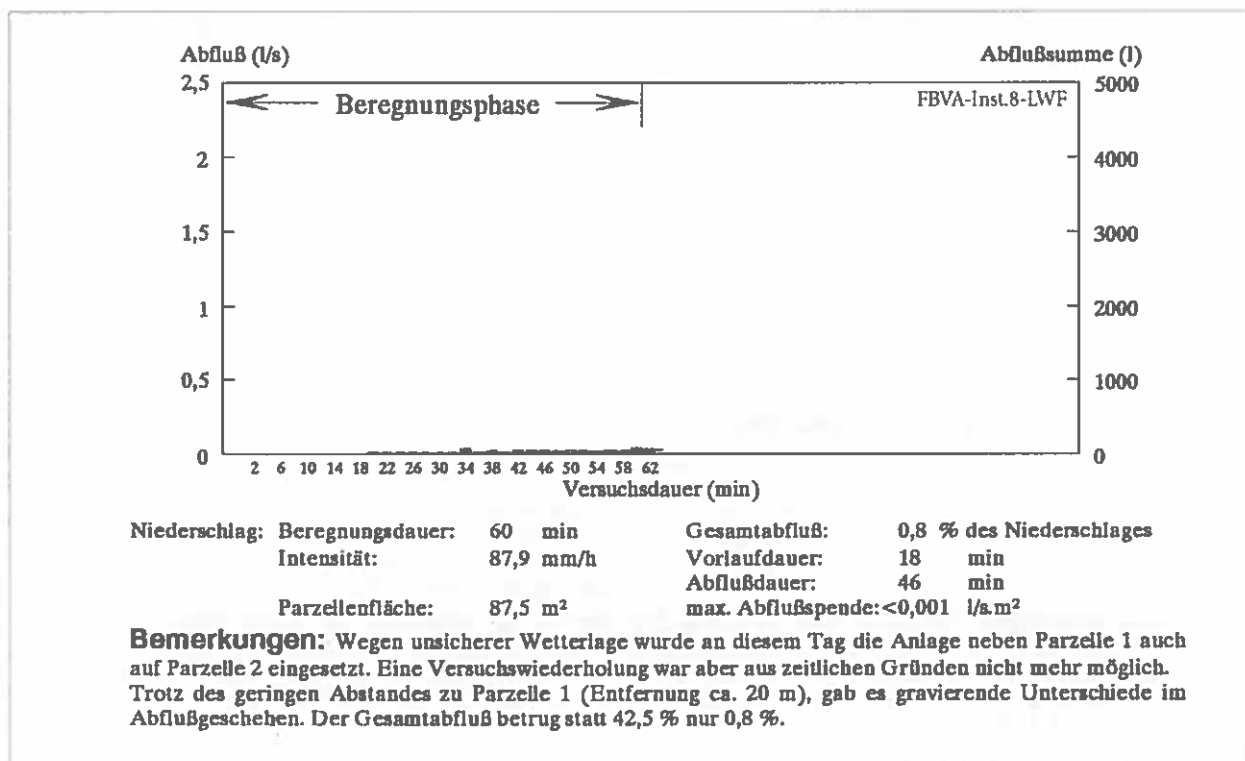


Abb. 4.6: Abflußverhalten beim "Erstversuch" 1989

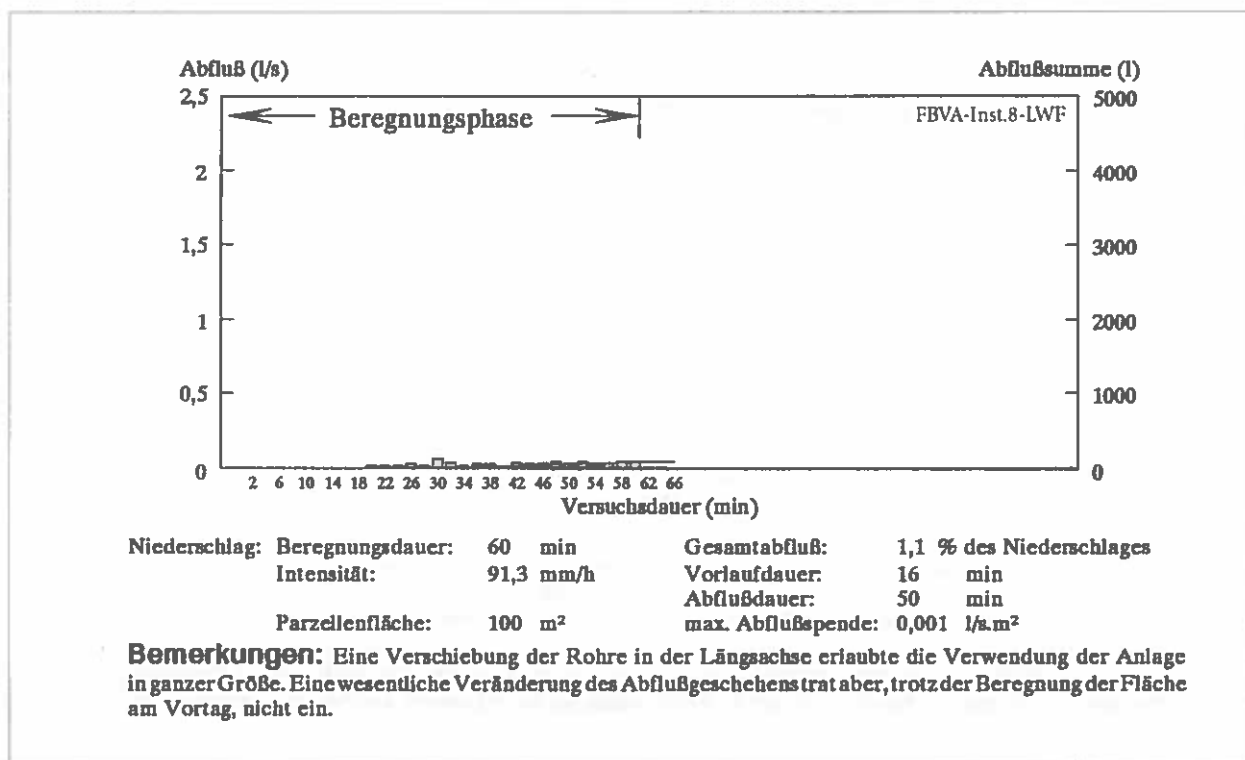


Abb. 4.7:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

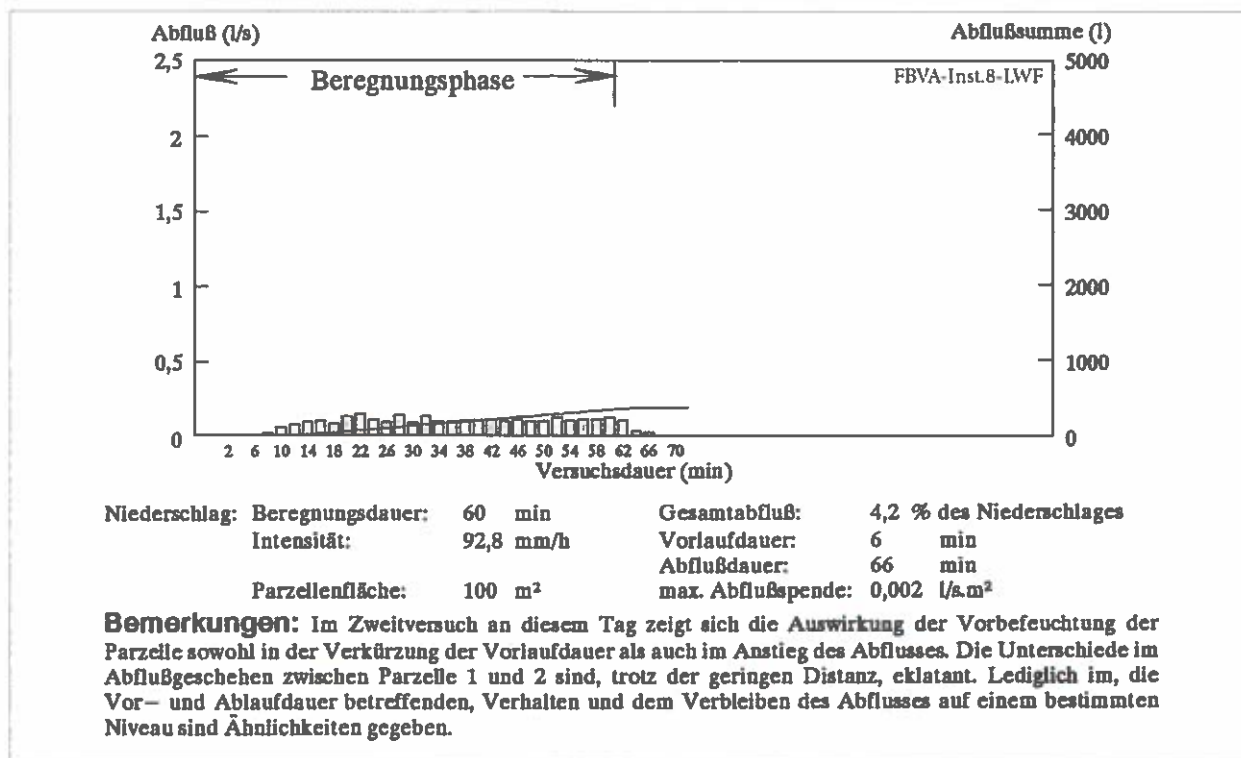


Abb. 4.8:

## Abflußverhalten beim Vorversuch 1990

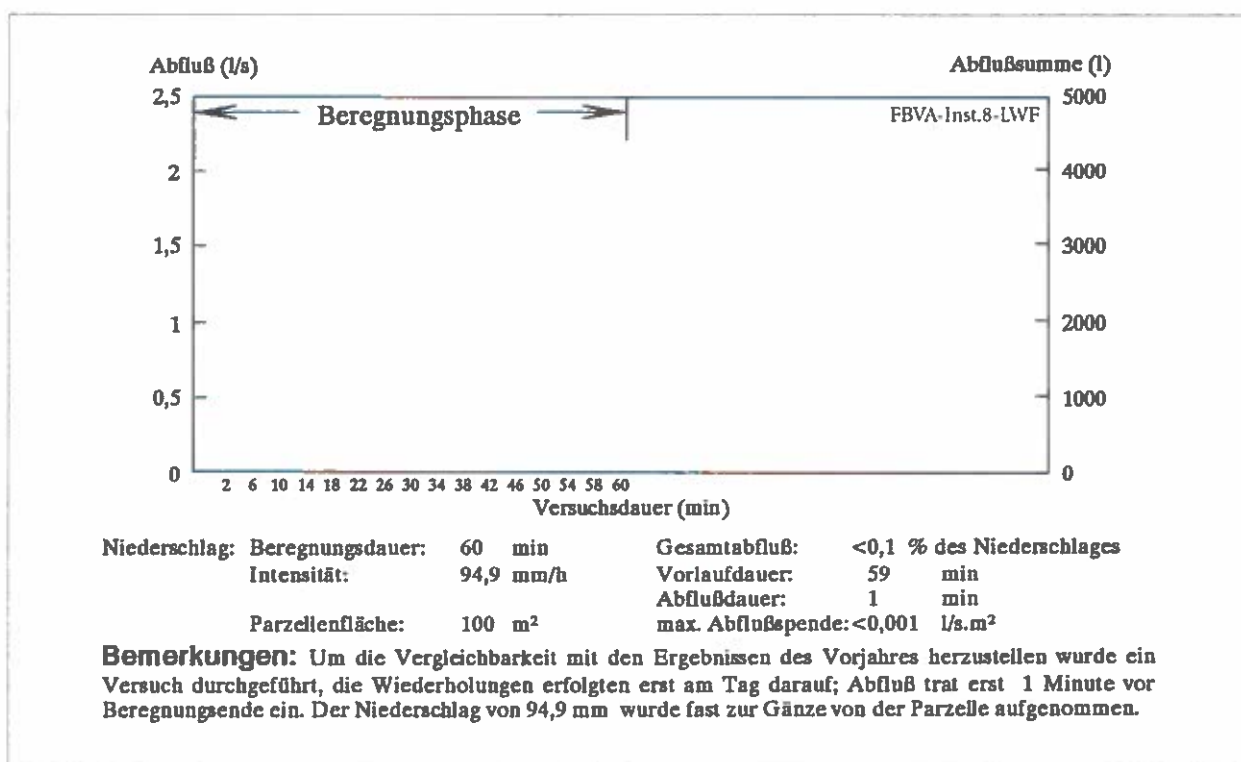


Abb. 4.9: Abflußverhalten beim "Erstversuch" 1990

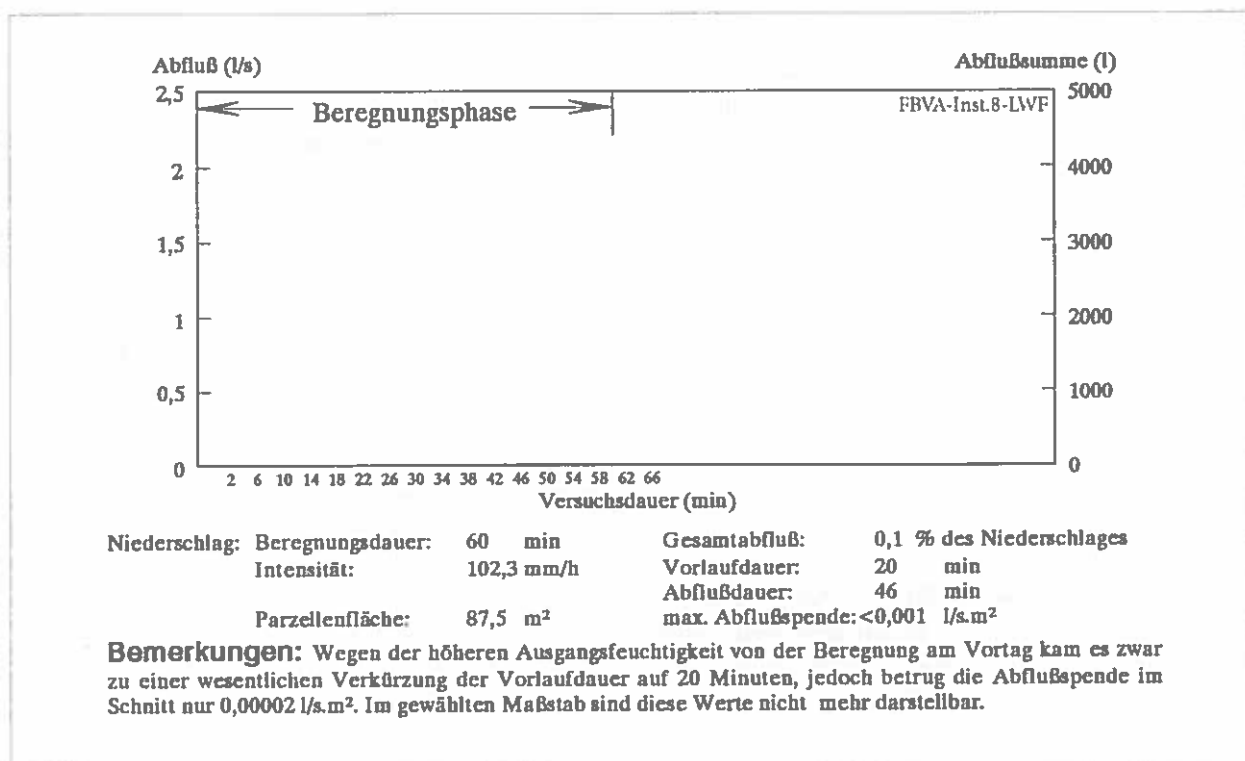
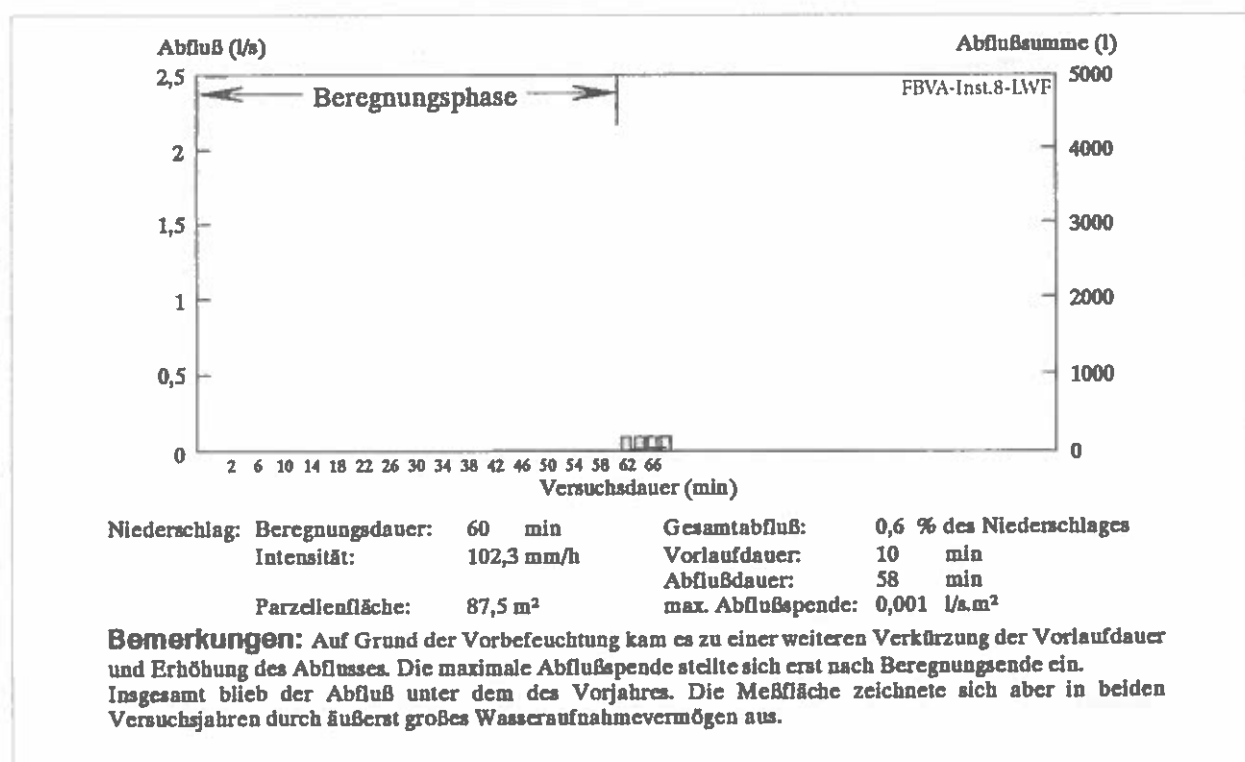


Abb. 4.10: Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.3 Berechnungsfläche Nr. 3 (Subalpiner Weidestandort)

##### Parzellensituation

Parzelle 3 liegt ostexponiert an einem Mittelhang. Die Seehöhe beträgt 1670 m, die Hangneigung liegt bei 57%. Deutliche Anzeichen der stattfindenden Beweidung finden sich besonders im unteren Parzellenteil. Verglichen mit den ersten beiden Versuchsflächen ist weniger Blockmaterial vorhanden. Die Bodenvegetation ist im Gegensatz zu den Parzellen 1 und 2 von einer deutlichen Dominanz der Zwergsträucher geprägt. Die Baumvegetation ist, obschon noch immer spärlich vorhanden, durch eine gewisse "Artenvielfalt" gekennzeichnet.

#### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Diese wird von einer ca. 20 m hohen Lärche, die auf einer Höhe von 2,20 m einen starken Knick aufweist, einer 1 m hohen Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) sowie Fichtenjungwuchs gebildet. Das Vorkommen dieser Baumarten beschränkt sich jedoch auf den oberen Parzellenabschnitt. Entsprechende Schutzmaßnahmen vorausgesetzt könnte ihr Anteil erhöht werden, da Keimlinge bzw. Jungpflanzen der genannten Gehölze vorhanden sind.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: subalpine Zwergsträucher  
Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

- |   |                                 |                      |
|---|---------------------------------|----------------------|
| 3 | <i>Rhododendron ferrugineum</i> | - Rostrote Alpenrose |
|   | <i>Vaccinium myrtillus</i>      | - Heidelbeere        |
| 1 | <i>Festuca rubra</i>            | - Rotschwingel       |
|   | <i>Juniperus communis</i>       | - Wacholder          |
|   | <i>Rhododendron hirsutum</i>    | - Behaarte Alpenrose |
| + | <i>Agrostis tenuis</i>          | - Rotes Straußgras   |
|   | <i>Alopecurus pratensis</i>     | - Wiesenfuchsschwanz |
|   | <i>Athyrium filix-femina</i>    | - Wald-Frauenfarn    |
|   | <i>Avenella flexuosa</i>        | - Drahtschmiele      |
|   | <i>Blechnum spicant</i>         | - Rippenfarn         |
|   | <i>Hypericum montanum</i>       | - Berg-Johanniskraut |
|   | <i>Nardus stricta</i>           | - Bürstling          |
|   | <i>Phleum pratense</i>          | - Wiesen-Lieschgras  |
|   | <i>Rubus idaeus</i>             | - Himbeere           |
|   | <i>Senecio fuchsii</i>          | - Fuchsgreiskraut    |
|   | <i>Sesleria varia</i>           | - Kalkblaugras       |

\*=Deckungsgrad

##### Boden

**Bodentyp:** tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

**Humusform:** Mull

**Wasserhaushalt:** frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O<sub>1</sub>/O<sub>2</sub> 3 - 0 cm entspricht Parzelle 2

A<sub>h</sub> 0 - 8 cm schwach lehmiger Sand, kein Grobanteil, karbonatfrei, sehr stark durchwurzelt, scharf absetzend

B<sub>vg</sub> 8 - cm schwach lehmiger Sand, geringer Feingrusanteil, einzelne Konkretionen, keine Rostflecken, mittel durchwurzelt

Zusatz: fallweise in 55 cm eine B<sub>vg</sub>/B<sub>t</sub>-Schicht, mit tonigem Lehm als Bodenart. Insgesamt sind die Böden dieser Parzelle, speziell was die Textur im Unterboden betrifft, leichter als die der Parzelle 2.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.11:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

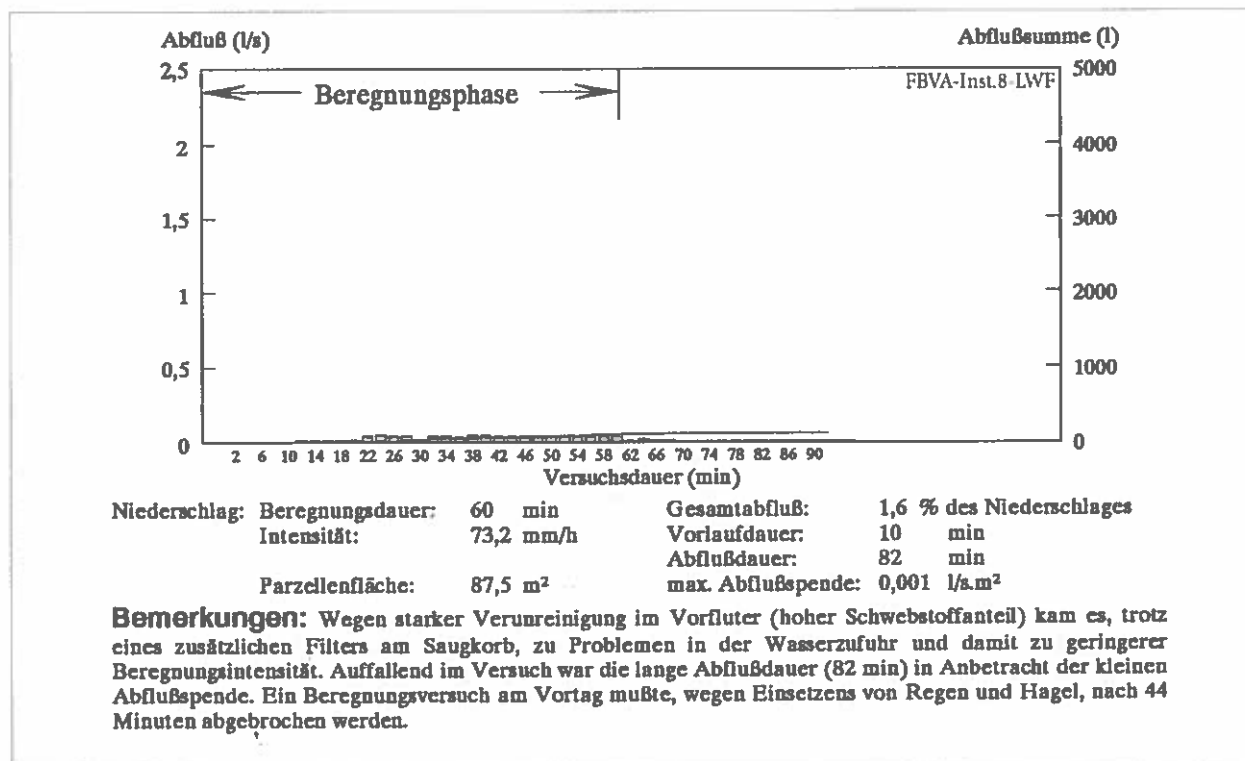


Abb. 4.12:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

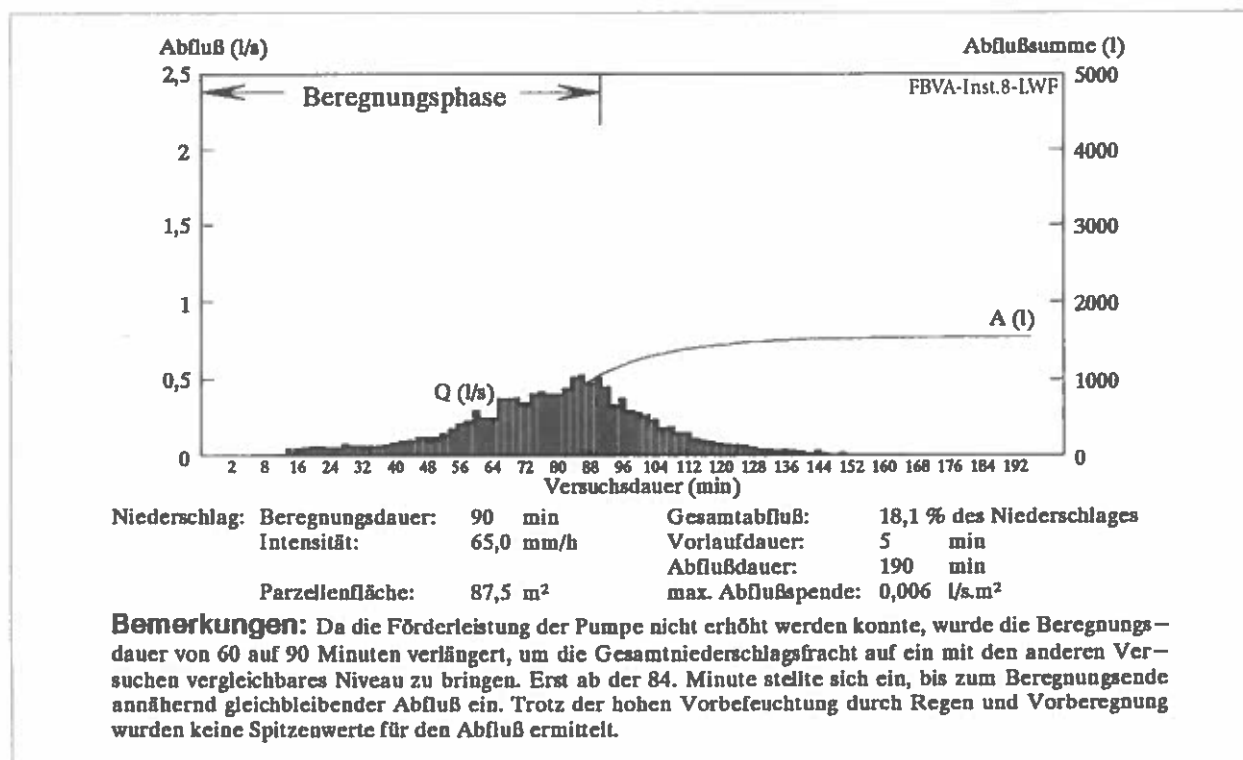


Abb. 4.13:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

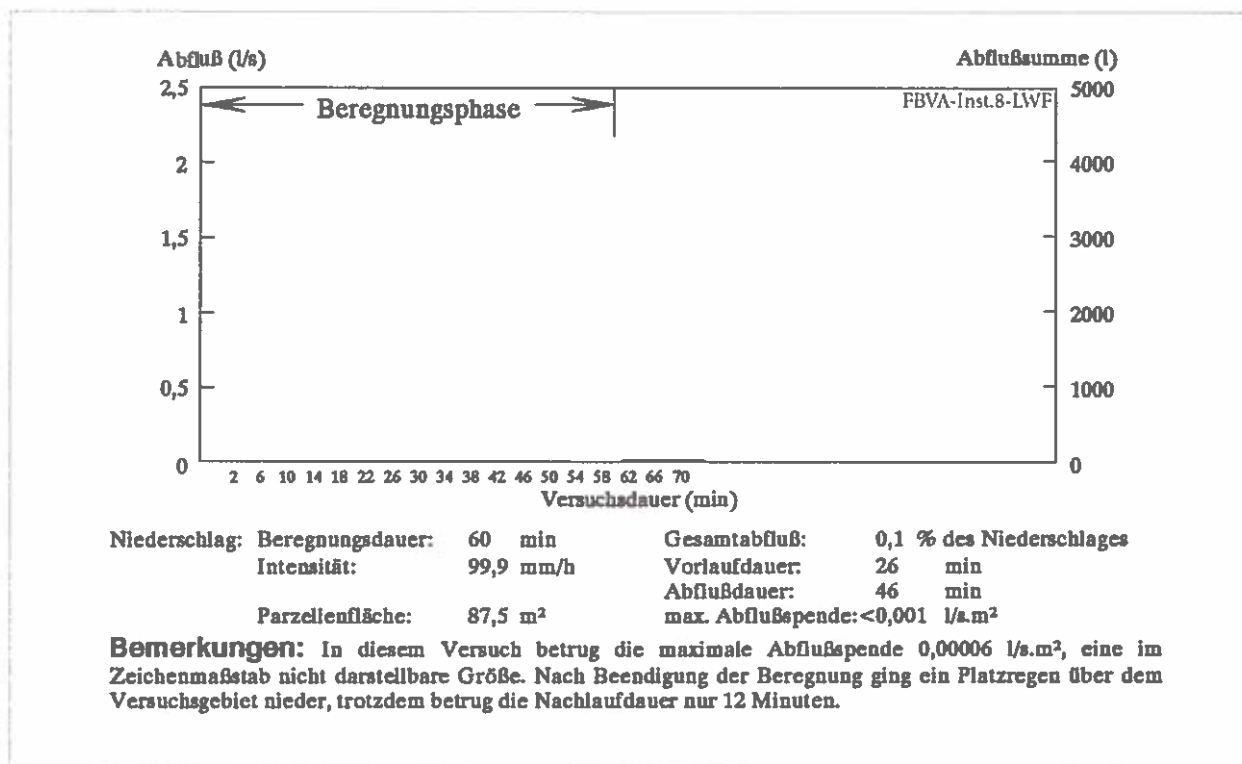
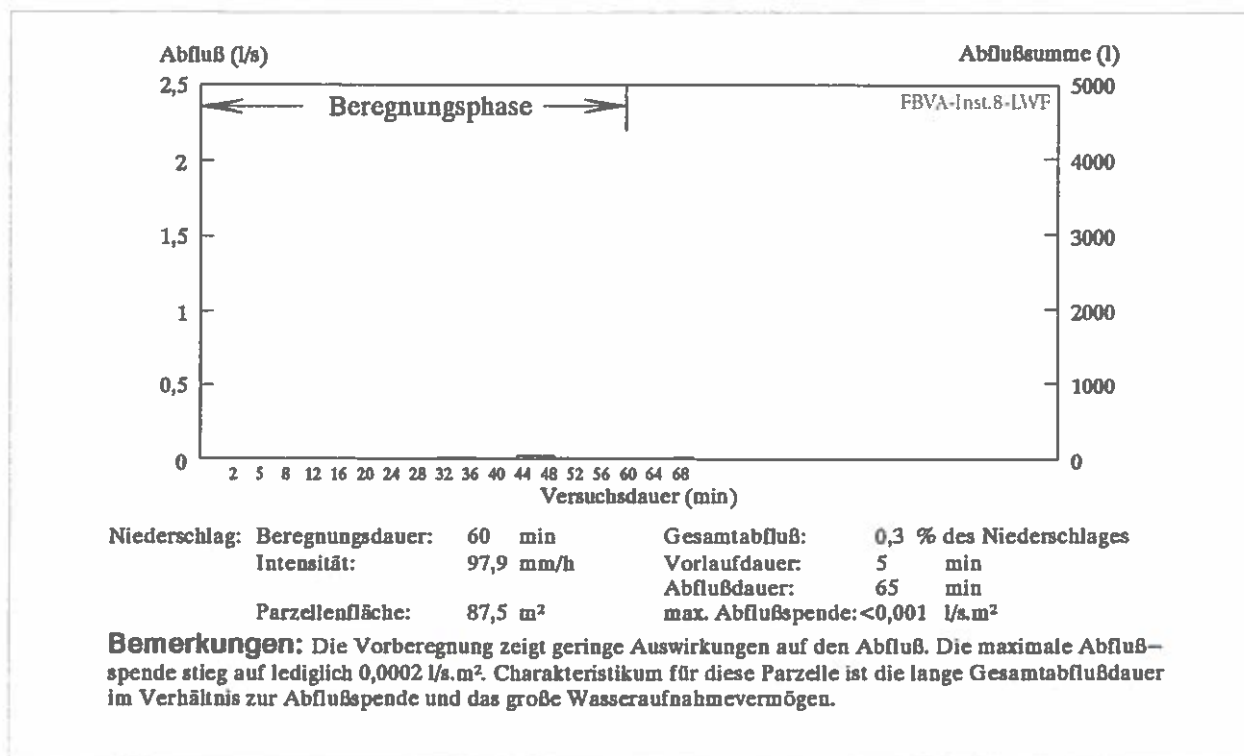


Abb. 4.14:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990





#### 4.2.4 Berechnungsfläche Nr. 4 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Diese Parzelle liegt auf einem Unterhang in einer Höhe von 1170 m. Sie ist nordexponiert und 35% geneigt. Das Kleinrelief ist ausgeglichener als das der Parzellen 5 und 6, hat jedoch unruhigen Charakter.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Abies alba - Weißtanne 0,6\* \*Baumartenanteil  
Picea abies - Fichte 0,4

Es handelt sich hierbei um ein lichtes, einschichtiges Baumholz. Der Bestockungsgrad liegt bei 0,6. Das Fichten-Altholz zeigt zum Teil eine sehr schöne, vollholzige Schaftform, ist jedoch bis zum Boden sehr stark beastet. Jüngere Bäume weisen Säbelwuchs auf. Fichten-Stangenholz mit einer Höhe von bis zu 8 m ist sehr vereinzelt vorhanden, davon sind jedoch 50% schon abgestorben. Strauchförmige Verjüngung der Baumarten kommt auf dieser Parzelle nicht vor, hingegen finden sich in der Krautschicht einige Keimlinge.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Schattenkräutertyp  
Begrünungsgrad: 10-20%

##### DG\* Pflanzenart

- |   |                           |   |                         |
|---|---------------------------|---|-------------------------|
| 1 | Anemone trifolia          | - | Dreiblatt-Weidenröschen |
|   | Oxalis acetosella         | - | Sauerklee               |
|   | Prenanthes purpurea       | - | Hasenlattich            |
|   | Sanicula europaea         | - | Sanikel                 |
| + | Aposeris foetida          | - | Hainsalat               |
|   | Athyrium filix-femina     | - | Wald-Frauenfarn         |
|   | Carex digitata            | - | Fingersegge             |
|   | Dentaria enneaphyllos     | - | Neunblatt-Zahnwurz      |
|   | Dicranella heteromalla    | - | Kleines Gabelzahnmoos   |
|   | Lamium galeobdolon        | - | Goldnessel              |
|   | Lycopodium annotinum      | - | Sprossender Bärlapp     |
|   | Plagiochila asplenioides  | - | Muschelmoos             |
|   | Polygonatum verticillatum | - | Quirlblättrige Weißwurz |
|   | Polytrichum formosum      | - | Bürstenmoos             |
|   | Pulmonaria officinalis    | - | Geflecktes Lungenkraut  |
|   | Viola biflora             | - | Gelbes Bergveilchen     |

\*=Deckungsgrad

##### Boden

Bodentyp: tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

Humusform: mullartiger Moder

Wasserhaushalt: (mäßig) frisch

Bodenhydrologische Verhältnisse: wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

- |                     |            |   |
|---------------------|------------|---|
| O <sub>1</sub>      | 3 - 2 cm   | Nadelstreu, locker, schwach durchwurzelt, abgegrenzt  |
| O <sub>r</sub>      | 2 - 1 cm   | Nadelreste, schichtig, sehr stark durchwurzelt, übergehend  |
| O <sub>h</sub>      | 1 - 0 cm   | bröckelig gelagerter Feinmoder, übergehend  |
| A <sub>h</sub>      | 0 - 10 cm  | schwach lehmiger Sand, geringer Fein-<br>grusanteil, karbonatfrei, stark durchwurzelt, scharf wellig absetzend              |
| B <sub>vg(g)1</sub> | 10 - 40 cm | Lehm, mäßiger Grobanteil (Fein-<br>und Mittelgrus), karbonatfrei, vereinzelte Konkretionen, mittel durchwurzelt, übergehend |
| B <sub>vg2</sub>    | 40 - cm    | Ton, geringer Grobanteil, karbonatfrei, mehrere Konkretionen, sehr schwach durchwurzelt                                     |

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.15:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

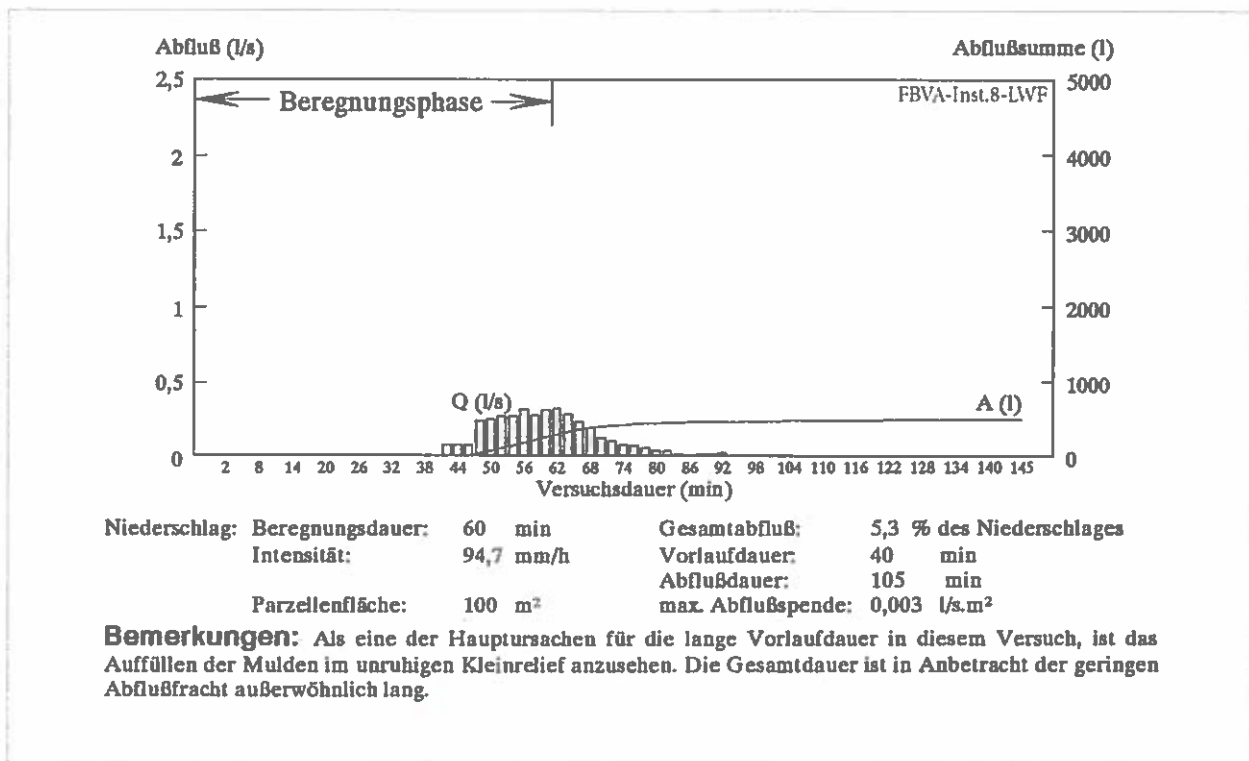


Abb. 4.16:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

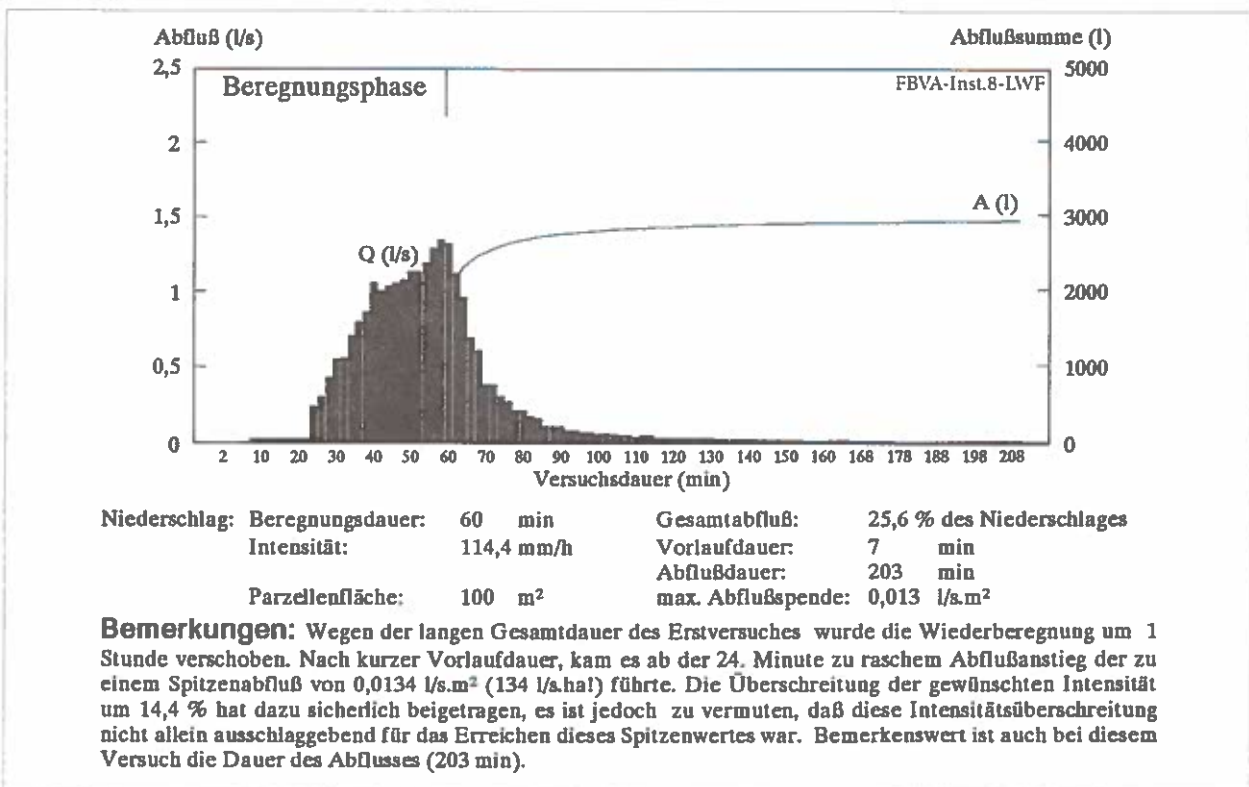


Abb. 4.17:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

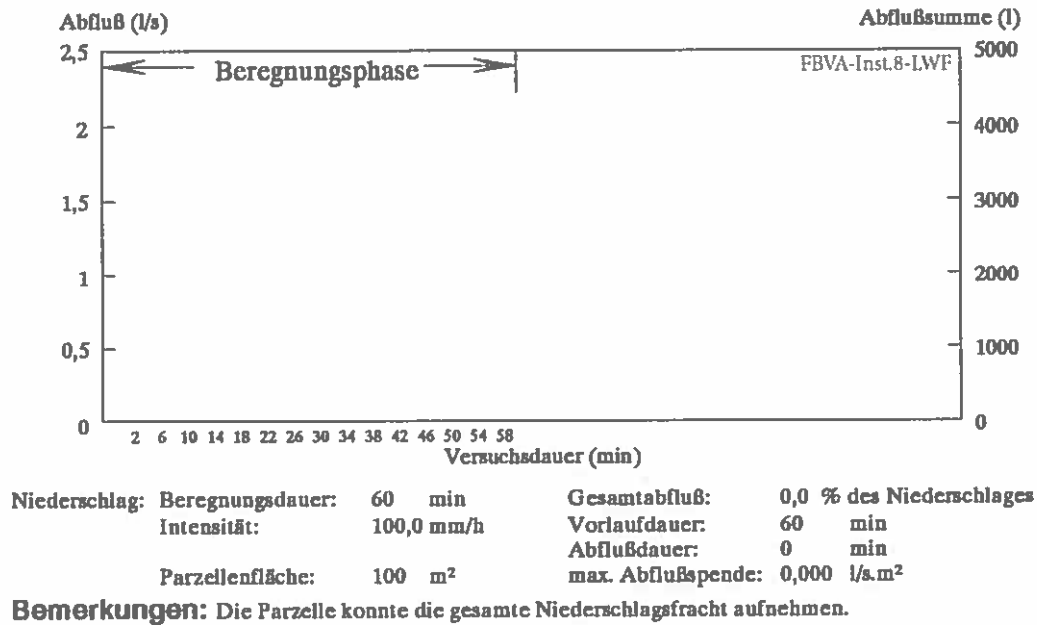
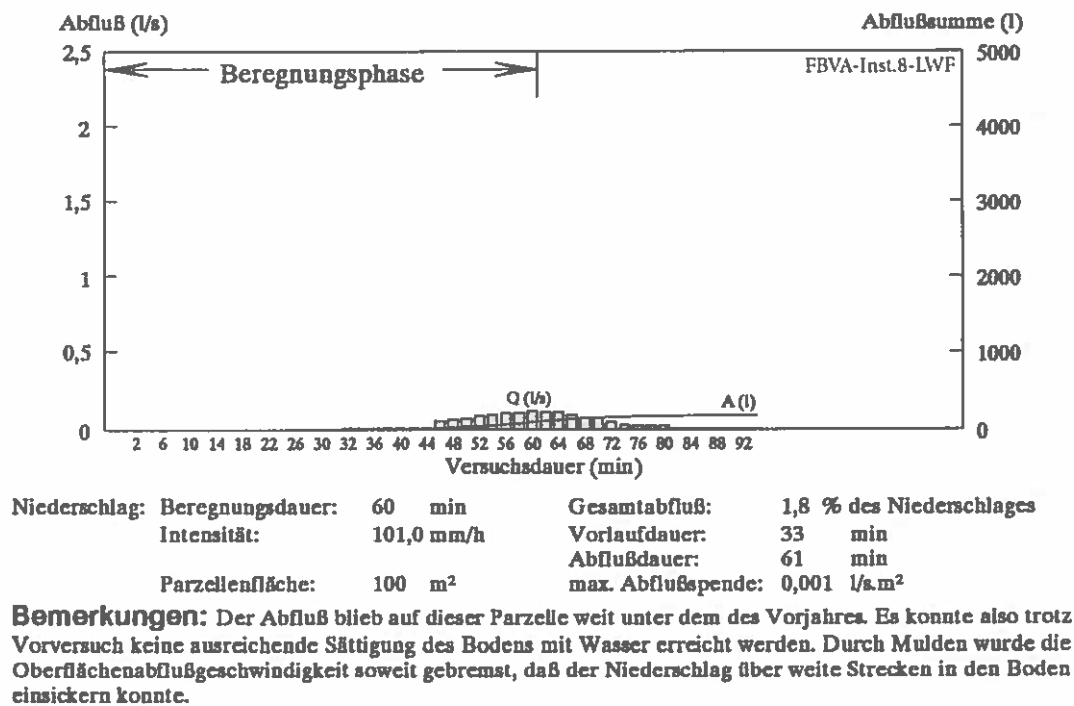


Abb. 4.18:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.5 Berechnungsfläche Nr. 5 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Die Exposition dieser Parzelle ist Nordnordost. Die Hangneigung beträgt 35%, die Seehöhe 1170 m. Das Kleinrelief ist sehr buckelig, jedoch nicht ganz so unruhig wie das der Parzelle 6. Bezüglich Wasserhaushalt und Gründigkeit gilt das bei Parzelle 4 Erwähnte.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Abies alba	- Weißtanne	0,3*	*Baumartenanteil
Picea abies	- Fichte	0,3	
Larix decidua	- Lärche	0,3	
Fagus silvatica	- Buche	0,1	

Im Gegensatz zu Parzelle 4 ist der Altbestand etwas geschlossener, der Beschirmungsgrad ist aber immer noch als locker zu bezeichnen. Nicht nur Keimpflanzen sondern auch Jungwuchs (ca. 1 m hoch) der o.a. Baumarten können vereinzelt festgestellt werden. Von den wenigen 6-7 m hohen Fichten ist ebenso wie auf Parzelle 4 die Hälfte bereits tot. Insgesamt muß der Bestand als einschichtig klassifiziert werden. Die Rutschbewegungen des Hanges werden durch den säbelwüchsigen Habitus der Bäume dokumentiert.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Schattenkräutertyp

Begrünungsgrad: 10-20%

##### DG\* Pflanzenart

1	Anemone trifolia	- Dreiblatt-Weidenröschen
	Aposeris foetida	- Hainsalat
	Dentaria enneaphyllos	- Neunblatt-Zahnwurz
	Dicranum scoparium	- Besenförmiges Gabelzahnmoos
	Lycopodium annotinum	- Sprossender Bärlapp
	Oxalis acetosella	- Sauerklee
	Prenanthes purpurea	- Hasenlattich
	Sanicula europaea	- Sanikel
+	Adenostyles alliariae	- Grauer Alpendost
	Athyrium filix-femina	- Wald-Frauenfarn
	Carex digitata	- Fingersegge
	Gymnocarpium dryopteris	- Eichenfarn
	Lamium galeobdolon	- Goldnessel
	Melica nutans	- Nickendes Perlgras
	Polygonatum verticillatum	- Quirlblättrige Weißwurz
	Salvia glutinosa	- Salbei
	Veronica urticifolia	- Nesselblättriger Ehrenpreis
	Viola biflora	- Gelbes Bergveilchen

\*=Deckungsgrad

Auch auf dieser Parzelle sind Anzeiger für eine eventuelle Degradation des Standortes zu finden (Lycopodium annotinum, Aposeris foetida, Dicranum scoparium).

##### Boden

**Bodentyp:** tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

**Humusform:** moderartiger Mull

**Wasserhaushalt:** mäßig frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O <sub>f</sub>	1,5 - 1,0 cm	Buchen-Fichten-Tannenstreu, Ästchen, locker, stark durchwurzelt
O <sub>g</sub>	1,0 - 0,5 cm	brechbar gelagerter Grobmoder, sehr stark durchwurzelt, übergehend
O <sub>h</sub>	0,5 - 0 cm	sehr stark durchwurzelt, übergehend
A <sub>h</sub>	0 - 8 cm	schwach lehmiger Sand, kein Grobanteil, karbonatfrei, mittel durchwurzelt, wellig absetzend
B <sub>v(g)</sub>	8 - cm	sandiger Lehm, mäßiger Grobanteil, karbonatfrei, einzelne Konkretionen, schwach durchwurzelt

Zusatz: Der B<sub>v(g)</sub>-Horizont ist stellenweise im Unterboden (ab 45-60 cm) dicht gelagert. Die Pseudogleyserscheinungen reichen nicht so weit in den Oberboden wie in Parzelle 4.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.19:

Abflußverhalten beim Versuch 1989

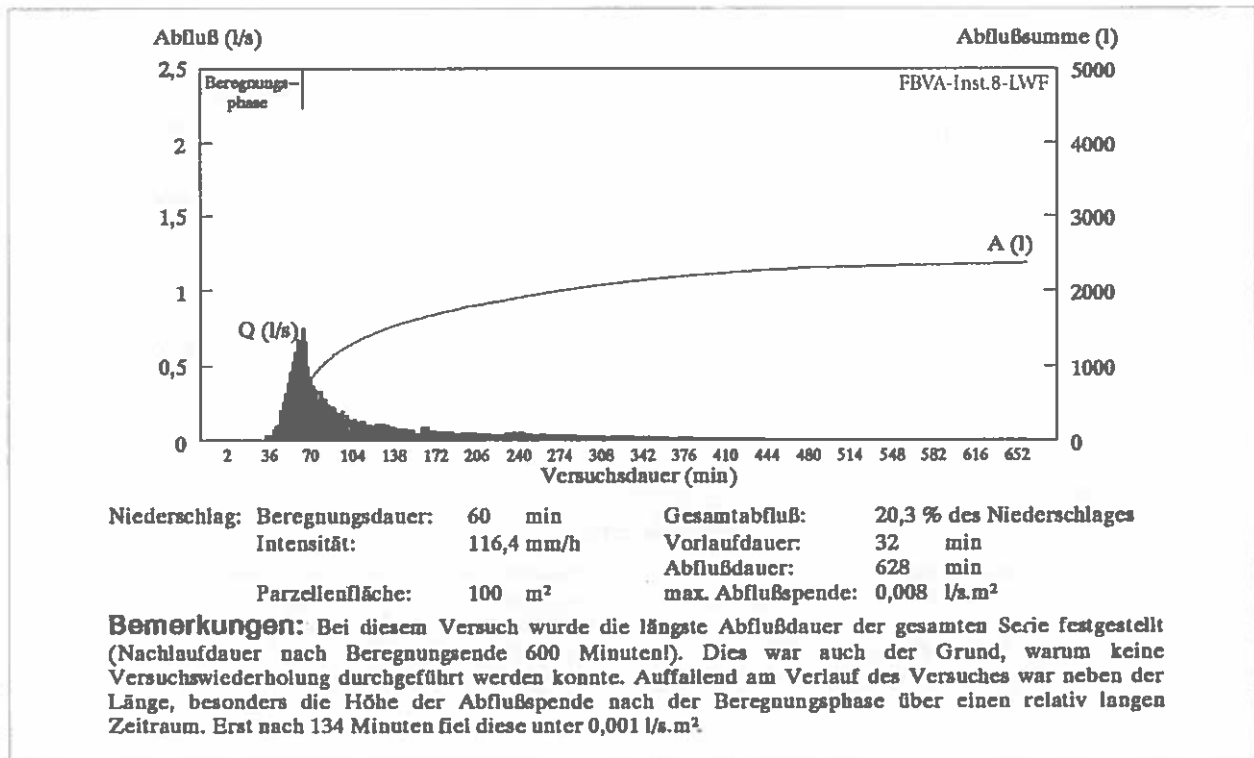


Abb. 4.20:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

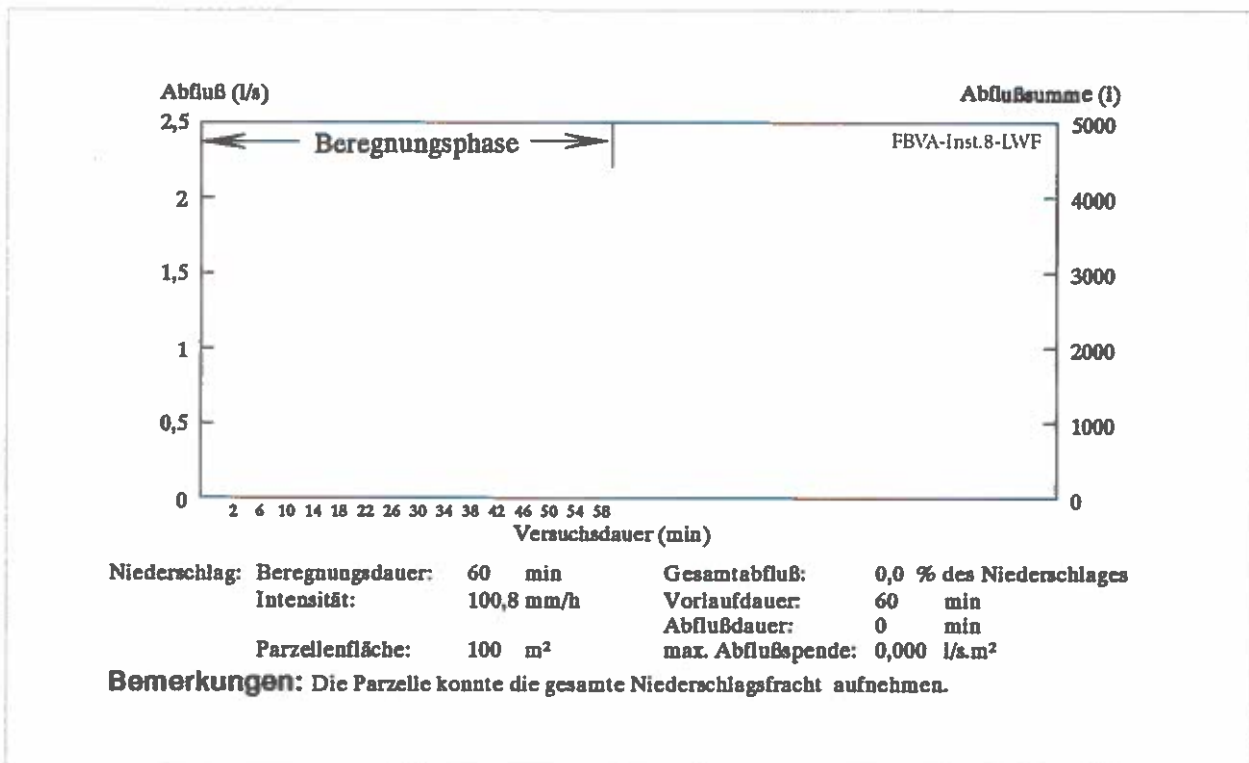
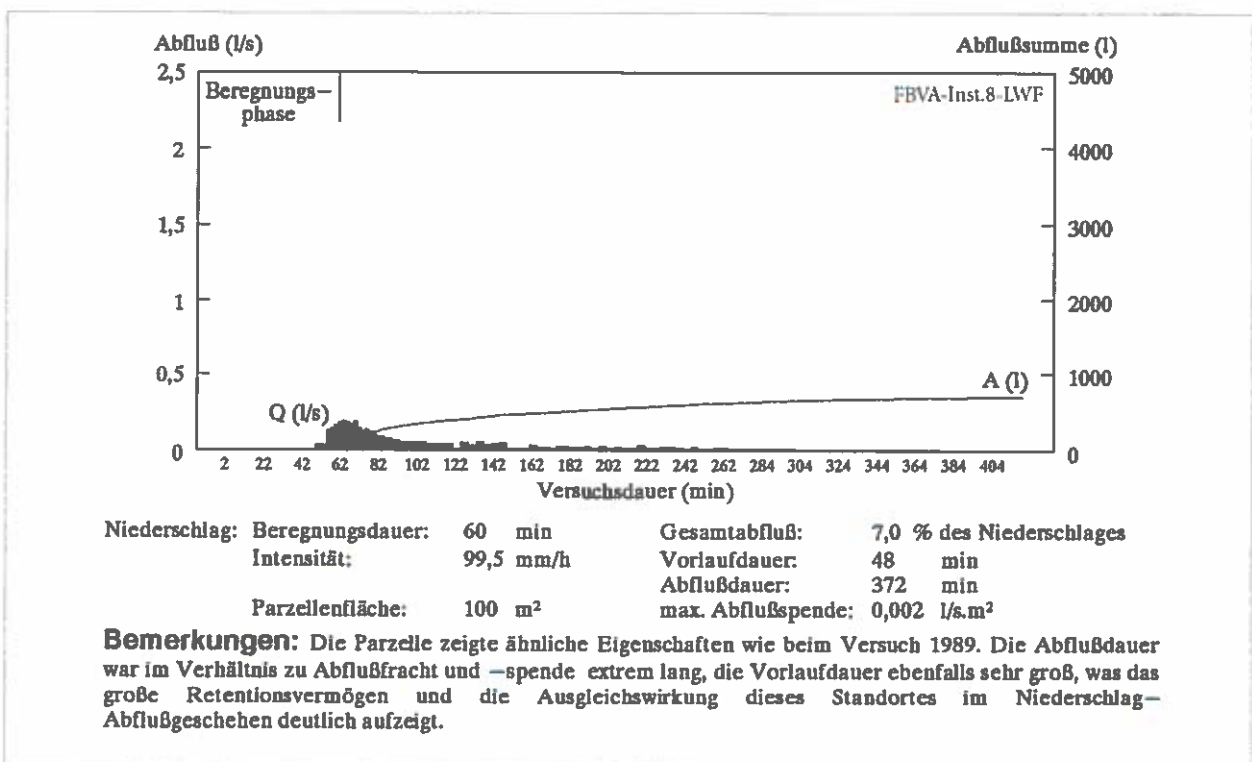


Abb. 4.21:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.6 Beregnungsfläche Nr. 6 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Bei einer Hangneigung von 41% liegt diese Versuchsfläche ostexponiert auf einer Seehöhe von 1165 m. Wie bei den vorher beschriebenen Parzellen 4 und 5 ist die Geländeform auch hier als Unterhang anzusprechen; Gründigkeit und Wasserhaushaltsstufe des Bodens sind ebenfalls unverändert. Das Kleinrelief ist das unruhigste aller bisher genannten Waldstandorte. Es ist durch zahlreiche Rutschbuckel geprägt. Neben dem vermehrten Auftreten von Jungwuchs (Buche, Fichte) ist auch der gegenüber den Parzellen 4 und 5 wesentlich höhere Begrünungsgrad für diese Probe- fläche kennzeichnend.

#### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Abies alba - Weißtanne 0,5\* \* Baumartenanteil  
Picea abies - Fichte 0,5

Die Bäume dieser Parzelle haben einen BHD bis zu 50 cm. Besonders diese starken Bäume besitzen deutliche Wurzelanläufe und sind stark astig. Im schwachen Baumholz ist ein hoher Anteil an Zwieseln festzustellen. Der Bestand ist als sehr licht bis räumdig einzustufen. Nur ca. 30-40% der Bodenoberfläche werden überschirmt. Im unteren Parzellenabschnitt zeigt sich zahlreiche Verjüngung (Fichte, Tanne und Buche) mit Höhen bis 0,5 m. Jungwuchs der genannten Baumarten kommt, verteilt auf die gesamte Beregnungsfläche auch schon vereinzelt bis zu einer Höhe von 3 m vor. Gerade an diesem zeigen sich die Rutschbewegungen des Hanges sehr deutlich: Der Säbelwuchs ist extrem stark, manche Bäumchen sind durch Entwurzelung schon abgestorben. Da man auf Grund der zahlreichen Verjüngung schon von einer Unterschicht sprechen kann, ist der Bestand auf diesem Flächen- teil nicht mehr einschichtig. Sein Bestockungsgrad liegt bei 0,5, in der Krautschicht finden sich Fichten- und Tannenkeimlinge.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Schattenkräutertyp  
Begrünungsgrad: 30%

##### DG\* Pflanzenart

2	Lycopodium annotinum	-	Sprossender Bärlapp
1	Mycelis muralis	-	Mauerlattich
	Oxalis acetosella	-	Sauerklee
	Sanicula europaea	-	Sanikel
	Vaccinium myrtillus	-	Heidelbeere
+	Adenostyles alliariae	-	Grauer Alpendost
	Anemone trifolia	-	Dreiblatt-Weideröschchen
	Athyrium filix-femina	-	Wald-Frauenfarn
	Circaea lutetiana	-	Hexenkraut
	Daphne mezereum	-	Seidelbast
	Gynnocarpium dryopteris	-	Eichenfarn
	Listera ovata	-	Großes Zweiblatt
	Melica nutans	-	Nickendes Perlgras
	Phalaris arundinacea	-	Rohrglanzgras
	Pulmonaria officinalis	-	Geflecktes Lungenkraut
	Rubus idaeus	-	Himbeere
	Senecio fuchsii	-	Fuchsgreiskraut

\*=Deckungsgrad

##### Boden

**Bodentyp:** tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

**Humusform:** moderartiger Mull

**Wasserhaushalt:** frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** ohne Angabe

##### Profilbeschreibung:

O <sub>1</sub>	2 - 1	cm	Nadelstreu, locker, mittel durchwurzelt
O <sub>1</sub> /O <sub>h</sub>	1 - 0	cm	Nadelmaterial, schichtig, mittel durchwurzelt, übergehend
A <sub>h</sub>	0 - 15	cm	schwach lehmiger Sand, geringer Fein- grusanteil, karbonatfrei, mittel durch- wurzelt, allmählich übergehend
B <sub>v(g)1</sub>	15 - 65	cm	stark lehmiger Sand, geringer Mittel- grusanteil, karbonatfrei, mitteldurch- wurzelt, übergehend
B <sub>vg2</sub>	65 -	cm	Lehm, geringer Mittelgrusanteil, kar- bonatfrei, mehrere Konkretionen, kohärent, schwach durchwurzelt

**Zusatz:** Der oberste humose Mineralbodenhorizont ist um einiges größer als in Parzelle 5 und der B<sub>vg</sub> bis in größere Tiefen locker gelagert.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.22:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

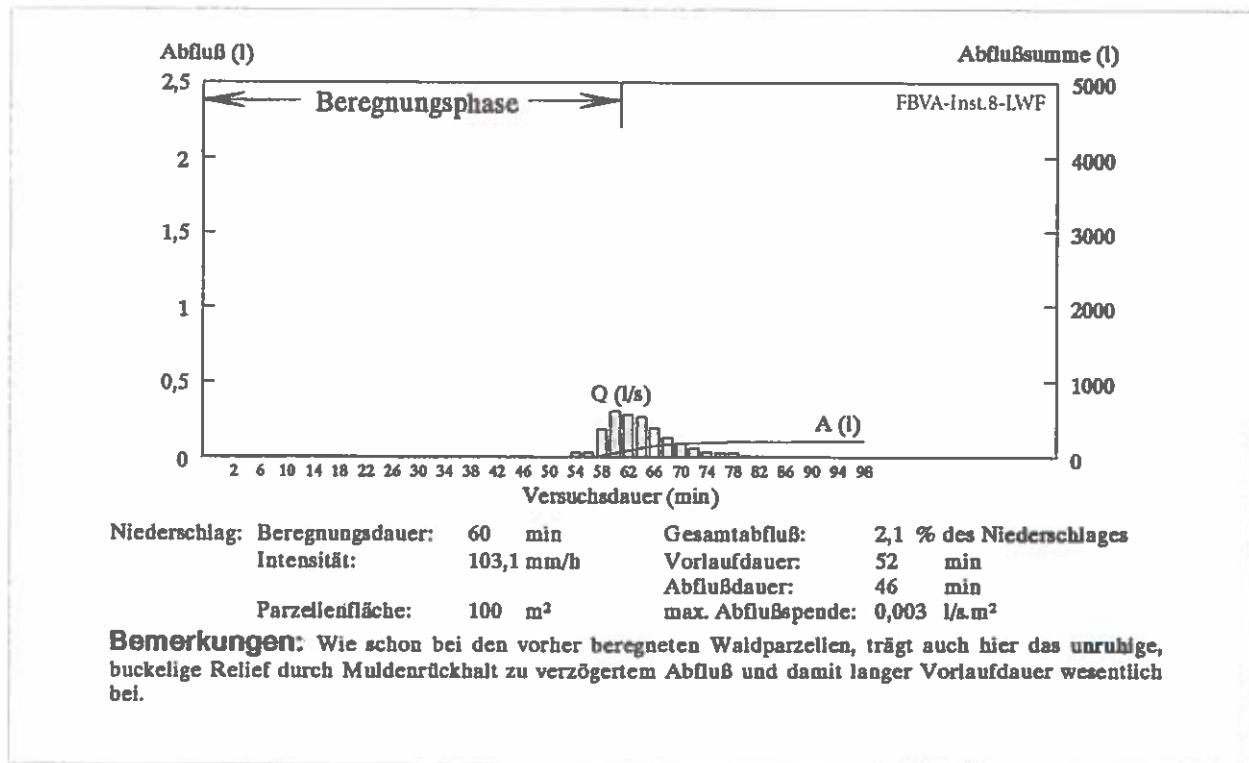


Abb. 4.23:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

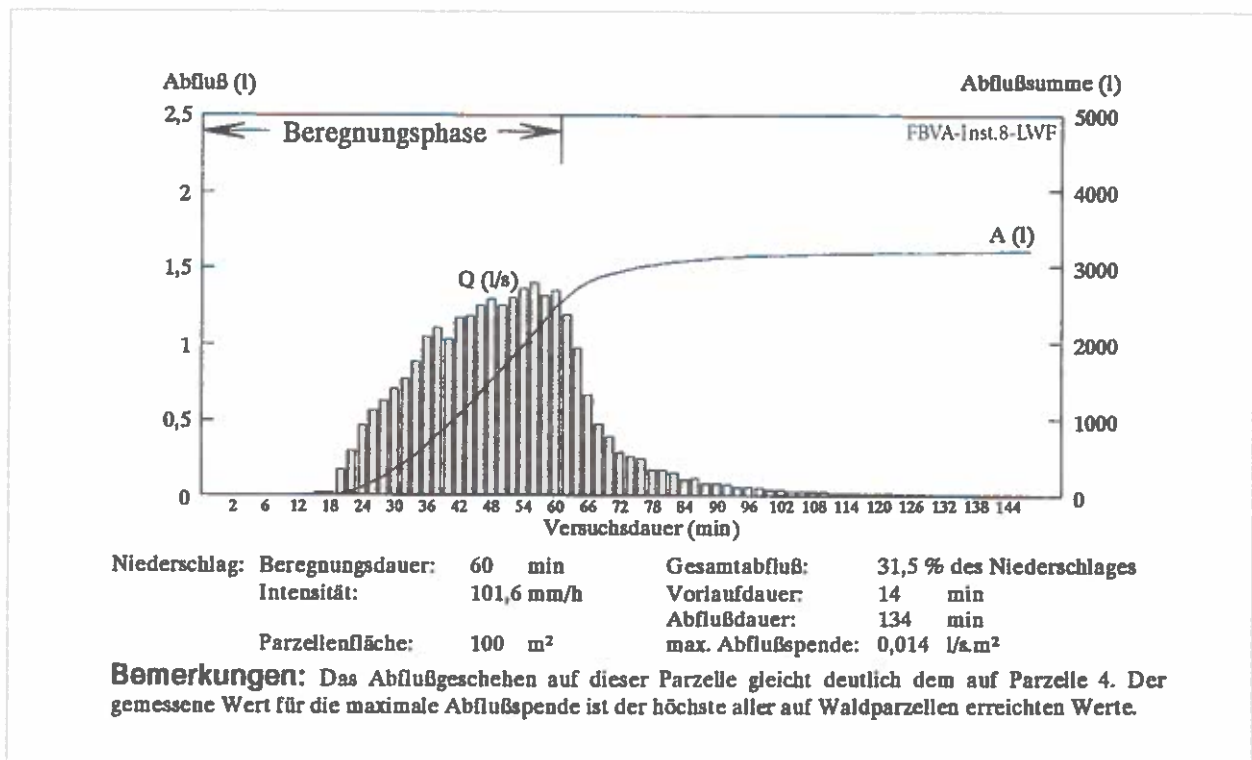




Abb. 4.24:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

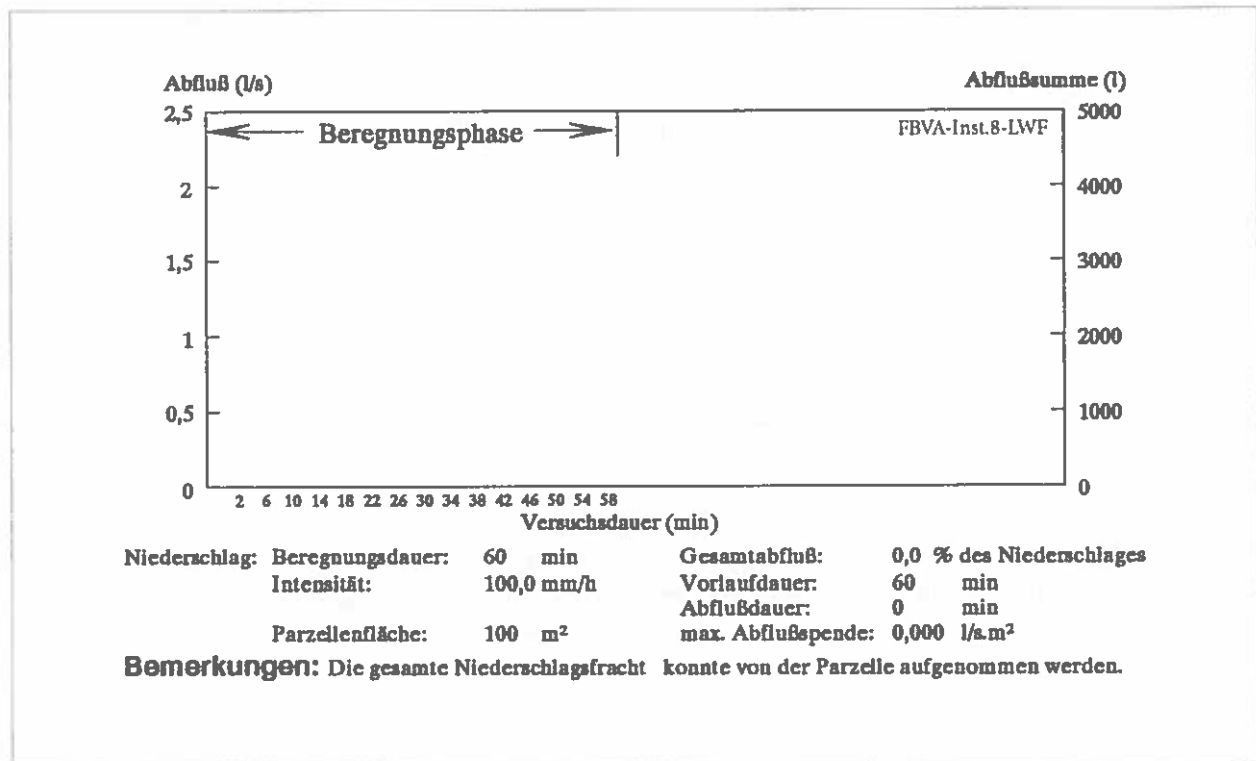
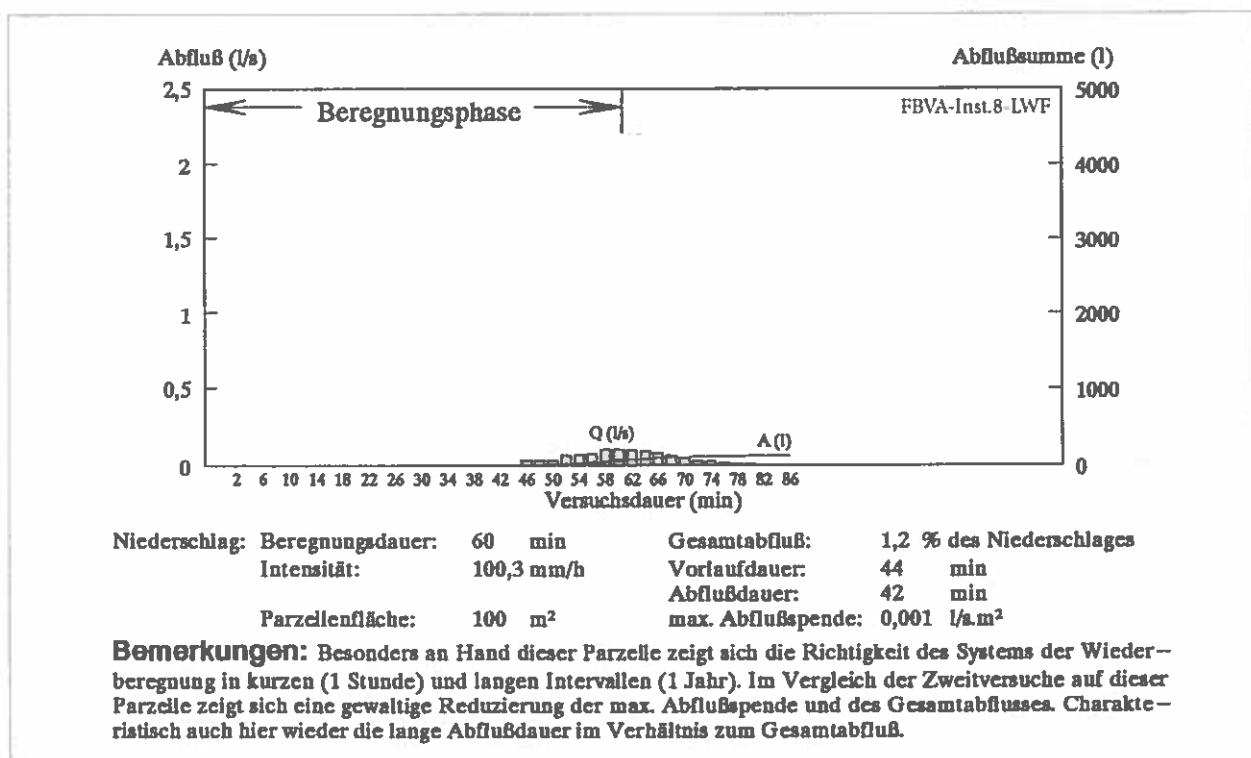


Abb. 4.25:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.7 Berechnungsfläche Nr. 7 (Tiefsubalpiner Pistenstandort)

##### Parzellensituation

Etwa 15 m südlich eines kleinen, ca. 30 cm tiefen, wasserführenden Grabens liegt auf 1545 Höhenmeter die Versuchsfläche 7. Sie weist ein Gefälle von 20% bei ausgeglichenem Kleinrelief auf. Die umgebende Geländeform ist ein ca. 300 m breiter Unterhang mit einer Vertikalerstreckung von ungefähr 80 m. Auf dieser Fläche liegen nur Steine, die im Gegensatz zur Parzelle 9 jedoch zumeist nicht frei aufliegen, sondern von der Bodenvegetation bewachsen sind. Auch wenige, bereits vermoderte und überwachsene Stöcke sind vorhanden. Zahlreiche Trittsiegel, in denen teilweise Wasser steht, dokumentieren die stark verminderte Einsickerungskapazität. Besonders der obere Parzellenbereich ist kleinflächig (auf ca. 2 m<sup>2</sup>) völlig vernäßt.

#### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

- A. *Baumvegetation*: keine  
 B. *Bodenvegetation*:  
     Vegetationstyp: beweideter Pistenrasen  
     Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

- |   |                               |   |                        |
|---|-------------------------------|---|------------------------|
| 3 | <i>Deschampsia cespitosa</i>  | - | Rasenschmiele          |
|   | <i>Trifolium repens</i>       | - | Weißklee               |
| 2 | <i>Alchemilla vulgaris</i>    | - | Frauenmantel           |
| 1 | <i>Agrostis tenuis</i>        | - | Rotes Straußgras       |
|   | <i>Alopecurus geniculatus</i> | - | Geknieter Fuchsschwanz |
|   | <i>Avenella flexuosa</i>      | - | Drahtschmiele          |
| + | <i>Achillea millefolium</i>   | - | Schafgarbe             |
|   | <i>Leontodon spc.</i>         | - | Löwenzahn              |
|   | <i>Phleum pratense</i>        | - | Wiesen-Lieschgras      |
|   | <i>Plantago major</i>         | - | Breit-Wegerich         |
|   | <i>Ranunculus acris</i>       | - | Scharfer Hahnenfuß     |

\*=Deckungsgrad

Der Anteil der horstwüchsigen Gräser ist geringer als auf Parzelle 11.

##### Boden

*Bodentyp*: mittelgründiger Gley  
*Humusform*: Mull  
*Wasserhaushalt*: feucht  
*Bodenhydrologische Verhältnisse*: ohne Angabe

##### Profilbeschreibung:

O <sub>1</sub> /O <sub>2</sub>	1 - 0 cm	Graswurzelfilz, kompakt
A <sub>(g)</sub>	0 - 8 cm	sandiger Lehm, kein Grobanteil, karbonatfrei, sehr stark durchwurzelt, übergehend
G <sub>0</sub> /G <sub>1</sub>	8 - 30 cm	sandiger Lehm, kaum Grobanteil, karbonatfrei, prismatisch-scharfkantig, mehrere Rost-, viele Bleichflecken
G <sub>0</sub> /G <sub>2</sub>	30 - 60 cm	toniger Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, sehr dicht, viele Rost- und Bleichflecken, nicht durchwurzelt

Zusatz: Diese Zweiteilung des G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub>-Horizontes ist jedoch nicht überall auf der Parzelle vorhanden. Es gibt auch Bereiche, in denen diese Schicht bei wesentlich geringerer Dichtlagerung und Bodenart "stark-lehmiger" Sand, einheitliches Aussehen bis in eine Tiefe von 70 cm zeigt.

Im obersten Parzellenbereich ist der Boden derart vernäßt, daß die Bodenproben beim Herausziehen tropften. Hier schließt unmittelbar an den A<sub>g</sub>-Horizont eine durchgehend grau gefärbte G<sub>1</sub>-Schicht an. Der Bodentyp entspricht hier einem Naßgley, die Humusform Feuchtmull.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.26:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

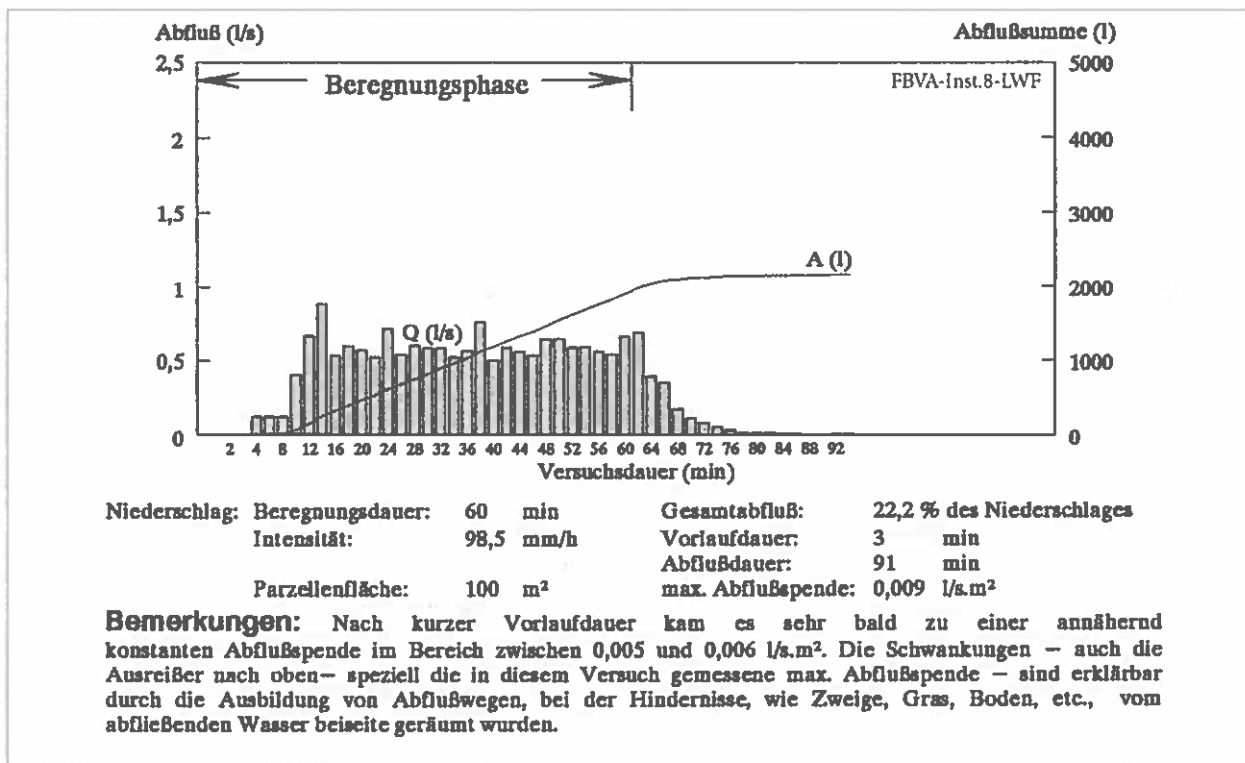


Abb. 4.27:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

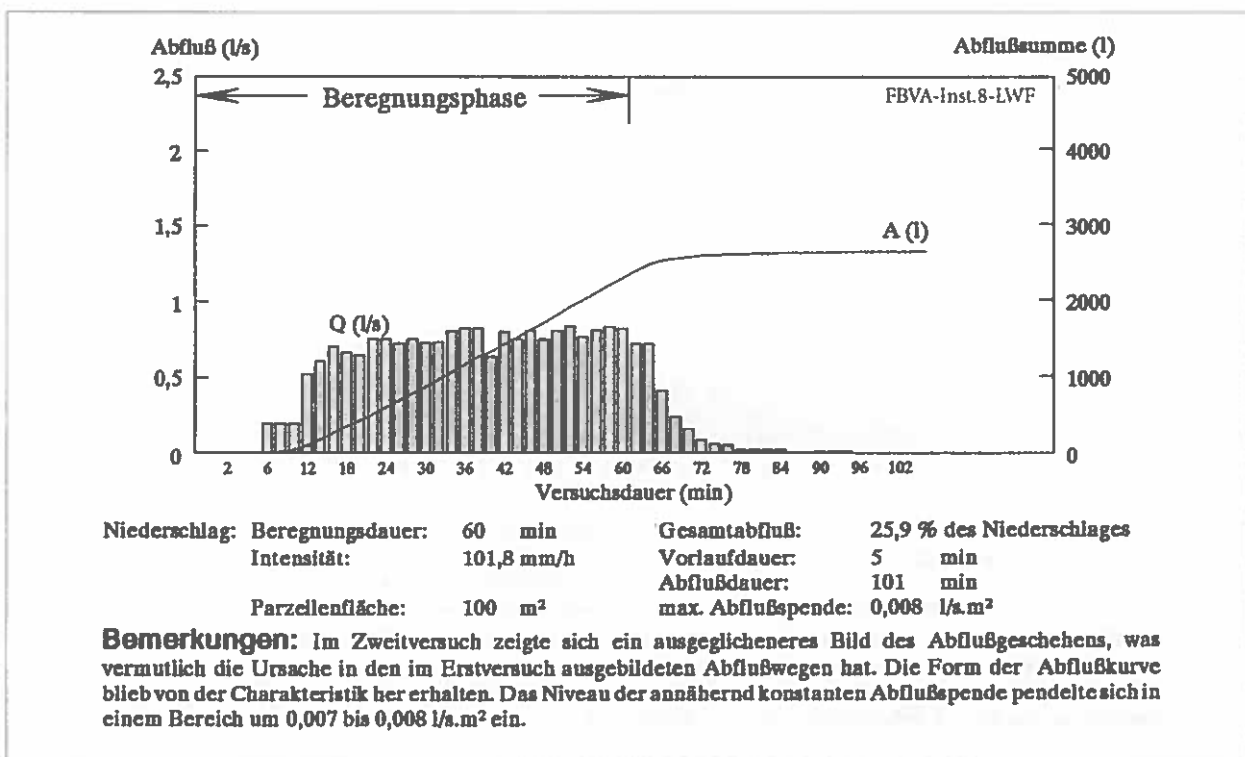


Abb. 4.28:

## Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

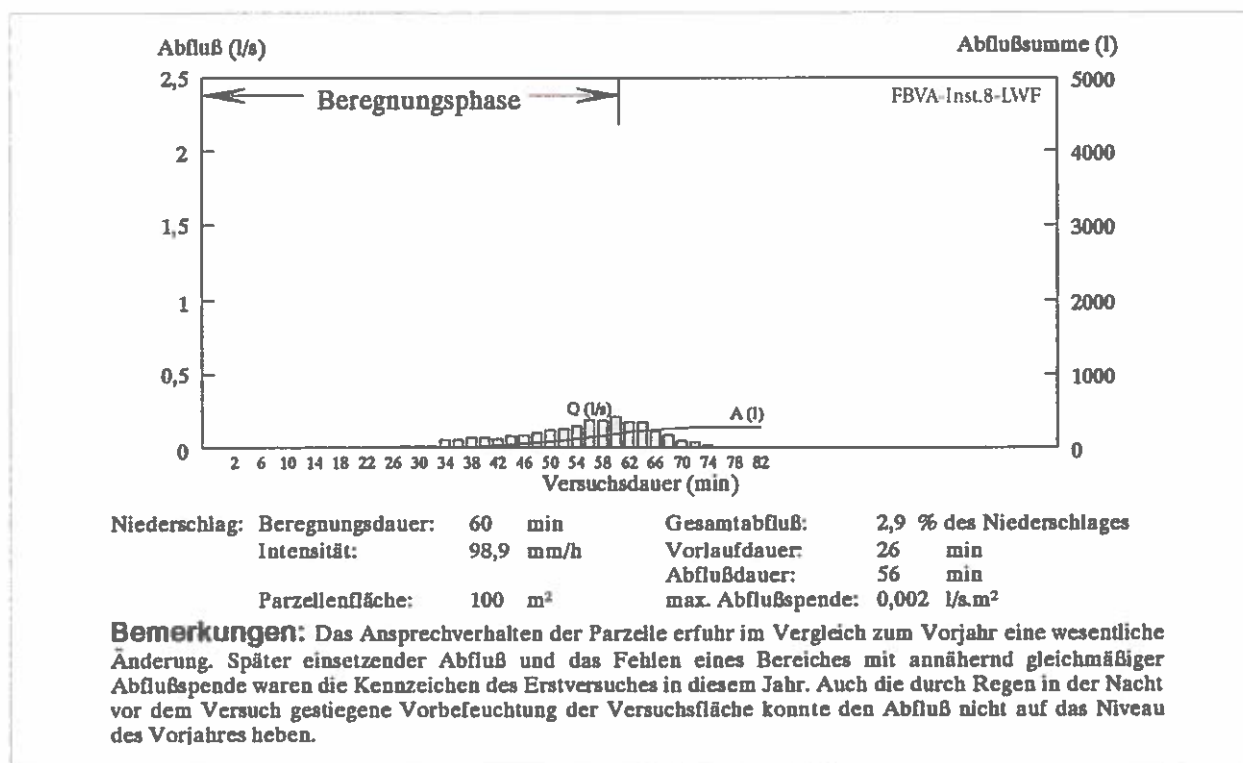
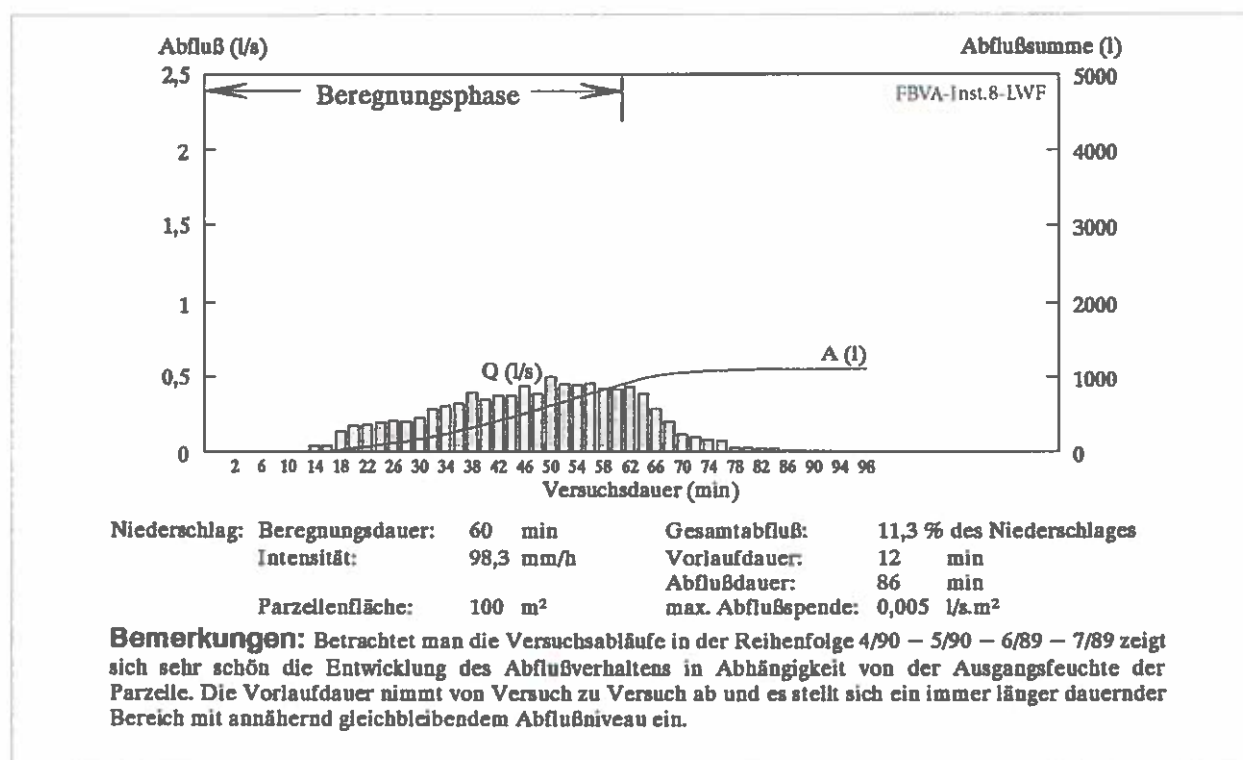


Abb. 4.29:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.8 Berechnungsfläche Nr. 8 (Tiefsubalpiner Pistenstandort)

##### Parzellensituation

Lediglich um ca. einen Höhenmeter tiefer als Parzelle 7 liegt auf demselben Unterhangabschnitt die Berechnungsparzelle 8. Sie ist jedoch südost exponiert und 22% geneigt. Hinsichtlich des Kleinreliefs sind keine Unterschiede zu voriger Parzelle festzustellen. Während jedoch dort die am stärksten vernäbten Bereiche im oberen Parzellenabschnitt liegen, sind auf dieser Fläche die am meisten wasserübersättigten Stellen (ca. 5 m<sup>2</sup>) im untersten Parzellenteil. Direkt dort anschließend kommt es zum Austritt von Hangwasser. Es bildete sich dadurch ein kleiner, ca. 20-30 cm breiter und 15 cm tiefer Graben, dessen Wasser den unterhalb der Parzelle liegenden, beschotterten Weg nach Sonneleitn überfließt und den Hang darunter erodiert.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

- A. *Baumvegetation*: keine  
 B. *Bodenvegetation*:  
     Vegetationstyp: beweideter Pistenrasen  
     Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

- |   |                                |   |                        |
|---|--------------------------------|---|------------------------|
| 3 | <i>Deschampsia cespitosa</i>   | - | Rasenschmiele          |
| 2 | <i>Alchemilla vulgaris</i>     | - | Frauenmantel           |
|   | <i>Avenella flexuosa</i>       | - | Drahtschmiele          |
|   | <i>Trifolium repens</i>        | - | Weißklee               |
| 1 | <i>Festuca rubra</i>           | - | Rotschwingel           |
|   | <i>Ranunculus acris</i>        | - | Scharfer Hahnenfuß     |
| + | <i>Brachythecium rutabulum</i> | - | Gewöhnliches Kegelmoos |
|   | <i>Cerastium holosteoides</i>  | - | Gewöhnliches Hornkraut |
|   | <i>Leontodon spc.</i>          | - | Löwenzahn              |
|   | <i>Phleum pratense</i>         | - | Wiesen-Lieschgras      |
|   | <i>Plantago major</i>          | - | Breit-Wegerich         |

\*=Deckungsgrad

##### Boden

*Bodentyp*: mittelgründiger Gley  
*Humusform*: Mull  
*Wasserhaushalt*: feucht  
*Bodenhydrologische Verhältnisse*: wechselfeucht mit überwiegen der Naßphase

##### Profilbeschreibung:

O <sub>1</sub> /O <sub>2</sub>	1 - 0 cm	Graswurzelfilz, kompakt
A <sub>1(g)</sub>	0 - 8 cm	sandiger Lehm, kein Grobanteil, karbonatfrei, sehr stark durchwurzelt, wellig absetzend
G <sub>0</sub>	8 - 65 cm	Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, intensiv rot gefärbt, sehr viele Rostflecken, infiltrierte Humusstoffe, mittel durchwurzelt, gerade absetzend
G <sub>r</sub>	65 - 75 cm	Lehm, geringer Fein- und Mittelgrusanteil, karbonatfrei, kohärent, mehrere Rost- und Bleichflecken, nicht durchwurzelt

Zusatz: Die Mächtigkeit des G<sub>0</sub>-Horizontes schwankt zwischen 15 und 60 cm, stellenweise zeigt er prismatisch-scharfkantige Struktur. Die in der Profilbeschreibung angeführte intensive Rotfärbung ist nicht auf der ganzen Versuchsfläche vorhanden.

Die Beschreibung der vollkommen vernäbten Abschnitte im untersten Parzellenbereich deckt sich mit der der vernäbten Bereiche in Parzelle 7.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.30:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

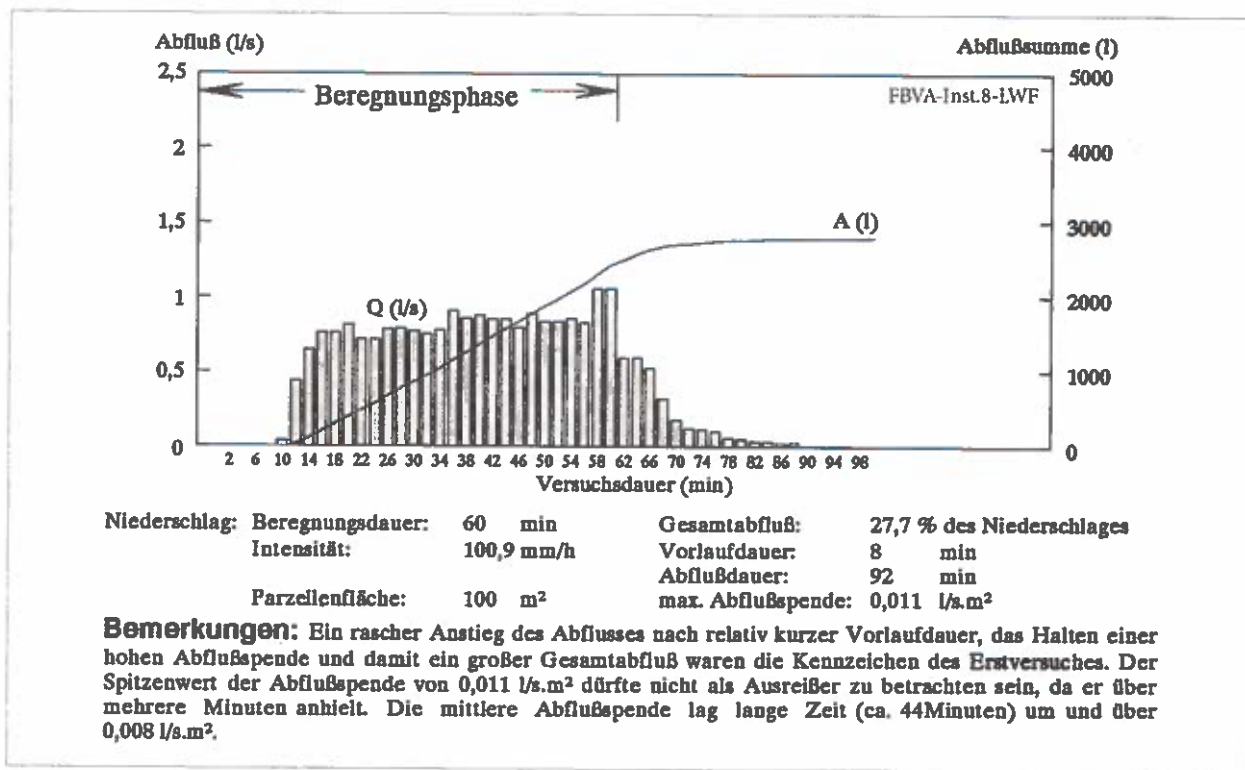


Abb. 4.31:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

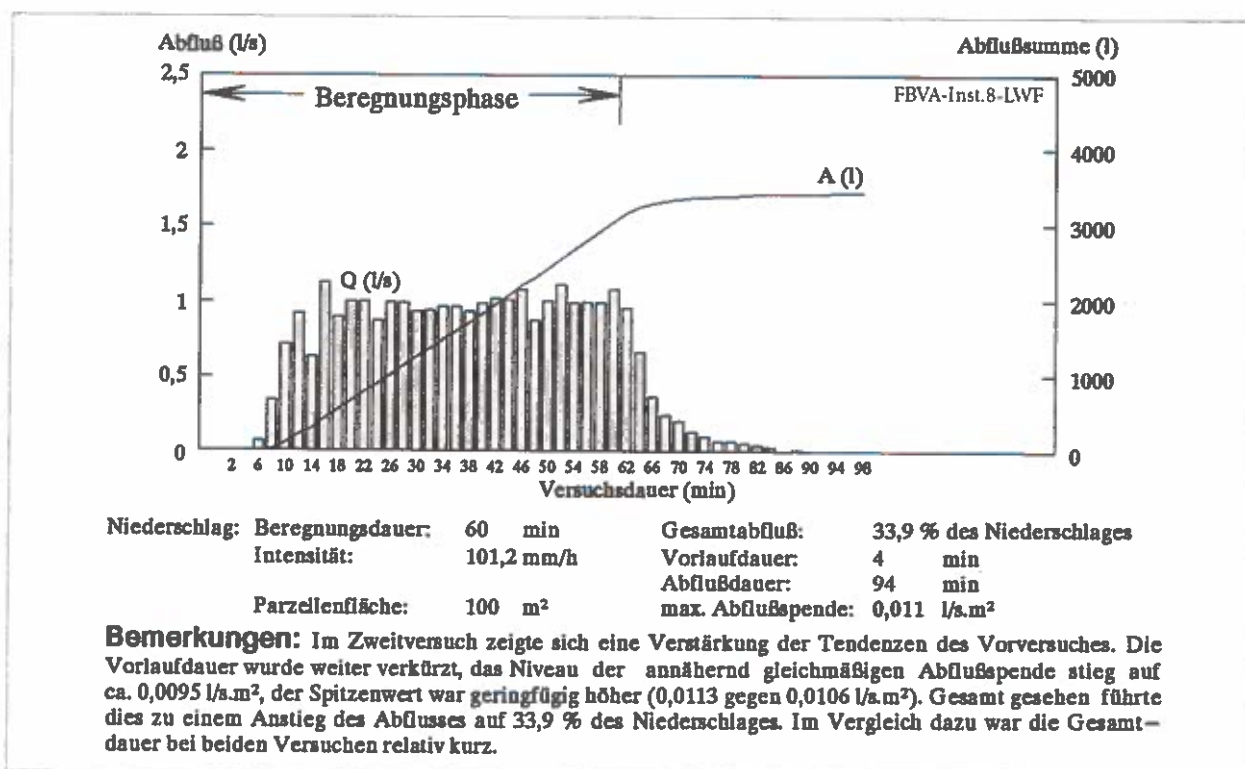
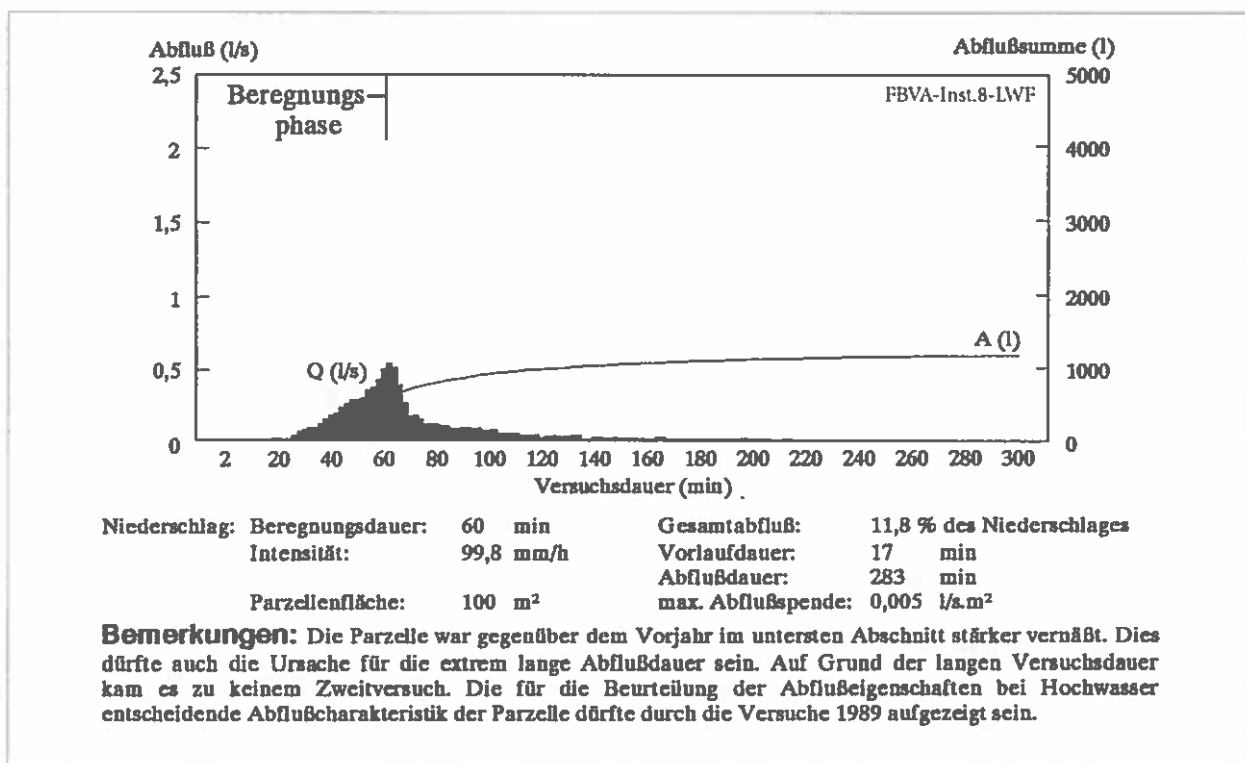


Abb. 4.32:

## Abflußverhalten beim Versuch 1990



#### 4.2.9 Beregnungsfläche Nr. 9 (Tiefsubalpiner Pistenstandort)

##### Parzellensituation

Diese Parzelle liegt westlich der Forststraße zur Rudnigalm an einem schmalen Unterhang auf ca. 1555 m. Sie ist ostexponiert und mit 32% Hangneigung die steilste Pistenparzelle. Das Kleinrelief ist ausgeglichen, auf ca. 1% der Fläche liegt loses Steinmaterial auf. Besonders im oberen Parzellenteil gibt es sehr starke Weidetrittschäden; auch kleine "Anbrüche" von bis zu 15 cm Höhe sind zu sehen.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

A. Baumvegetation: keine

B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: beweideter Pistenrasen

Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

3	Deschampsia cespitosa	-	Rasenschmiele
	Trifolium pratense	-	Wiesenklee
	Trifolium repens	-	Weißklee
1	Achillea millefolium	-	Schafgarbe
	Agrostis tenuis	-	Rotes Straußgras
	Geum rivale	-	Bach-Nelkenwurz
	Phleum pratense	-	Wiesen-Lieschgras
	Plantago major	-	Breit-Wegerich
	Ranunculus acris	-	Scharfer Hahnenfuß
+	Alchemilla vulgaris	-	Frauenmantel
	Alopecurus geniculatus	-	Geknieter Fuchsschwanz
	Alopecurus pratensis	-	Wiesenfuchsschwanz
	Knautia spc.	-	Knautie
	Leontodon spc.	-	Löwenzahn
	Lolium perenne	-	Englisches Raygras
	Plantago media	-	Mittlerer Wegerich
	Tussilago farfara	-	Huflattich

\*=Deckungsgrad

### Boden

Die Böden dieser Parzelle weisen kleinflächig starke Unterschiede auf, gemeinsam ist ihnen jedoch die starke Wasserbeeinflussung. Als Sammelbegriff zur Kennzeichnung der typischen Merkmale wäre am ehesten der Bodentyp "Gleyähnlicher Kalksteinlehm" geeignet.

Die Humusform kann mit "Mull" grob umrissen werden, wobei die ca. 1,5 cm dicke Humusschicht, die aus sehr kompaktem Graswurzelfilz besteht, stellenweise auch schon unter dauerndem Wassereinfluß steht und dort deshalb schmierig ist. An diesen Stellen kann man die Humusform als semiterrestrisch ansprechen, sie erhält dann die Bezeichnung Feuchtmull.

Eine Beschreibung der 3 für die Parzelle charakteristischen Bodenprofile soll die Verschiedenartigkeit der Böden verdeutlichen.

#### Bodenprofil 1:

**Bodentyp:** tiefgründiger Kalksteinlehm mit begrabenem A-Horizont  
**Humusform:** Mull  
**Wasserhaushalt:** sehr frisch  
**Bodenhydrologische Verhältnisse:** Stauwasser, überwiegen der Naßphase

#### Profilbeschreibung:

O <sub>f</sub> /O <sub>t</sub>	1,5 - 0	cm	Graswurzelfilz, kompakt
A <sub>inf</sub>	0 - 5	cm	sandiger Lehm, kein Grobanteil, karbonatfrei, sehr stark durchwurzelt, scharf gerade absetzend
B <sub>vg1</sub>	5 - 12	cm	schwach lehmiger Sand, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, einzelne undeutliche abgegrenzte Rostflecken, stark durchwurzelt, scharf gerade absetzend
A <sub>h begr</sub>	12 - 15	cm	sandiger Lehm, kein Grobanteil, karbonatfrei, vollkommen schwarz, locker, sehr stark durchwurzelt, scharf gerade absetzend
B <sub>vg2</sub>	15 - 55	cm	Lehm, hoher Mittelgrusanteil, karbonatfrei, intensiv rot gefärbt, viele Rostflecken, auf ca. 5% der Fläche gut sichtbare Humusstoffe, Struktur nach unten zu immer dichter werdend, mittel durchwurzelt, allmählich übergehend
B <sub>vg3</sub>	55 - 90	cm	Lehm, mäßiger Mittelgrusanteil, karbonatfrei, nicht so intensiv rot gefärbt, in geringerem Ausmaß humusfleckig, massig-dicht, schwach durchwurzelt

**Zusatz:** Die im B<sub>vg2</sub>- und B<sub>vg3</sub>-Horizont angetroffenen Humusstoffe sind wahrscheinlich durch Bodenbearbeitung (Pistenanlage) eingebracht worden.

#### Bodenprofil 2:

**Bodentyp:** tiefgründiger Gley  
**Humusform:** Feuchtmull  
**Wasserhaushalt:** naß  
**Bodenhydrologische Verhältnisse:** Stauwasser, überwiegen der Naßphase

#### Profilbeschreibung:

O <sub>f</sub> /O <sub>t</sub>	1,5 - 0	cm	Graswurzelfilz, kompakt, schmierig, semiterrestrisch, übergehend
A <sub>inf</sub>	0 - 10	cm	mäßiger Mittelgrusanteil, karbonathaltig, einzelne undeutlich abgegrenzte Rostflecken, massig dicht, Wurzelfilz, absetzend
G <sub>o</sub>	10 - 25/30	cm	hoher Mittelgrusanteil, karbonatfrei, viele deutliche abgegrenzte Rostflecken, einzelne Bleichflecken, mittel durchwurzelt, absetzend
G <sub>r</sub>	25/30 - 90	cm	hoher Mittelgrusanteil, karbonatfrei, viele Bleichflecken, einzelne Rostflecken, nicht durchwurzelt

**Zusatz:** Die Bodenart der einzelnen Horizonte konnte auf Grund der großen Nässe der Bodenproben nicht ermittelt werden. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß die am stärksten vernässten Bereiche, bei denen bei bloßem Betreten - trotz einer niederschlagsfreien Periode von knapp einer Woche - Wasser hervorquillt, gar nicht im Bereich der Parzellen 9 und 10, sondern vielmehr zwischen diesen liegen. Die bodenhydrologischen Verhältnisse dieses Unterhanges in seiner Gesamtheit müssen daher wahrscheinlich als noch ungünstiger als die der darauf befindlichen Versuchsflächen eingestuft werden.



**Bodenprofil 3:**

**Bodentyp:** tiefgründiger Kalksteinlehm mit Gleycharakter

**Humusform:** Mull

**Wasserhaushalt:** frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** Stauwasser, überwiegen der Naßphase

$B_{vg2}$	19 - 27 cm	hoher Fein-, geringer Mittelgrusanteil, karbonatfrei, prismatisch-scharfkantig, mehrere undeutlich abgegrenzte Bleichflecken, mittel durchwurzelt, scharf wellig absetzend
$B_{vg3}$	27 - 70 cm	Lehm, mäßiger Feingrusanteil, karbonatfrei, mehrere deutlich abgegrenzte Rostflecken, prismatisch-scharfkantig, schwach durchwurzelt, scharf wellig absetzend
$B_{vg4}$	70 - 90 cm	toniger Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, nicht durchwurzelt, einzelne Rostflecken, kohärent

**Profilbeschreibung:**

$O_1/O_f$	1,5 - 0 cm	Graswurzelfilz, kompakt
$A_h$	0 - 5 cm	schwach lehmiger Sand, kein Grobannteil, karbonatfrei, verdichtet, Wurzelfilz, die deutliche Horizontabgrenzung zeigt infolge Viehtritts einen oft unterbrochenen Verlauf
$B_{vg1}$	5 - 19 cm	stark lehmiger Sand, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, prismatisch-scharfkantig, einzelne undeutlich abgegrenzte Rostflecken, mittel durchwurzelt, scharf wellig absetzend

**Darstellung der Versuchsabläufe**

Abb. 4.33:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1989

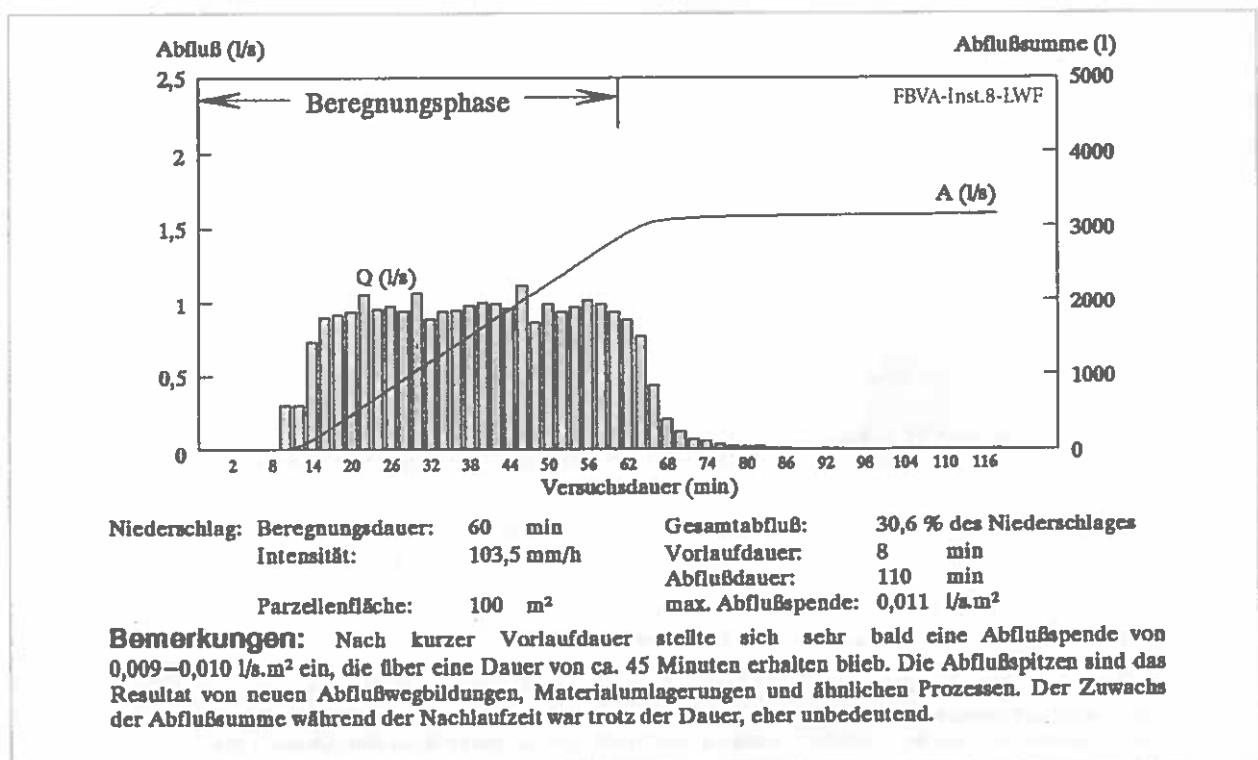


Abb. 4.34:

## Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1989

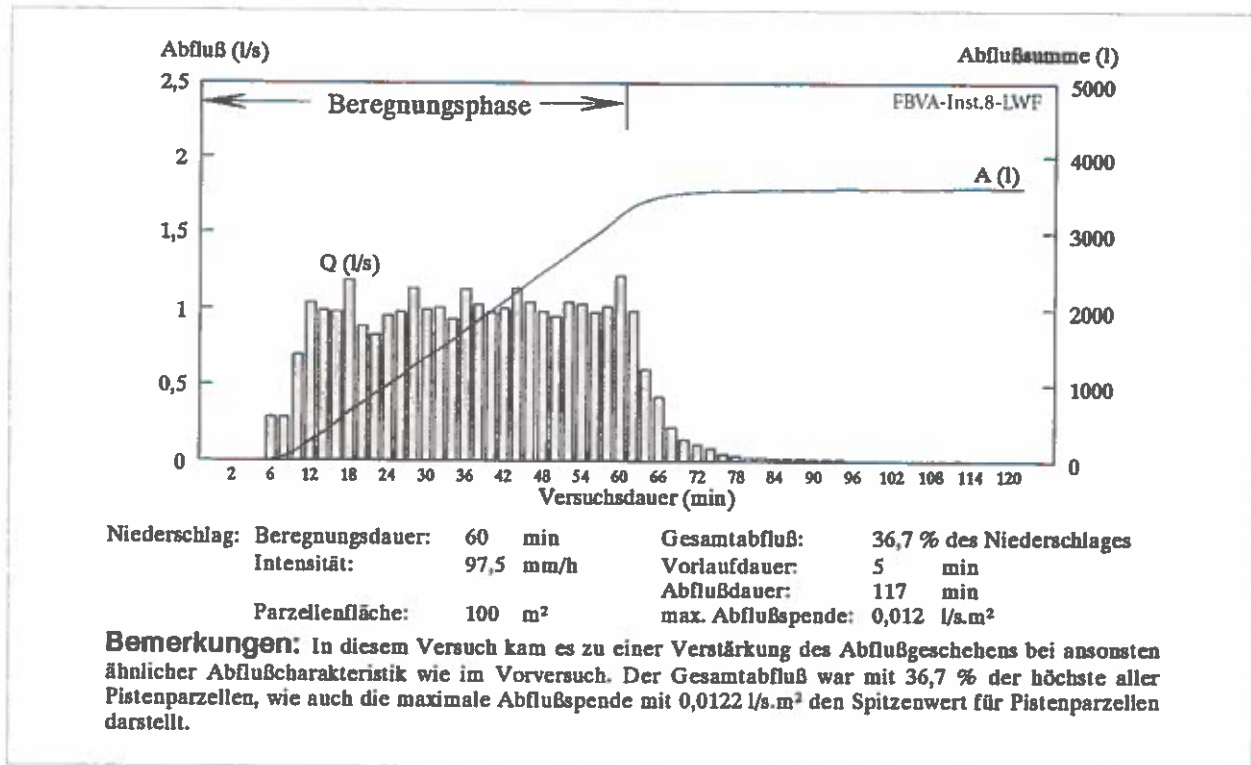
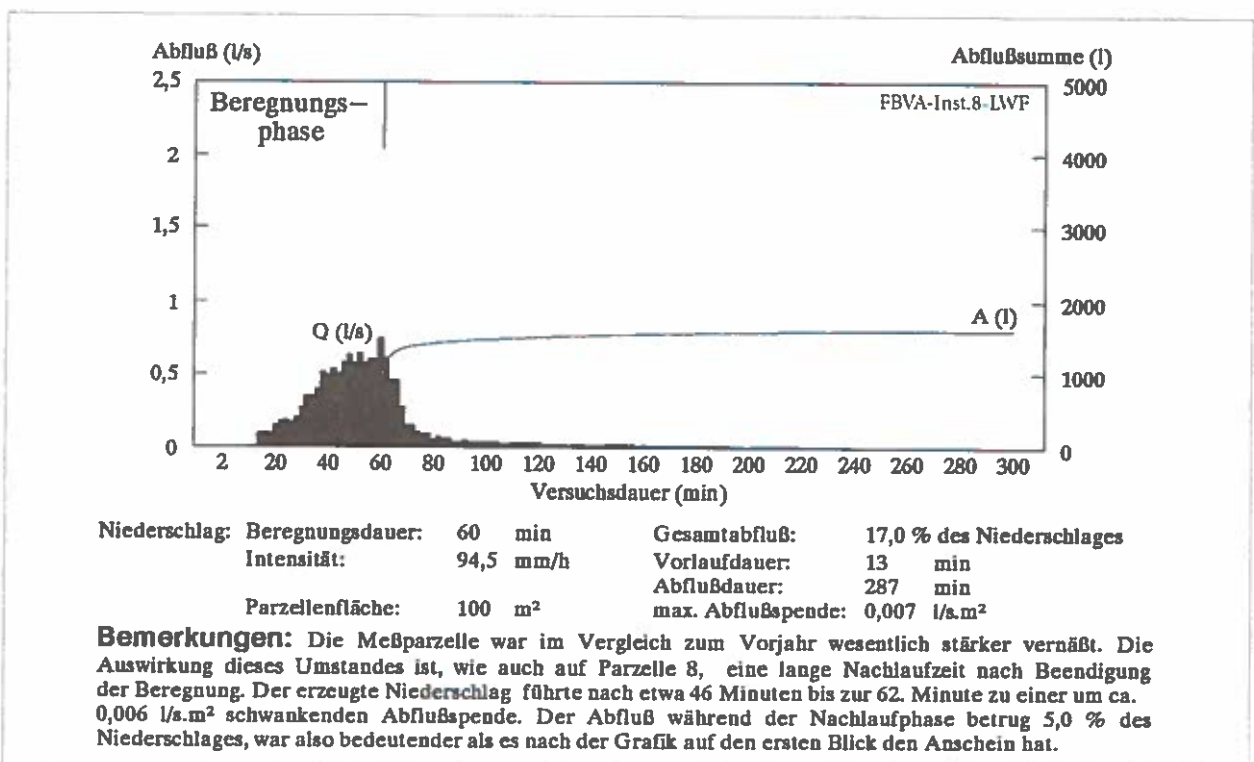


Abb. 4.35:

## Abflußverhalten beim Versuch 1990



#### 4.2.10 Berechnungsfläche Nr. 10 (Tiefsubalpiner Pistenstandort)

##### Parzellensituation

Parzelle 10 befindet sich etwas oberhalb von Parzelle 9 auf 1560 m und kann deshalb als auf einem Mittelhangstück liegend bezeichnet werden. Exposition und Kleinrelief entsprechen dem der Berechnungsfläche 9, die Hangneigung liegt bei 23%. Etwa 30 m weiter nördlich fließt ein kleiner Bach.

Auch auf dieser Versuchsfläche liegen Steine oberflächlich auf, sie sind im Mittel etwas kleiner als auf Parzelle 9. Zwei größere Löcher (Durchmesser 35 bzw. 45 cm), deren Entstehung wahrscheinlich mit Pistenplanierarbeiten in Zusammenhang steht, bilden Erosionsangriffspunkte.\* Das größere der beiden wurde zum Schutz des Weideviehs bereits mit Steinen verfüllt. Trittschäden sind auch auf dieser Parzelle vorhanden, allerdings in etwas geringerem Umfang als auf Parzelle 9.

\*Anm.: Diese Bodenvertiefungen waren 1989 zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung noch nicht vorhanden, 1990 in kleinerem Ausmaß.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

A. *Baumvegetation*: keine

B. *Bodenvegetation*:

Vegetationstyp: beweideter Pistenrasen

Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

4	<i>Trifolium repens</i>	-	Weißklee
3	<i>Deschampsia cespitosa</i>	-	Rasenschmiele
	<i>Trifolium pratense</i>	-	Wiesenklee
2	<i>Avenella flexuosa</i>	-	Drahtschmiele
1	<i>Dryas octopetala</i>	-	Silberwurz
	<i>Festuca rubra</i>	-	Rotschwingel
+	<i>Alchemilla vulgaris</i>	-	Frauenmantel
	<i>Leontodon spc.</i>	-	Löwenzahn
	<i>Phleum pratense</i>	-	Wiesen-Lieschgras
	<i>Plantago major</i>	-	Breit-Wegerich
	<i>Ranunculus acris</i>	-	Scharfer Hahnenfuß

\*=Deckungsgrad

##### Boden

*Bodentyp*: vergleyter Kalksteinlehm

*Humusform*: Mull

*Wasserhaushalt*: sehr frisch

*Bodenhydrologische Verhältnisse*: Stauwasser, überwiegen der Naßphase

##### Profilbeschreibung:

O <sub>1</sub> /O <sub>2</sub>	1,5 - 0 cm	Graswurzelfilz, verklebt
A <sub>h</sub>	0 - 5 cm	sandiger Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonathaltig, sehr stark durchwurzelt, scharf wellig absetzend
B <sub>vg1-ca</sub>	5 - 45 cm	Lehm, hoher Fein- und Mittelgrusanteil, karbonathaltig, mehrere deutlich abgegrenzte Rostflecken, einzelne Bleichflecken, mittel durchwurzelt, allmählich übergehend
B <sub>vg2</sub>	45 - 70 cm	Lehm, mäßiger Feingrusanteil, karbonathaltig, mehrere undeutlich abgegrenzte Rostflecken, nicht durchwurzelt

Zusatz: Die Gründigkeit der Böden dieser Parzelle schwankt sehr stark und liegt zwischen 15 und 70 cm. Nicht alle Profile sind karbonathaltig; Horizonte mit Karbonatmaterial sind in ihrer Struktur lockerer (Grobanteil !) als karbonatfreie Vergleichshorizonte.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.36:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

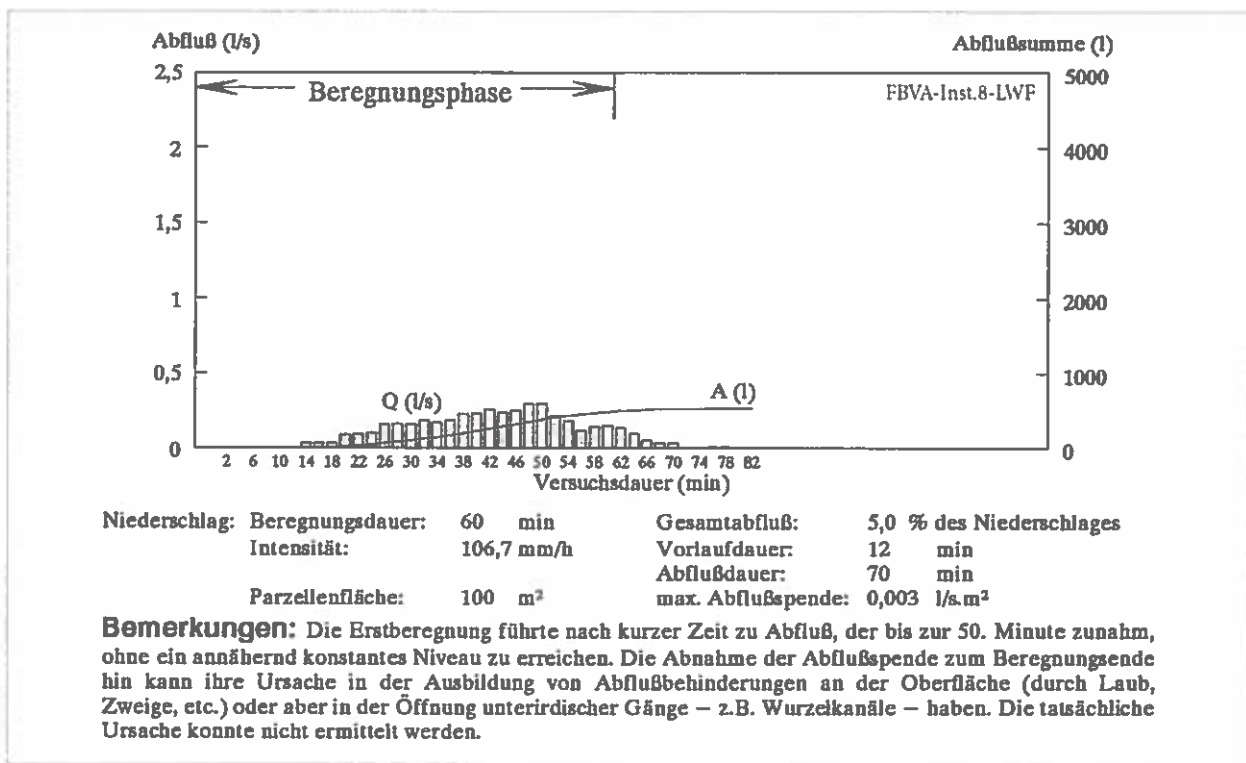
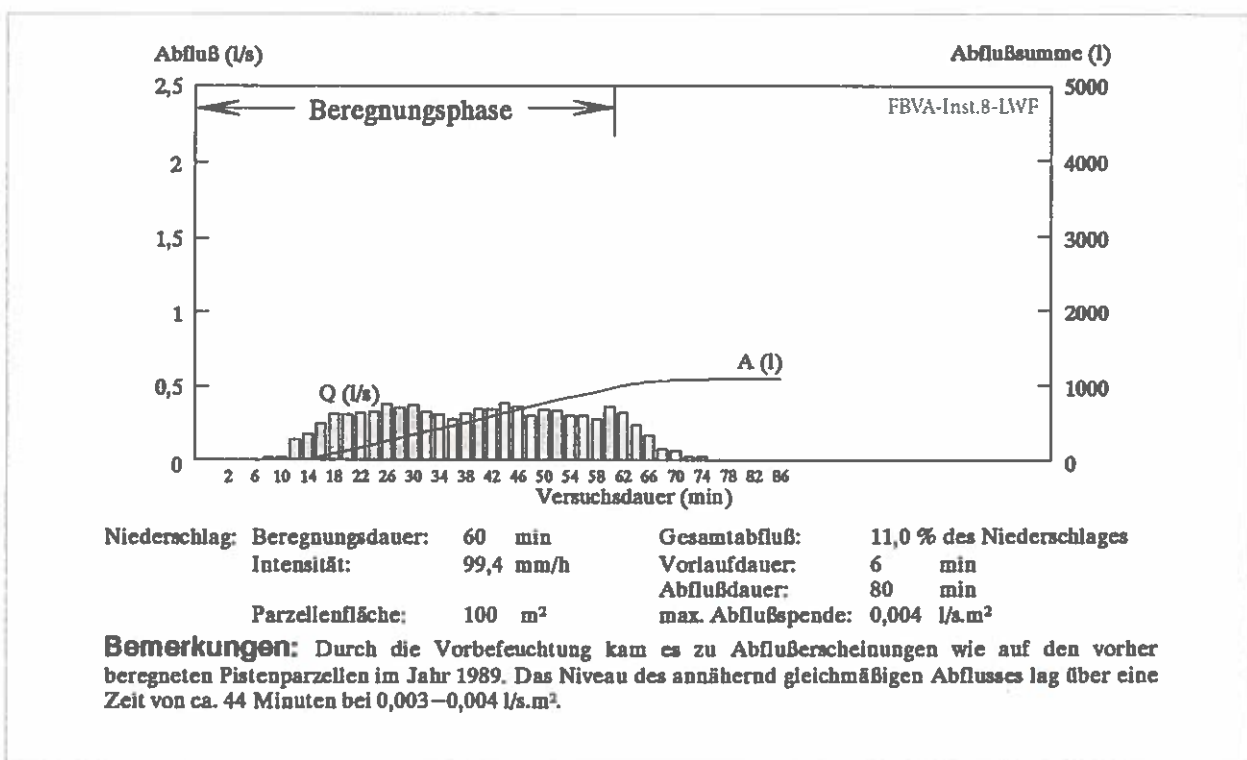


Abb. 4.37:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.11 Berechnungsfläche Nr. 11 (Tiefsubalpiner Pistenstandort)

##### Parzellensituation

Die Lage dieser Versuchsparzelle ist ostseitig der Forststraße zur Rudnigalm auf 1540 m an einem Mittelhangstück, das auch als Hangverebnung eingestuft werden kann. Die vertikale Ausdehnung dieses Relieftes wurde auf 80 m in Falllinie bzw. 200 m in der Horizontale geschätzt. Auf Grund der Lage direkt auf der Schipiste (Planierarbeiten?) ist das Kleinrelief ausgeglichen, ca. 15 m weiter südlich liegt jedoch der, bereits in der Beschreibung von Parzelle 7 erwähnte, wasserführende Graben.

Die Exposition ist Ost, die Hangneigung mit 18% die geringste aller Versuchsflächen. Trittschäden durch das Weidevieh sind vorhanden, jedoch weniger deutlich ausgeprägt als auf den Flächen 9 und 10. Einige Steine (Mitteldurchmesser ca. 10 cm) liegen frei auf der Fläche auf.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

A. *Baumvegetation*: keine

B. *Bodenvegetation*:

Vegetationstyp: beweideter Pistenrasen

Begrünungsgrad: 75-100%

##### DG\* Pflanzenart

3	<i>Avenella flexuosa</i>	-	Drahtschmiele
	<i>Trifolium repens</i>	-	Weißklee
1	<i>Agrostis tenuis</i>	-	Rotes Straußgras
	<i>Alchemilla vulgaris</i>	-	Frauenmantel
	<i>Deschampsia cespitosa</i>	-	Rasenschmiele
	<i>Festuca rubra</i>	-	Rotschwingel
	<i>Phleum pratense</i>	-	Wiesen-Lieschgras
	<i>Ranunculus acris</i>	-	Scharfer Hahnenfuß
	<i>Trifolium pratense</i>	-	Wiesenklee
+	<i>Achillea millefolium</i>	-	Schafgarbe
	<i>Agrostis stolonifera</i>	-	Weißes Straußgras
	<i>Carlina acaulis</i>	-	Silberdistel
	<i>Cerastium holosteoides</i>	-	Gewöhnliches Hornkraut
	<i>Dryas octopetala</i>	-	Silberwurz
	<i>Veratrum album</i>	-	Weißer Germer

\*=Deckungsgrad

Der Bodenvegetationsanteil der Gräser, insbesondere der horstwüchsigen, ist wesentlich geringer als in den Parzellen westlich der Forststraßen.

##### Boden

*Bodentyp*: mittelgründiger Gley  
*Humusform*: Mull  
*Wasserhaushalt*: sehr frisch  
*Bodenhydrologische Verhältnisse*: ohne Angaben

##### Profilbeschreibung:

O <sub>l</sub> /O <sub>f</sub>	2 - 0 cm	wenig Lärchenstreu, Graswurzelfilz, verklebt, manchmal hydromorph beeinflusst, übergehend
A <sub>h</sub>	0 - 3 cm	kein Grobanteil, karbonatfrei, stark durchwurzelt, scharf wellig absetzend
G <sub>0</sub>	3 - 18 cm	toniger Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, undeutliche Rostflecken, mehrere Konkretionen, schwach durchwurzelt, gerade absetzend
G <sub>r</sub>	18 - 45 cm	sandiger Lehm, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, viele Bleichflecken, einzelne Rostflecken, schwach durchwurzelt

Zusatz: Stellenweise vorkommende Besonderheiten im Profilaufbau:

O <sub>l</sub> /O <sub>f</sub>	2 - 0 cm	wie vorher
A <sub>h</sub>	0 - 3 cm	wie vorher
G <sub>0</sub>	3 - 18 cm	wie vorher
B <sub>v</sub> begr	18 - 36 cm	stark lehmiger Sand, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, keine Gleyerscheinungen, mittel durchwurzelt, gerade absetzend
G <sub>r</sub>	36 - 65 cm	sandiger Lehm, mäßiger Mittelgrusanteil, einzelne deutlich abgegrenzte Rostflecken, mehrere Bleichflecken, nicht durchwurzelt

Die Gründigkeit der Böden dieser Parzelle schwankt sehr stark (15-70 cm).

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.38:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

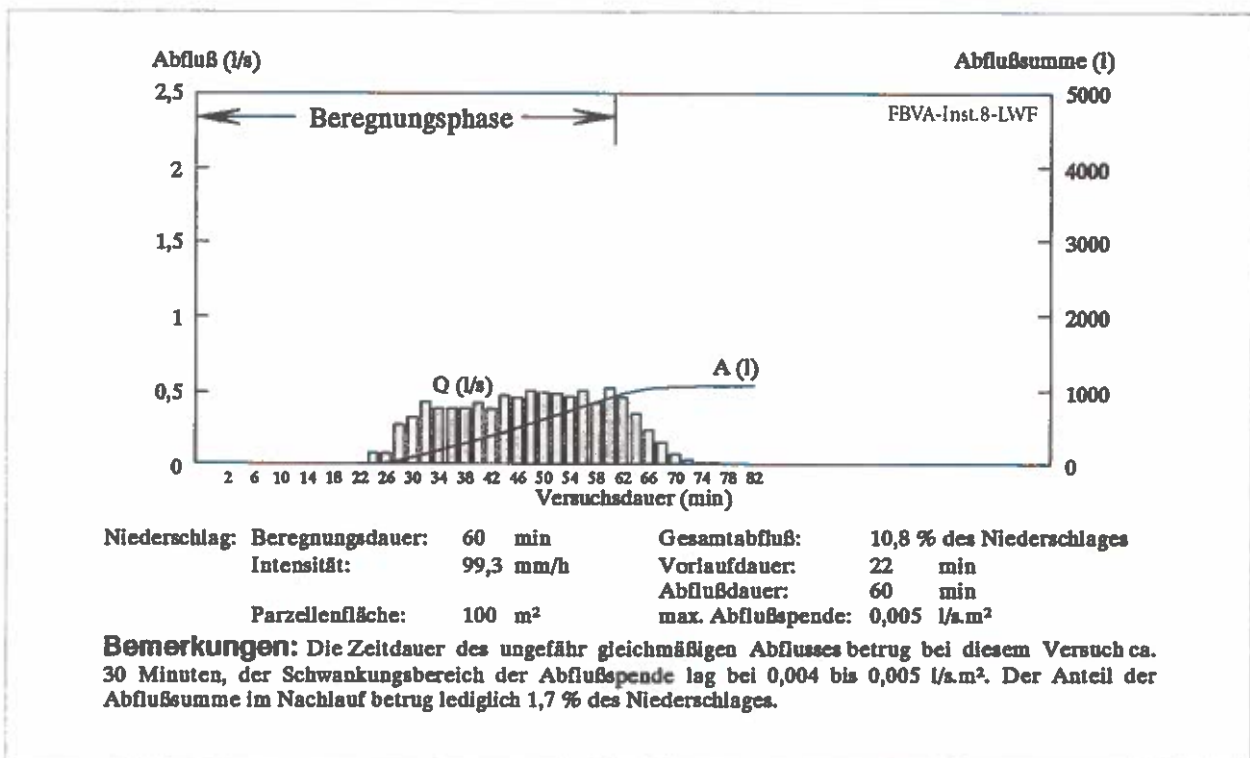
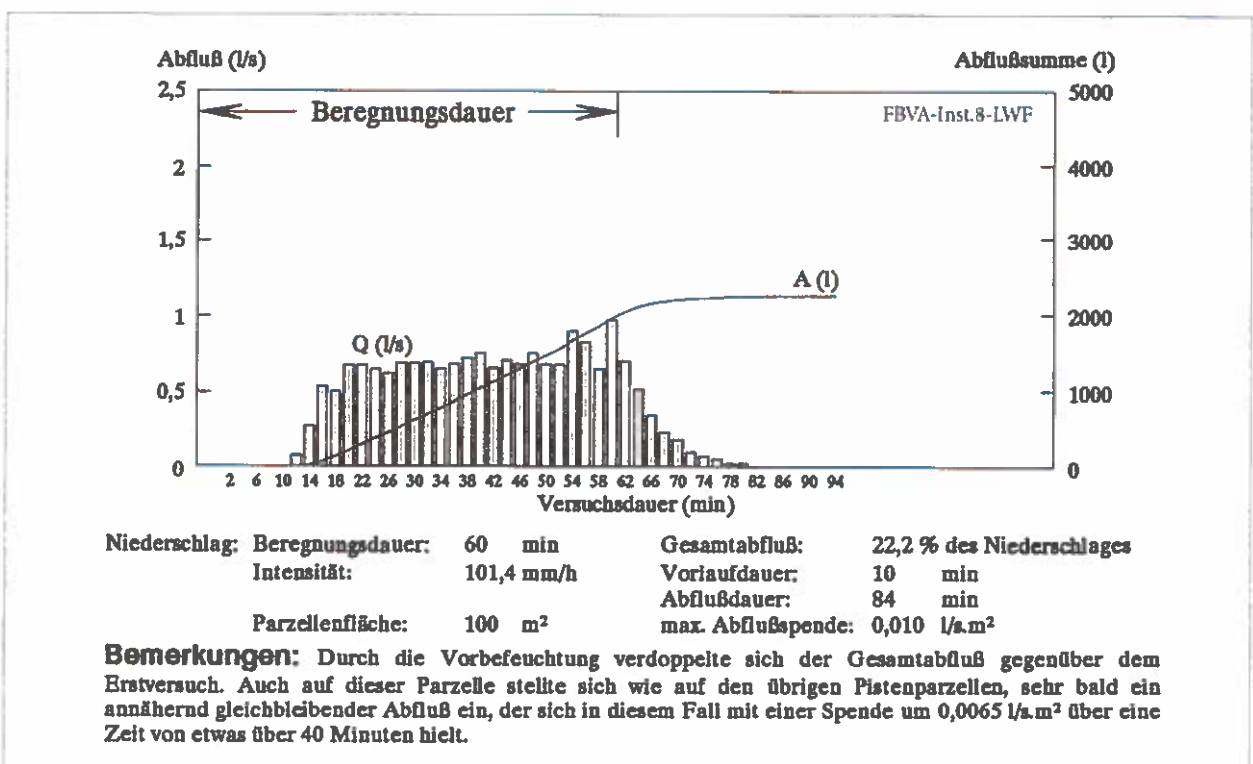


Abb. 4.39:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.12 Berechnungsfläche Nr. 12 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Diese Parzelle liegt auf einer Höhe von 1180 m und ist ostexponiert. Die Hangneigung beträgt 48%. Der Geländeabschnitt, auf dem sie liegt, ist ein Unterhang, der sowohl vertikal als auch horizontal eine Ausdehnung von etwa 100 m besitzt. Einige Meter vom Fußpunkt der Berechnungsfläche entfernt verläuft der Weißsandlbach. Das Kleinrelief ist auch in diesem Waldabschnitt unruhig.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Fagus silvatica	- Buche	0,5*	*Baumartenanteil
Abies alba	- Tanne	0,2	
Picea abies	- Fichte	0,2	
Larix decidua	- Lärche	0,1	

Der lockere Altbestand hat einen Bestockungsgrad von 0,6. Besonders im unteren Teil gibt es zahlreiche Fichtenverjüngung (bis zu einer Höhe von 1,2 m) und einige 0,5 m hohe Buchen. Anzeichen stärkerer Entnahmen sind zahlreiche Baumstümpfe mit Durchmesser von ca. 35 cm.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Schattenkräutertyp  
Begrünungsgrad: 30-50%

##### DG\* Pflanzenart

2	Sanicula europaea	-	Sanikel
1	Adenostyles alliariae	-	Grauer Alpendost
	Anemone trifolia	-	Dreiblatt-Weidenröschen
	Dentaria enneaphyllos	-	Neunblatt-Zahnwurz
	Dryopteris filix-mas	-	Wurmfarn
	Prenanthes purpurea	-	Hasenlattich
+	Aposotis foetida	-	Hainsalat
	Athyrium filix-femina	-	Wald-Frauenfarn
	Carex pilosa	-	Wimpersegge
	Gymnocarpium dryopteris	-	Eichenfarn
	Lamium galeobdolon	-	Goldnessel
	Melica nutans	-	Nickendes Perlgras
	Polygonatum verticillatum	-	Quirlblättrige Weißwurz
	Pulmonaria officinalis	-	Geflecktes Lungenkraut
	Salvia glutinosa	-	Salbei
	Senecio fuchsii	-	Fuchsgreiskraut
	Vaccinium myrtillus	-	Heidelbeere

\*=Deckungsgrad

##### Boden

Bodentyp: tiefgründiger Hanggley  
Humusform: hydromorpher, rohhumusartiger Moder

Wasserhaushalt: feucht

Bodenhydrologische Verhältnisse: ohne Angabe

##### Profilbeschreibung:

O <sub>l</sub>	4 - 2 cm	Buchen- und Nadelstreu, verklebt
O <sub>f</sub>	2 - 1 cm	brechbarer Grobmoder, sehr stark durchwurzelt
O <sub>h</sub>	1 - 0 cm	bröckelig, schmierig, sehr stark durchwurzelt, übergehend
A <sub>hg</sub>	0 - 30 cm	schwach lehmiger Sand, kein Grobanteil, karbonatfrei, vollkommen schwarz, mittel durchwurzelt, scharf gerade absetzend
G <sub>1</sub>	30 - 45 cm	stark lehmiger Sand, mäßiger Mittelgrusanteil, karbonatfrei, fahlgefärbte Hangwasserzugzone, schwach durchwurzelt, scharf wellig abgrenzend
B <sub>VG2</sub>	45 - 90 cm	Lehm, mäßiger Mittelgrusanteil, karbonatfrei, schwach durchwurzelt

Zusatz: An Stellen wo eine fahlgefärbte Hangwasserzugzone fehlt, schließt der B<sub>VG</sub>-Horizont direkt an den 10-55 cm mächtigen A<sub>g</sub>-Horizont an. Die Parzellenbereiche mit den starken A<sub>g</sub>-Horizonten besitzen Humusformen, die anmoorigen Charakter haben.

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.40:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

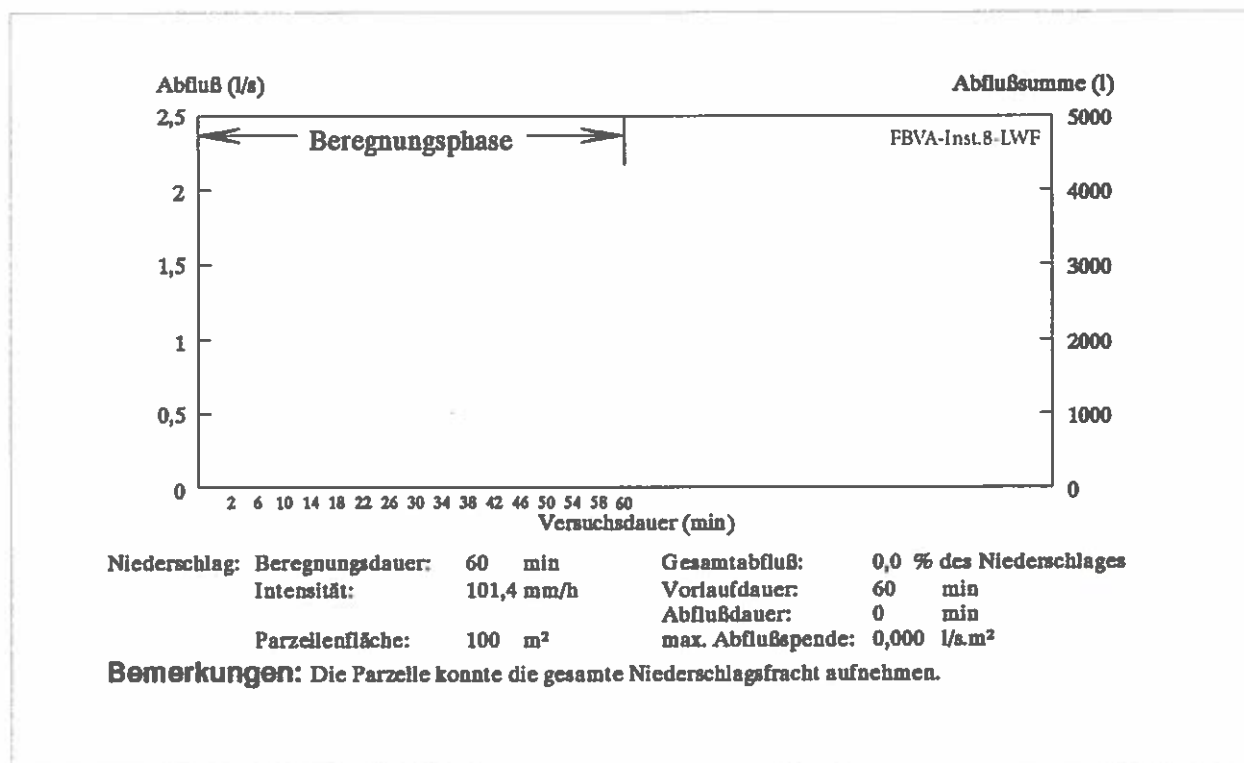
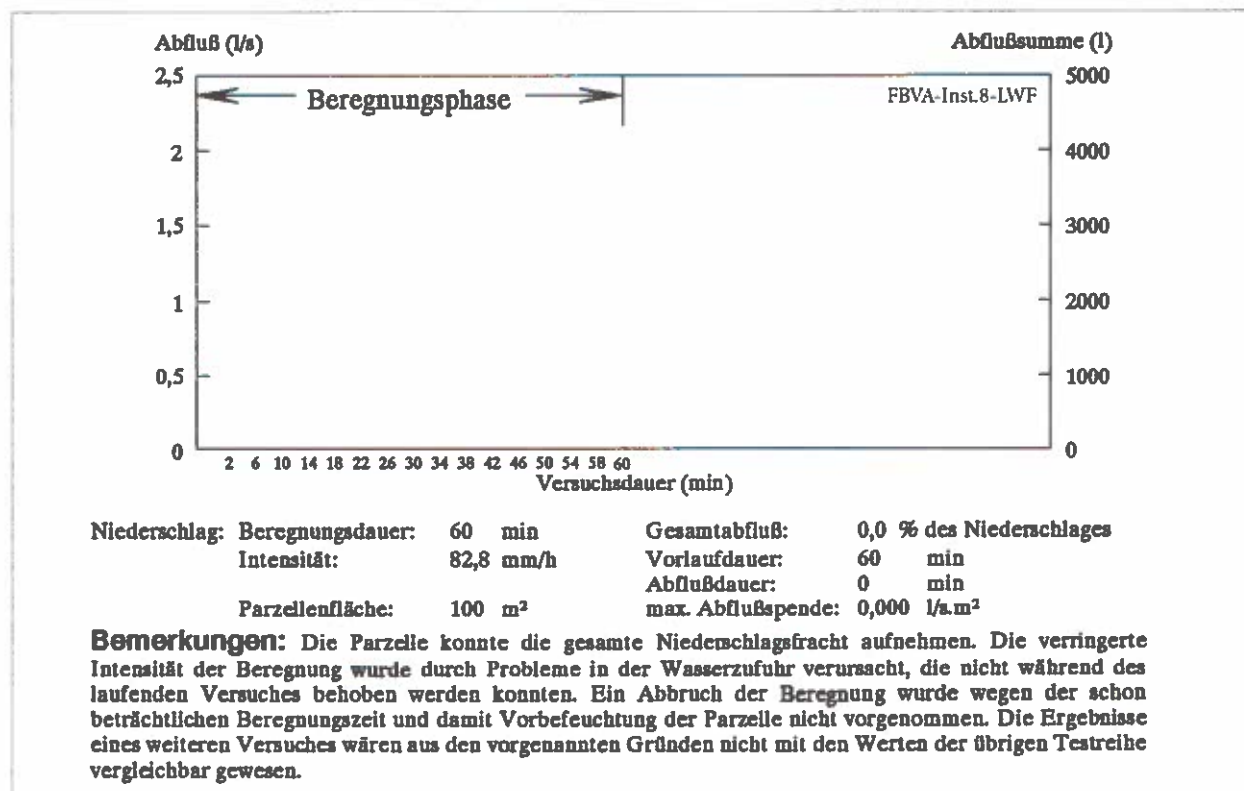


Abb. 4.41:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990





#### 4.2.13 Berechnungsfläche Nr. 13 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Diese Versuchsfläche ist mit 56% Hangneigung die steilste Waldparzelle. Sie liegt auf 1175 Höhenmeter, ostexponiert an dem gleichen Unterhang wie Parzelle 12. Der Hang zeigt auch hier deutliche Anzeichen von Instabilität, viele Buckel und einige größere Blöcke gestalten das Kleinrelief. Der Deckungsgrad der Bodenvegetation ist der höchste aller Waldparzellen.

##### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Abies alba - Tanne 0,9\* \*Baumartenanteil  
Fagus silvatica - Buche 0,1

Der Altbestand auf dieser Parzelle ist lückig, d.h. zwischen den Baumkronen wäre Platz für weitere Kronen. Der Bestockungsgrad liegt bei 0,5.

Die Bäume, insbesondere der Jungwuchs, zeigen fast ausnahmslos extreme Säbelwüchsigkeit, die auch für die älteren Buchen kennzeichnend ist. Ein relativ hoher Zwieselanteil ist für den Bestand wertmindernd. Da Verjüngung auf einem Großteil der Fläche vorhanden ist (Tanne bis 2,5 m, Fichte bis 1,5 m, auch ein Bergahorneinsprengling von ca. 1,2 m Höhe wächst auf dieser Fläche) kann der Bestand nicht mehr als einschichtig bezeichnet werden. Keimlinge von Fichte und Tanne finden sich ebenfalls.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: Schattenkräutertyp  
Begrünungsgrad: 50%

##### DG\* Pflanzenart

3	Lycopodium annotinum	-	Sprossender Bärlapp
2	Oxalis acetosella	-	Sauerklee
	Sanicula europaea	-	Sanikel
	Vaccinium myrtillus	-	Heidelbeere
1	Festuca altissima	-	Waldschwingel
	Petasites albus	-	Weißer Pestwurz
	Rubus idaeus	-	Himbeere
+	Anemone trifolia	-	Dreiblatt-Weidenröschen
	Athyrium filix-femina	-	Wald-Frauenfarn
	Calamagrostis villosa	-	Wolliges Reitgras
	Dentaria enneaphyllos	-	Neunblatt-Zahnwurz
	Dryas octopetala	-	Silberwurz
	Fragaria vesca	-	Erdbeere
	Gymnocarpium dryopteris	-	Eichenfarn
	Lonicera alpigena	-	Alpen-Heckenkirsche
	Melica nutans	-	Nickendes Perlgras
	Pellia epiphylla	-	Beckenmoos
	Plagiochilla asplenioides	-	Muschelmoos
	Polygonatum verticillatum	-	Quirlblättrige Weißwurz
	Polytrichum formosum	-	Bürstenmoos
	Prenanthes purpurea	-	Hasenlattich
	Pulmonaria officinalis	-	Geflecktes Lungenkraut
	Senecio fuchsii	-	Fuchsgreiskraut
	Thelypteris limbosperma	-	Bergfarn

\*=Deckungsgrad

##### Boden

**Bodentyp:** mittelgründiger pseudovergleyter Kalksteinlehm

**Humusform:** rohhumusartiger Moder

**Wasserhaushalt:** frisch

**Bodenhydrologische Verhältnisse:** wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O <sub>l</sub>	5,5 - 3,5	cm	Buchen- und Fichtenstreu, verklebt, stark durchwurzelt
O <sub>f</sub>	3,5 - 1,5	cm	brechbar, stark durchwurzelt, übergehend
O <sub>h</sub>	1,5 - 0	cm	bröckelig, stark durchwurzelt
A <sub>h</sub>	0 - 12	cm	hoher Feingrusanteil, karbonatfrei, lockere Struktur, sehr dunkel gefärbt, mittel durchwurzelt, wellig absetzend
A <sub>h</sub> /B <sub>vg</sub>	12 - 22	cm	toniger Lehm, hoher Grobanteil (Fein- und Mittelgrus), karbonatfrei, einzelne Rostflecken und Konkretionen, schwach durchwurzelt, gerade absetzend
B <sub>vg</sub>	22 - 50(80)	cm	toniger Lehm, hoher Grobanteil (Grus), karbonatfrei, kohärent, mehrere Rostflecken und Konkretionen, schwach durchwurzelt

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.42:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

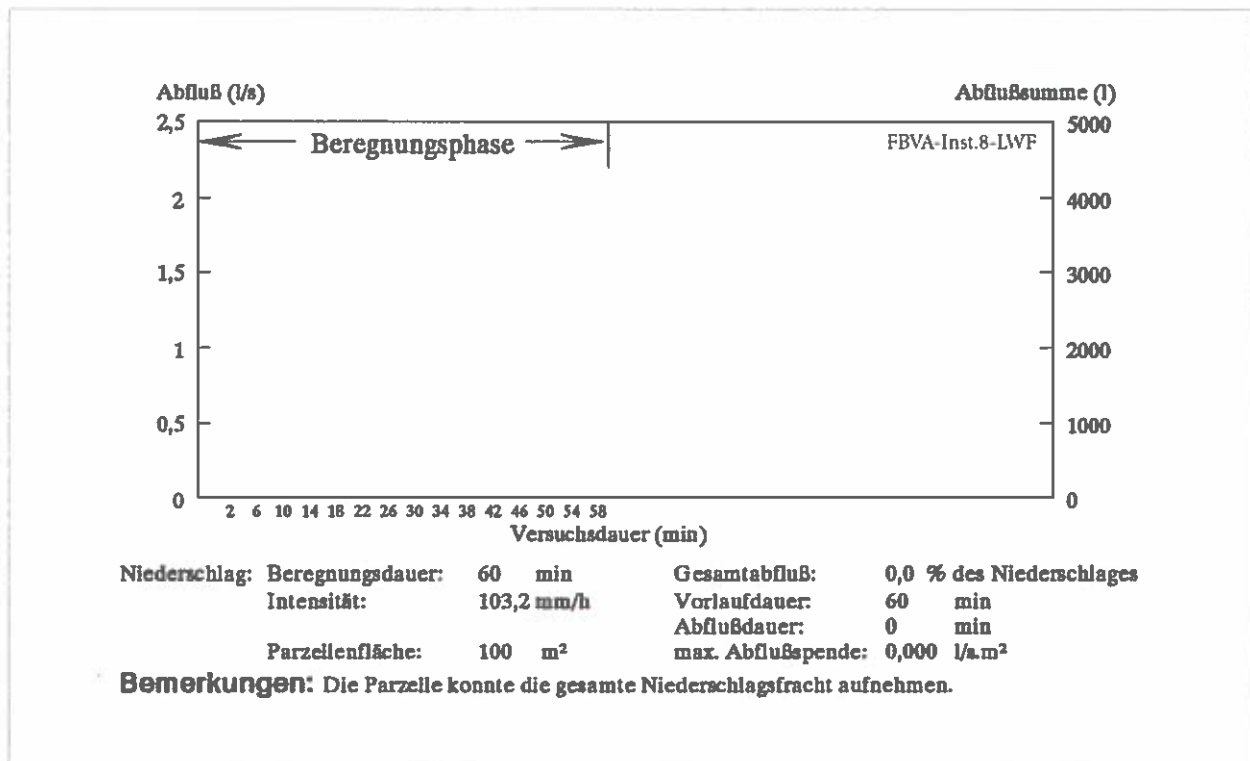
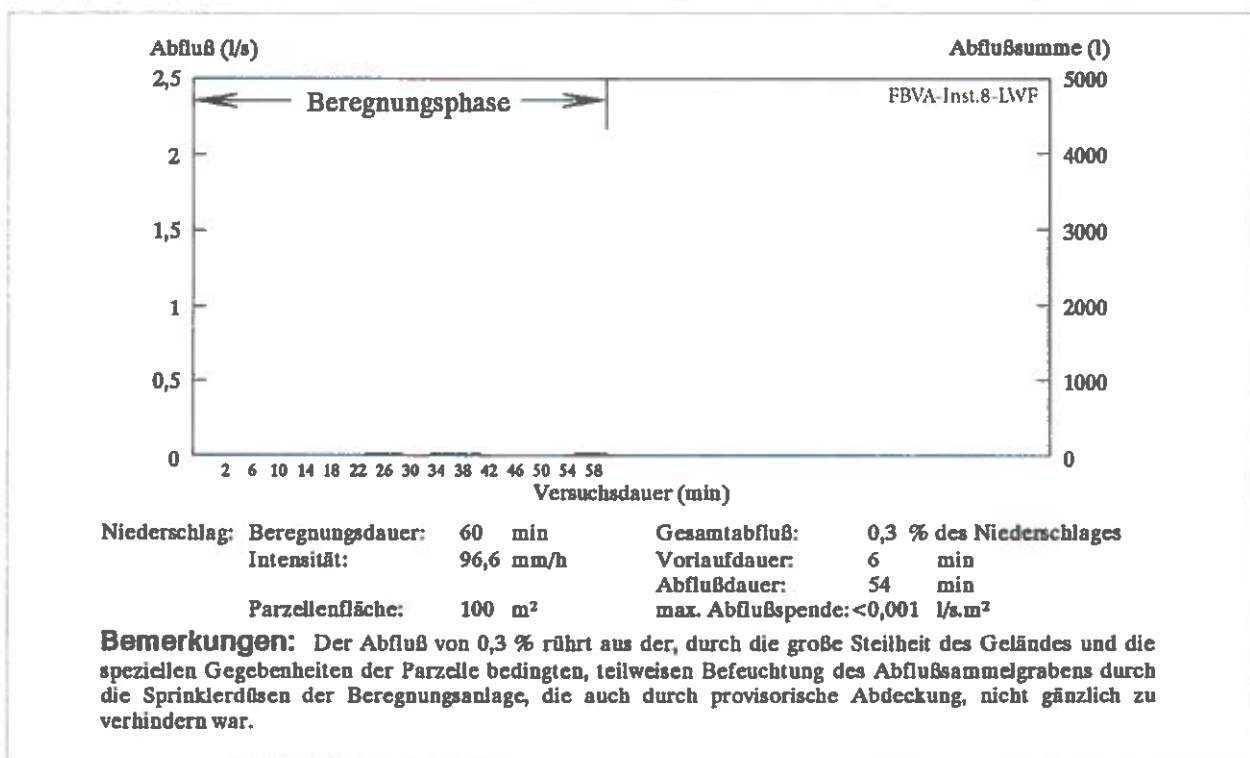


Abb. 4.43:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



#### 4.2.14 Berechnungsfläche Nr. 14 (Hochmontaner Waldstandort)

##### Parzellensituation

Parzelle 14 liegt auf einer Seehöhe von 1185 m auf einem Mittelhangstück und weist nach Nordosten abfallend eine Neigung von 27% auf. Sie ist damit die Waldparzelle mit dem geringsten Gefälle, besitzt jedoch trotzdem Merkmale von Instabilität (stark gegliedertes Kleinrelief). Dennoch ist dieser Hangabschnitt wesentlich ruhiger als dies in den Parzellen 4, 5 und 6 der Fall ist. Die Bäume zeigen kaum bzw. gar keinen Säbelwuchs. 2 große, allerdings überwachsene Blöcke liegen auf der Berechnungsfläche. Auch in der Vegetation unterscheidet sich diese Parzelle deutlich von den vorher beschriebenen. Bei einem Begrünungsgrad von nur 5% ist die Krautschicht verhältnismäßig artenarm.

#### Ergebnisse der Aufnahme von Vegetation und Boden

##### Vegetation

##### A. Baumvegetation:

Picea abies	- Fichte	0,6* *Baumartenanteil
Fagus silvatica	- Buche	0,4

Der Altbestand ist licht und einschichtig, nur ganz vereinzelt sind junge Fichten vorhanden. Die vielen Stöcke zeugen von starken Entnahmeeingriffen im mittleren bis stärkeren Baumholz, der notwendige Bestandsunterbau fehlt jedoch. Der Schlußgrad entspricht etwa 0,7; der Bestockungsgrad liegt bei 0,5.

##### B. Bodenvegetation:

Vegetationstyp: verarmter Schattenkräutertyp  
Begrünungsgrad: 5%

##### DG\* Pflanzenart

+ Anemone trifolia	- Dreiblatt-Weidenröschen
Carex digitata	- Fingersegge
Dentaria enneaphyllos	- Neunblatt-Zahnwurz
Lycopodium annotinum	- Sprossender Bärlapp
Oxalis acetosella	- Sauerklee
Polygonatum verticillatum	- Quirlblättrige Weißwurz
Prenanthes purpurea	- Hasenlattich
Sanicula europaea	- Sanikel

\*=Deckungsgrad

##### Boden

*Bodentyp:* tiefgründiger, pseudovergleyter Kalksteinlehm

*Humusform:* rohhumusartiger Moder

*Wasserhaushalt:* sehr frisch

*Bodenhydrologische Verhältnisse:* wechselfeucht

##### Profilbeschreibung:

O <sub>l</sub>	5,5 - 3,0	cm	Ästchen, Buchen- und Fichtenstreu, verklebt, sehr stark durchwurzelt
O <sub>f</sub>	3,0 - 1,5	cm	schichtig gelagerter Grobmoder, sehr stark durchwurzelt, übergehend
O <sub>h</sub>	1,5 - 0	cm	locker, sehr stark durchwurzelt
A <sub>h</sub>	0 - 10	cm	schwach lehmiger Sand, geringer Feingrusanteil, karbonatfrei, locker, mittel durchwurzelt, scharf absetzend
A <sub>h</sub> /B <sub>v(g)</sub>	10 - 15	cm	geringer Fein- und Mittelgrusanteil, karbonatfrei, relativ locker, einzelne Konkretionen, schwach durchwurzelt
B <sub>vg</sub>	15 -	cm	toniger Lehm, mäßiger Mittelgrusanteil, karbonatfrei, mehrere Konkretionen, kohärent, nicht durchwurzelt

## Darstellung der Versuchsabläufe

Abb. 4.44:

Abflußverhalten beim Erstversuch 1990

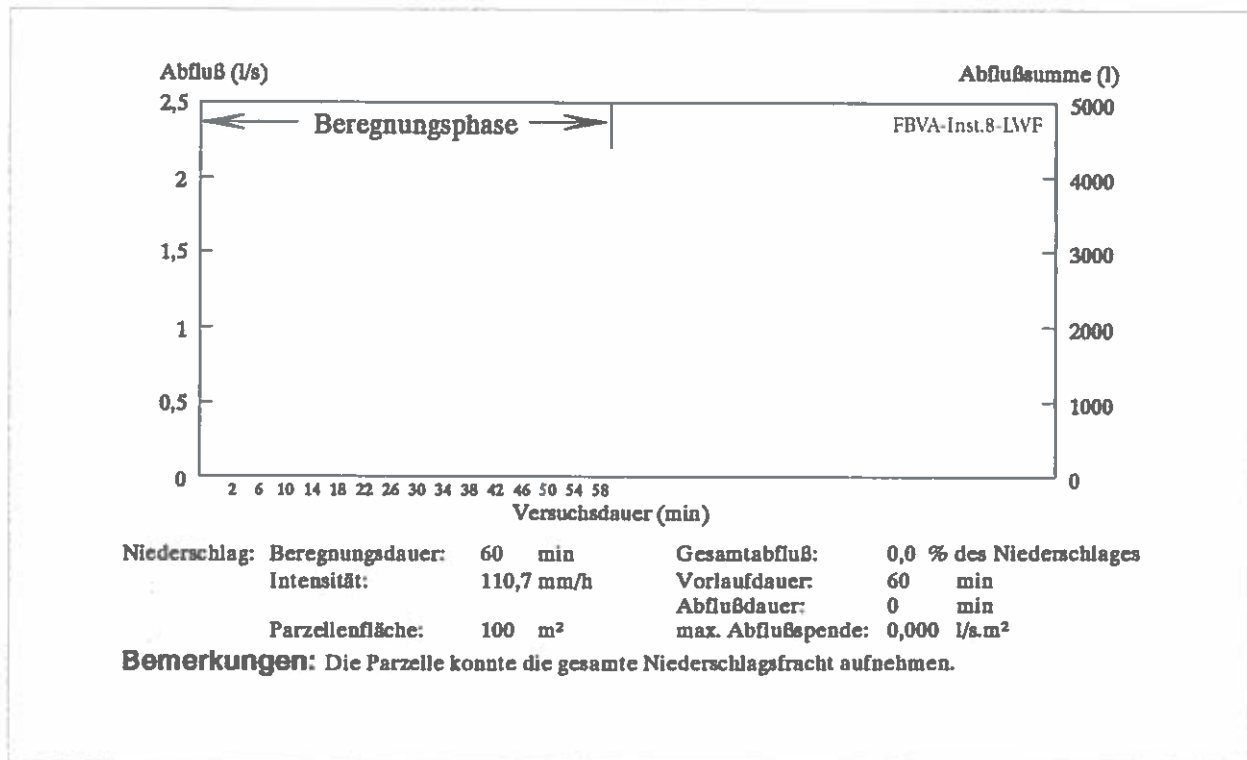
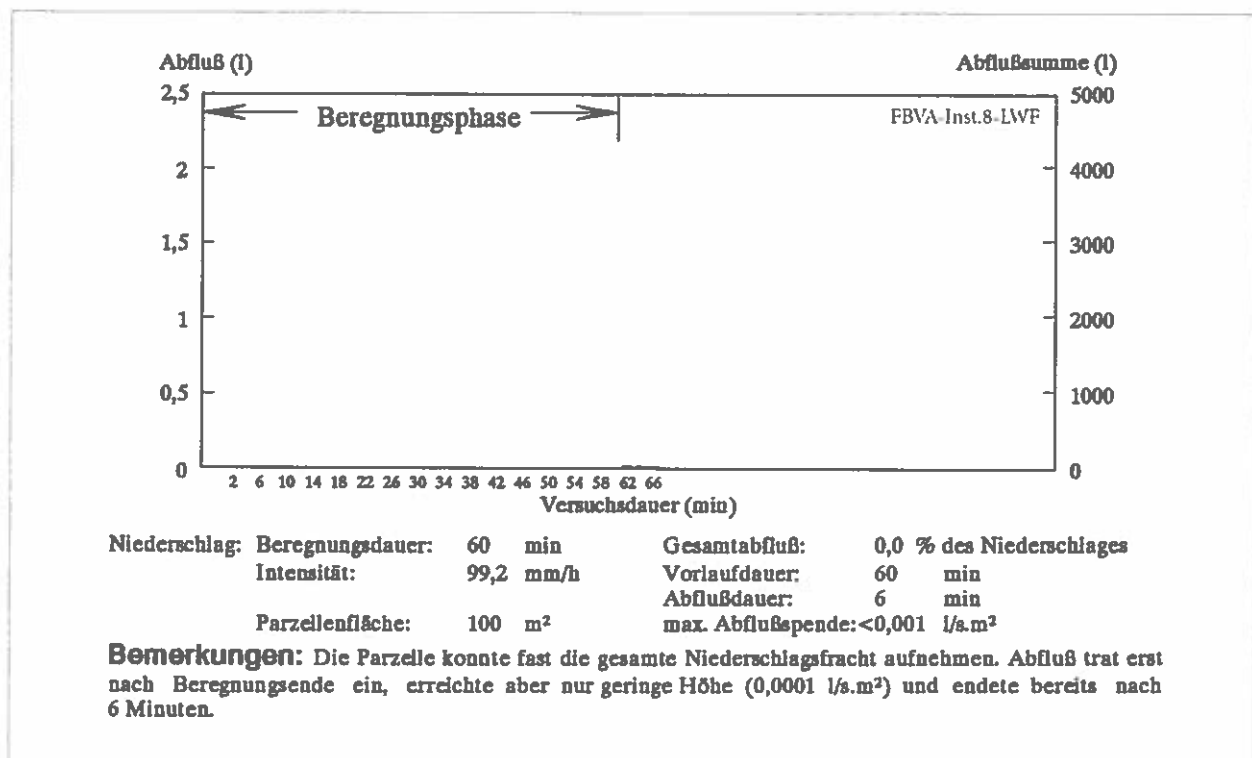


Abb. 4.45:

Abflußverhalten beim Wiederholungsversuch 1990



## 5. Analyse der Ergebnisse der Starkregensimulation

Um die Ergebnisse der Starkregensimulationsversuche möglichst anschaulich und übersichtlich zu präsentieren, wurde das festgestellte Abflußverhalten - in Bezug auf verschiedene Meßgrößen und Parzelleneigenschaften - aufgliedert dargestellt. Wegen der beachtlichen Unterschiede der Ergebnisse der Versuchsreihen 1989 und 1990 wurden diese sowohl gemeinsam als auch einzeln betrachtet, dargestellt und beurteilt.

### 5.1 Untersuchung des Verhältnisses zwischen aufgebrachtem Niederschlag und erzieltm Abfluß

Der Abfluß von den Versuchspartellen wies eine Bandbreite von 0 bis 44% des aufgetrachten Niederschlags auf. Das Mittel aller Abflußwerte betrug 11,1%. Bei Einteilung der Partellen in Weide, Wald und Piste zeigt sich folgendes Bild: liegt das erreichte Maximum von 44% bei der Gruppe der Weidepartellen, erreichte eine Waldpartelle immerhin 31,5% und eine Pistenpartelle beachtliche 36,7% Abfluß. Mehr Aussagekraft wird durch Betrachtung sowohl der Extrem- als auch der Mittelwerte und Untergliederung der Abflußanteile in Beregnungs- und Nachlaufphase erzielt (siehe Tabelle 5.1).

Den höchsten Abflußmittelwert erreichte die Gruppe der Pistenpartellen mit 19,2%, gefolgt von Weide- mit 9,8% und Waldpartellen mit nur 5,6%. Diese Werte sollten aber nicht für sich allein stehend betrachtet werden, vielmehr erscheint im Zusammenhang damit das Wesen der Wasseraufnahme und -abgabe wichtig, das u.a. durch den Zeitpunkt des Endes der Beregnung und die davor und danach aufgenommene bzw. abgeflossene Niederschlagsfracht charakterisiert werden kann. Hält sich - nimmt man die Mittelwerte zum Vergleich - das Verhältnis von Abfluß während und nach erfolgter Beregnung, bei der Gruppe der Waldpartellen ungefähr die Waage (3,1% zu 2,5%), so differieren die Werte bei den Weidepartellen zwischen 8,9% in der Beregnungsphase und 0,9% während der Nachlaufphase und steigt der Abfluß bei der Gruppe der Pistenpartellen in der Beregnungsphase auf 16,3% bei nur 2,9% Abfluß in der Nachlaufphase. Aus den vorgeannten Beobachtungen läßt sich eindeutig das hohe Wasseraufnahmevermögen der untersuchten Waldpartellen (i.M. 94,4%), aber auch die ausgleichende Wirkung auf die Abflußkurve und damit Dämpfung von Abflußspitzen ableiten.

Tabelle 5.1:

Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgetrachten Niederschlags). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für Gesamtaufnahme und die Neigung der Versuchsflächen beigelegt (Meßwerte aus den Perioden 1989 und 1990).

Datenbereich: Parzellengesamtheit			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	11,1	44,0	0,0
Beregnungsphase	9,0	41,7	0,0
Nachlaufphase	2,1	16,4	0,0
Gesamtaufnahme	88,9	100,0	56,0
Neigung (%)	40,5	60,0	18,0
Datenbereich: Weidepartellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	9,8	44,0	0,0
Beregnungsphase	8,9	41,7	0,0
Nachlaufphase	0,9	5,8	0,0
Gesamtaufnahme	90,2	100,0	56,0
Neigung (%)	59,1	60,0	57,0
Datenbereich: Waldpartellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	5,6	31,5	0,0
Beregnungsphase	3,1	24,4	0,0
Nachlaufphase	2,5	16,4	0,0
Gesamtaufnahme	94,4	100,0	68,5
Neigung (%)	39,5	56,0	27,0
Datenbereich: Pistenpartellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	19,2	36,7	2,9
Beregnungsphase	16,3	33,1	2,0
Nachlaufphase	2,9	6,6	0,5
Gesamtaufnahme	80,8	97,1	63,3
Neigung (%)	23,1	32,0	18,0

Diese guten Dämpfungseigenschaften der untersuchten Waldpartellen lassen sich sehr gut durch Einführen eines Zwischenwertes für den Abfluß untermauern. Bei diesem wird der bis zur dreißigsten Minute zum Abfluß gelangende Niederschlagsanteil festgehalten (siehe Tabelle 5.2). Einem Mittelwert von 0,6% bei den Waldpartellen stehen hier 11,3% bei den Pisten- und 7,3% bei den Weidepartellen gegenüber. Ein Vergleich der Maximalwerte fällt noch dramatischer aus. Hier stehen 6,8% im Wald gar 40,3% bei Weidepartellen gegenüber. Besonders in Wildbächen, mit ihrem oft sehr großen Gefälle und dem gefürchteten, raschen Anstieg des Wasserspiegels und der Abflußgeschwindigkeit, erweist sich die ausgleichende Wirkung des Waldes als äußerst nützliches Mittel zur Bekämpfung von Hochwasser bereits an der Wurzel seines Entstehens, da die vorgeannten Parameter die Schleppspannung, damit die Schleppkraft und das Geschiebetransportvermögen eines Baches maßgeblich beeinflussen.

Tabelle 5.2:

Aufstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Beregnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Niederschlagssumme - Meßwerte aus den Perioden 1989 und 1990

Datenbereich: Parzellengesamtheit			
Abfluß 30 min (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Parzellengesamtheit	6,0	40,3	0,0
Weideparzellen	7,3	40,3	0,0
Waldparzellen	0,6	6,8	0,0
Pistenparzelle	11,3	28,0	0,1

## 5.2 Zeitlicher Verlauf des Abflußgeschehens

Der Zeitfaktor ist, wie schon bei der Erörterung der Unterschiede im Wasseraufnahmevermögen der Parzellen festgestellt wurde, gerade in Wildbacheinzugsgebieten eine eminent wichtige Größe. Sind die vorbeugenden Schutzeinrichtungen in einem Einzugsgebiet - aus welchen Gründen auch immer - unzureichend, verbleibt durch das rasche Anschwellen von Bächen und der dadurch hervorgerufenen Gefahren für die Ergreifung zusätzlicher Maßnahmen nur ein kurzer Handlungsspielraum.

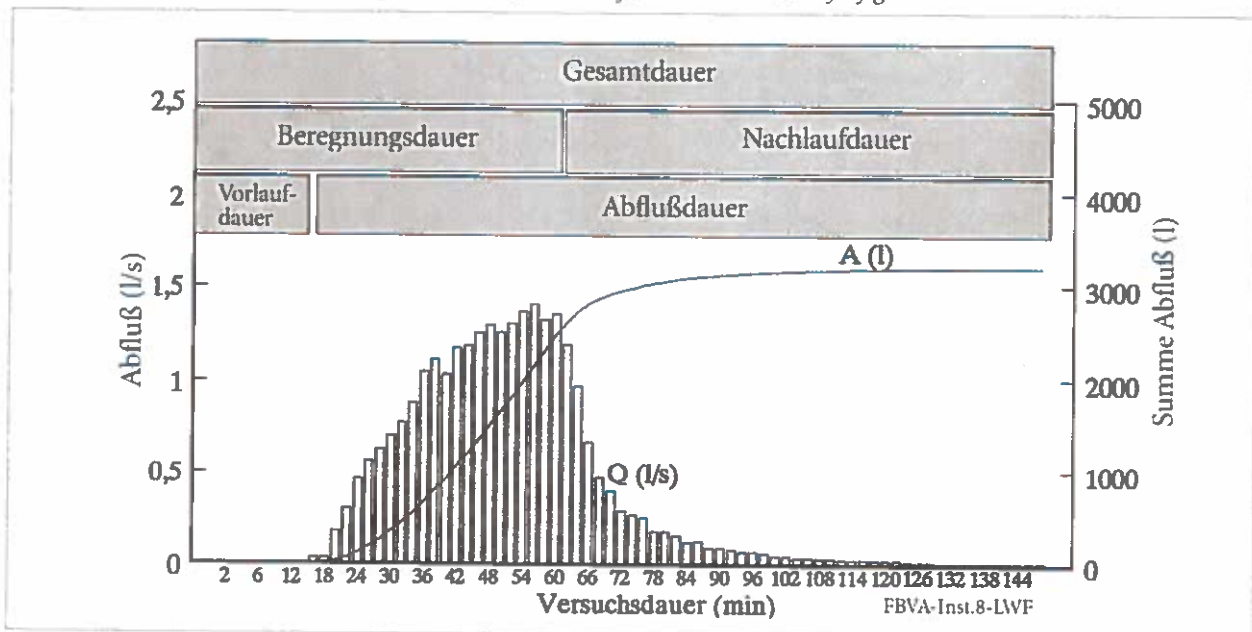
Zur Analyse des Abflußgeschehens wurde der zeitliche Verlauf, wie in Abb. 5.1 dargestellt, unterteilt.

Von den in Abb. 5.1 eingeführten Begriffen zur Beschreibung des zeitlichen Verlaufes des Abflußgeschehens liefert die Vorlaufdauer - in Hinblick auf den

möglichen Reaktionszeitraum zur Ergreifung von zusätzlichen Schutzmaßnahmen - die für das Verhalten von Flächeneinheiten bei Starkregen wichtigste Aussage. Die weiteren eingeführten Größen sind unbedingt in Verbindung mit den Werten für Abflußfracht (-summe) bzw. -spende gemeinsam zur Beurteilung des Abflußverhaltens heranzuziehen. Eine lange Abflußdauer kann wesentlich von der Nachlaufdauer beeinflusst werden, in welcher aber oft nur eine geringe Abflußfracht erreicht wird. Als Beispiel sei ein Versuch auf Beregnungsfläche 5 angeführt, wo bei einer Abflußdauer von 372 Minuten, einer Gesamtdauer von 420 Minuten und einer Nachlaufdauer von 360 Minuten hoher Abfluß zu vermuten wäre. Der Anteil des Abflusses während der Nachlaufphase stellte zwar mit 6,3% den Hauptanteil der gesamten Abflußfracht (7%), aber wie man aus diesem Beispiel sieht, ist der Schluß von langer Versuchsdauer auf hohen Abfluß im allgemeinen nicht zielführend.

An dieser Stelle ist es angebracht, einige für die Praxis der Versuchsdurchführung und damit auch für die Aussagekraft der Meßwerte nicht unerhebliche Bemerkungen einzuflechten. Bei der Planung der Versuchsdurchführung ist es schwer möglich, die Anzahl der Versuche, die während einer zur Verfügung stehenden Meßperiode durchgeführt werden können, im Vorhinein zu bestimmen. Abgesehen von den vor Ort herrschenden Bedingungen, wie dem Momentanzustand der Sättigung der Böden mit Wasser, auf den noch später eingegangen wird, die Wasserführung der Bäche (wegen der zur Versuchsdurch-

Abb. 5.1: Gliederung des zeitlichen Verlaufes beobachteter Abflußgeschehnisse



führung benötigten, nicht unerheblichen Wassermenge), den Wetterbedingungen und vielem anderen mehr, ist auch die Bandbreite der Versuchsdauer großen Schwankungen unterworfen, wie Tabelle 5.3 zeigt. Die Gesamtdauer für einen Versuch schwankte zwischen 60 und 660 Minuten, bei 60 Minuten Beregnungsdauer, die Abflußdauer von 0 bis 628 Minuten. Eine Verkürzung ließe sich, bei ausschließlicher Betrachtung der Beregnungsphase oder Einführung eines hohen Grenzwertes für den Abfluß in der Nachlaufphase erzielen, ab welchem der Versuch abgebrochen wird. Eine entsprechende Kürzung der betroffenen Zeitgrößen wäre die Folge. Da dieser Teil der Abflußkurve jedoch - sollte man ihn für die jeweilige Zielsetzung als nicht maßgeblich erachten - mathematisch im Nachhinein leicht abgetrennt werden kann, wurden die Versuche in voller Länge bis zum Abflußende durchgezogen.

Nimmt man also die Vorlaufdauer als wichtige Grundgröße der Untersuchung des zeitlichen Ablaufes, so zeigt sich, daß die Gruppe der Waldparzellen in die-

sem Teilbereich die günstigsten Werte erzielt (siehe Tabelle 5.3). Bei einem Gesamtmittel aller Werte der Versuchspartellen ergibt sich eine Vorlaufdauer von 24 Minuten. Der Wert bei Waldparzellen ist mit 44 Minuten deutlich über dem der Weide- und Pistenparzellen mit 14 bzw. 11 Minuten.

Dieser Vorteil der Waldparzellen, der die Schutzwirkung des Waldbodens deutlich aufzeigt, wird auch durch Abb. 5.2 dokumentiert. Bei 45 Versuchen wurde 15 Mal eine Vorlaufdauer von mehr als 30 Minuten festgestellt. Von diesen 15 Werten wies nur einer einen Abfluß von ca. 20% auf, bei den restlichen 14 aber lag der Abfluß im Bereich von 0 bis 7% des Niederschlages. 14 dieser 15 Werte stammen von Waldparzellen. Ebenso klar - wie auch aus der Abbildung ersichtlich - ist, daß natürlich auch bei kurzer Vorlaufdauer geringe Abflüsse erzielt werden können. Abflüsse über 12% wurden aber, bis auf eine Ausnahme (20,3%), nur bei Vorlaufdauern unter 15 Minuten erzielt. Bei 8 Versuchen war kein Abfluß feststellbar (Wert 0/60 in der Abbildung).

Abb. 5.2: Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrauchten Niederschlages - und Vorlaufdauer

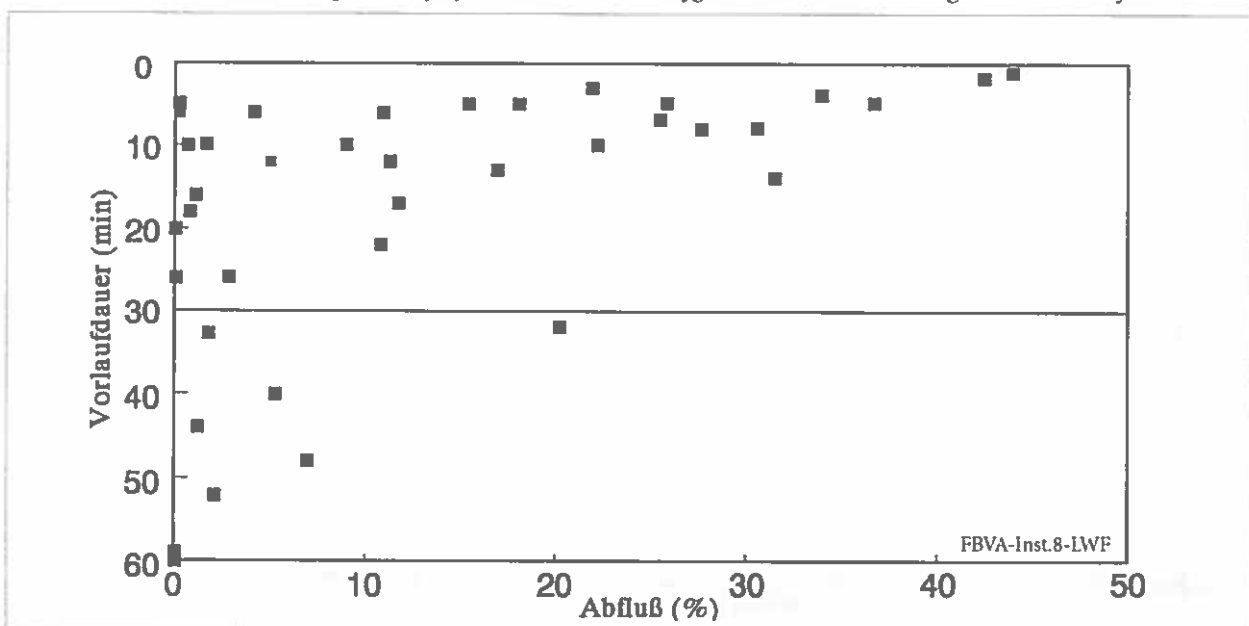




Tabelle 5.3:  
Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte -  
Ergebnisse der Zeitanalyse.  
Meßwerte aus den Versuchsperioden 1989 und 1990

Datenbereich: Parzellengesamtheit			
Versuchsanzahl: 45			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	90 <sup>1)</sup>	60
Gesamtdauer	119	660	60
Nachlaufdauer	59	600	0
Vorlaufdauer	24	60	1
Abflußdauer	95	628	0
Datenbereich: Weideparzellen			
Versuchsanzahl: 14			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	90 <sup>1)</sup>	60
Gesamtdauer	86	195	60
Nachlaufdauer	23	105	0
Vorlaufdauer	14	59	1
Abflußdauer	72	190	1
Datenbereich: Waldparzellen			
Versuchsanzahl: 17			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	142	660	60
Nachlaufdauer	82	600	0
Vorlaufdauer	44	60	6
Abflußdauer	97	628	0
Datenbereich: Pistenparzellen			
Versuchsanzahl: 14			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	126	300	82
Nachlaufdauer	66	240	22
Vorlaufdauer	11	26	3
Abflußdauer	115	287	56

1) Anmerkung: Die Beregnungsdauer betrug in der Regel 60 Minuten.  
Bei einem einzigen Versuch wurde sie auf 90 Minuten gesteigert.

### 5.3 Zusammenhang zwischen Parzellenneigung und Abfluß

Wie schon in früheren Untersuchungen (Schaffhauser 1981, 1982, 1983; Schweighofer 1989) festgestellt, ist der Einfluß der Neigung auf den Abfluß unversiegelter Flächen weder als entscheidend anzusehen, noch ist ein mathematisch nachvollziehbarer Zusammenhang gegeben. In einer Gesamtschau aller Versuche (1989 und 1990) wird diese Aussage mit Nachdruck (siehe Abb. 5.3) bestätigt. Abgesehen von den beiden Abflußhöchstwerten (44 bzw. 42,5%, bei einer zugehörigen Hangneigung von 60%), die von einer Weideparzellen stammen, weisen auch Meßflächen mit geringer Neigung sehr hohe Abflüsse auf. Als Beispiel sei eine Pistenparzelle mit 32% Hangneigung und 36,7% Abfluß angeführt. Demgegenüber gab es auch Meßflächen mit großer Neigung, die in der Lage waren, die gesamte auf sie fallende Niederschlagsfracht aufzunehmen.

Es wird mit dieser Grafik (Abb. 5.3), die alle Werte beider Meßperioden enthält also auch die der jeweiligen Versuchswiederholungen in jeder Periode auch unterstrichen, daß andere Faktoren als die Hangneigung stärkeren Einfluß auf das Verhältnis zwischen Niederschlag und Abfluß ausüben.

Durch Einordnung der Meßflächen in die drei gewählten Bewirtschaftungsgruppen wird diese Aussage untermauert. Die Abbildungen 5.4 bis 5.6 zeigen die entsprechenden Gegenüberstellungen. Bei keinem der untersuchten Bewirtschaftungsverhältnisse ist ein Zusammenhang zwischen Neigung und Abfluß festzustellen. Es zeigt sich vielmehr die Größe der Bandbrei-

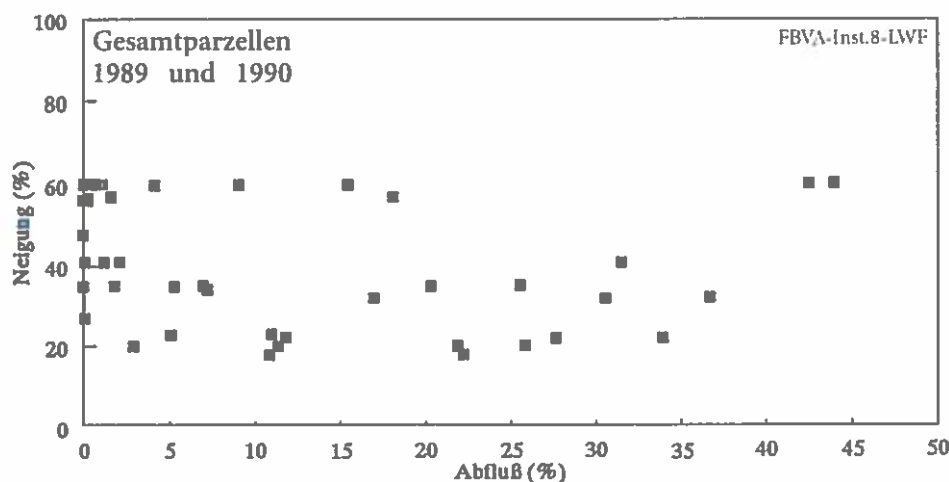


Abb. 5.3:  
Gegenüberstellung von Abfluß - in Prozent des aufgebrachten Niederschlags - und Neigung der entsprechenden Meßparzellen



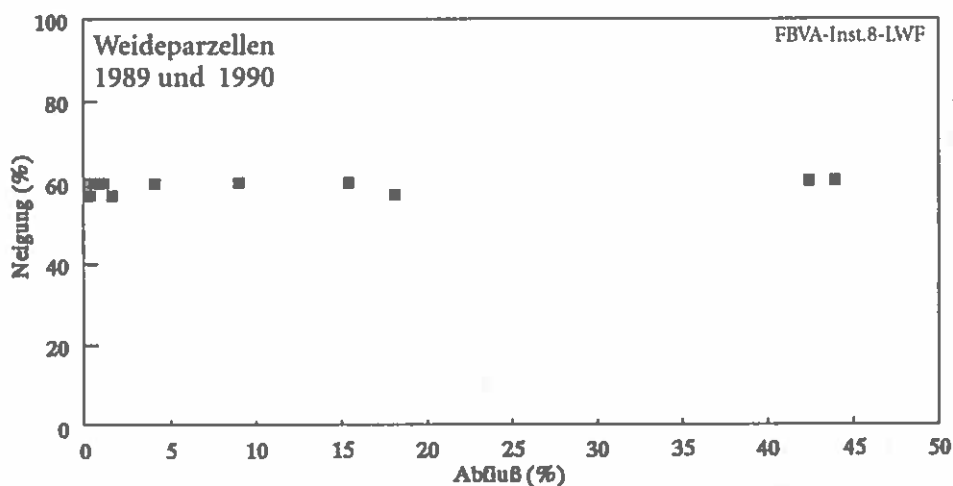


Abb. 5.4:  
Gegenüberstellung von Ab-  
fluß - in Prozent des aufge-  
brachten Niederschlags -  
und Neigung der entspre-  
chenden Weideparzellen

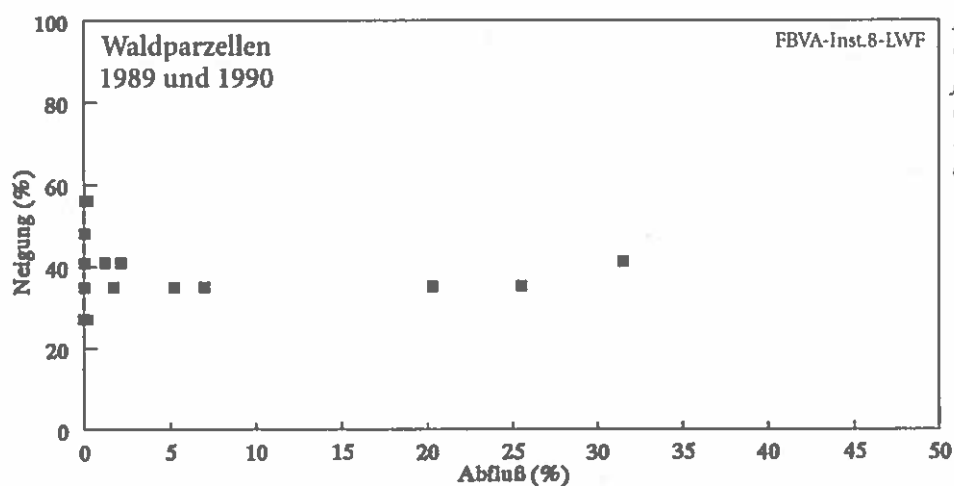


Abb. 5.5:  
Gegenüberstellung von Ab-  
fluß - in Prozent des aufge-  
brachten Niederschlags -  
und Neigung der entspre-  
chenden Waldparzellen

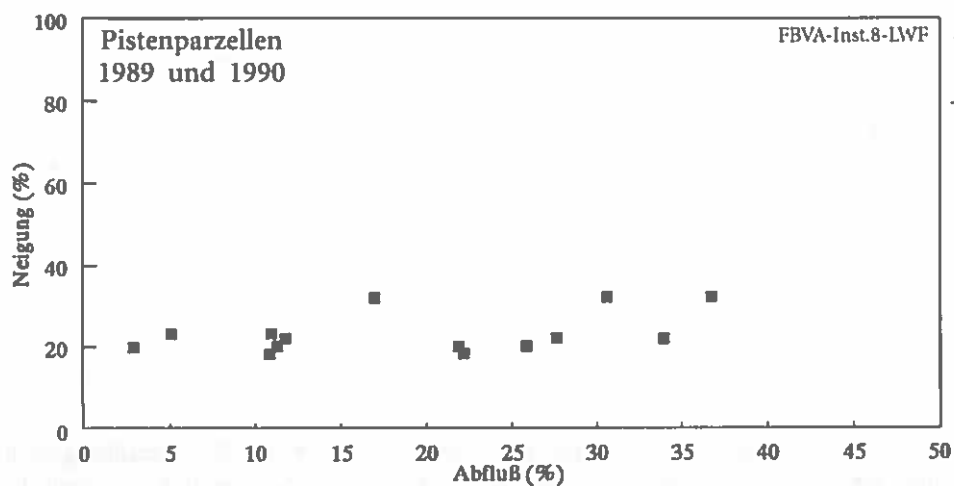


Abb. 5.6:  
Gegenüberstellung von Ab-  
fluß - in Prozent des aufge-  
brachten Niederschlags -  
und Neigung der entspre-  
chenden Pistenparzellen

te der Abflüsse bei annähernd gleicher Hangneigung. Die Gruppe der Waldparzellen ragt besonders durch die große Zahl von Messungen heraus, die keinen bzw. nur geringen Abfluß aufweisen und zeigt dadurch die Fähigkeit großen Wasseraufnahmevermögens, auch bei großen Neigungen, in mehreren Fällen.

Die deutlichste Aussage über den "Zusammenhang" zwischen Neigung und Abfluß steuert wohl die Gruppe der Weideparzellen, auf Grund der geringen Schwankungsbreite der Parzellenneigungen, bei. Bei Hangneigungen zwischen 57% und 60% lagen die gemessenen Abflüsse zwischen 0 und 44%. Die Auswahl der Meßparzellen erfolgte nach Verfügbarkeit des für die Berechnung notwendigen Wasserdargebotes bzw. der Erreichbarkeit von Meßflächen und nach Bewirtschaftungseinheiten. Eine stärkere Fächerung der Neigungen der Parzellen innerhalb der Bewirtschaftungseinheiten war bei den durchgeführten Meßreihen nicht möglich. Es ist daher den oben genannten Randbedingungen zuzuschreiben, daß die Gruppe der Pistenparzellen die mit 23,1% im Mittel geringste, und die der Weideparzelle die mit 59,1% im Mittel größte Parzellenneigung aufweisen. Eine Aufgliederung der Neignungsverhältnisse ist der Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (siehe Tabelle 5.1) zu entnehmen.

#### 5.4 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse der Versuchsperioden 1989 und 1990

Dem Projektanten von Schutzmaßnahmen wird durch Richtlinien verbindlich vorgeschrieben, auf welches Wiederkehrintervall eines Hochwasserereignisses er seine weiteren Berechnungen und Planungen aufzubauen hat. Es ist aber bekannt, daß ein Niederschlag bestimmter Jährlichkeit nicht zwangsläufig ein Abflußereignis der gleichen Jährlichkeit hervorrufen muß.

Eine Ursache dafür ist - neben einer Reihe anderer Einflüsse wie dem Niedergang eines Starkregenereignisses nur über einem Teil des Einzugsgebietes, einer möglichen Überlagerung von Regen und Schneeschmelze, jahreszeitlichen Änderungen der Retentionswirkung der Vegetation, u.a. - der Sättigungsgrad der Böden des Gebietes mit Wasser.

Welchen Einfluß dieser Parameter ausübt, wurde durch das schon eingangs beschriebene System der Versuchswiederholung untersucht.

Von den insgesamt 14 Parzellen konnten, teils wegen ungünstiger Witterungsbedingungen und teils aus organisatorischen Gründen, nur die Parzellen 1 bis 9 in beiden oben genannten Jahren einer Starkre-

gensimulation unterzogen werden. Doch schon die Versuchsergebnisse aus dieser verringerten Anzahl von Meßparzellen sorgen für aufschlußreiche Erkenntnisse. Diese sollten bei der Beurteilung von aus anderen Meßreihen gewonnenen Abflußwerten berücksichtigt werden, denn die Ergebnisse beider Versuchsperioden (1989 und 1990) differieren, sowohl die Abflüsse als auch die zeitlichen Verläufe betreffend, beträchtlich.

##### 5.4.1 Vergleich der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses

Betrachtet man das Abflußgeschehen, so liegen die Werte von 1990 deutlich unter den Vergleichswerten von 1989 (siehe Tabelle 5.4). Der Maximalabfluß ging von 44% auf 17% zurück. Der Mittelwert der Abflüsse lag 1989 bei 20,8% und 1990 gar nur bei 4,6%! Rückgänge ähnlicher Größe zeigten sich bei allen Phasen der Versuchsabläufe.

Bei Aufgliederung der Meßergebnisse in die drei gewählten Bewirtschaftungsarten und Einführung eines Verhältniswertes - Gesamtabfluß 1989 zu Gesamtabfluß 1990 - kommen weitere nicht unerhebliche Details zum Vorschein. So betrug der oben genannte Faktor - im Vergleich der Maximalwerte - bei Weideparzellen 2,86, bei Waldparzellen 4,5 und bei Pistenparzellen 2,16 sowie bei der Parzellengesamtheit 2,59. Der Rückgang des Abflusses war also bei den Waldparzellen, die ohnehin die niedrigsten Maximalwerte aufwiesen, am größten. Errechnet man die Verhältniswerte für den Mittelwert der Gesamtabflüsse der einzelnen Klassen, so zeigt sich diese Eigenschaft der Waldparzellen mit Faktor 10 noch stärker. Bei der Gruppe der Weideparzellen zeigt sich nun auch eine deutlich ausgeprägtere Änderung mit Faktor 4,32. Nur die Gruppe der Pistenparzellen erfährt mit einem Wert von 2,73 keine wesentliche Änderung zwischen Maximal- und Mittelwerten und drückt dadurch den Wert der Parzellengesamtheit auf 4,52.

Starke Unterschiede im Abflußgeschehen beider Versuchsperioden zeigen sich auch in der Tabelle der Abflußwerte nach 30 Minuten (Tabelle 5.5). Einem Abflußmaximum von 40,3% (1989) steht ein Wert von 11,1% (1990) entgegen. Auch der Mittelwert ging von 12,3% auf 1,5% zurück, wobei 1990 bei der Gruppe der Waldparzellen nach 30 Minuten der Beregnung überhaupt kein Abfluß zu verzeichnen war.

Als zusätzliche Information sei an dieser Stelle - ebenfalls in Tabellenform - auch die Gesamtheit der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses aus dem Jahr 1990 den Ergebnissen der Versuchsserien 1989 gegenübergestellt (siehe Tabelle 5.6). Diese Tabelle enthält also auch die

Werte von Parzellen, die 1989 noch nicht berechnet wurden. Es zeigt sich dadurch keine wesentliche Veränderung des zuvor gezeichneten Bildes. Der Mittelwert für den Gesamtabfluß stieg gegenüber Tabelle 5.4 geringfügig auf 4,7%, bei der Gruppe der Waldparzellen kam es zu einer Senkung des Wertes. Die Erhöhung des Maximalwertes der Parzellengesamtheit von 17% auf 22,2% wurde durch eine Pistenparzelle ausgelöst. Die-

ser Wert des Jahres 1990 liegt aber noch weit unter dem Maximalwert von 44% im Jahr 1989.

Bei den entsprechenden Meßwerten nach 30 Minuten (Tabelle 5.7) führte die Ergänzung der Tabelle durch die zusätzlichen Parzellen zu einem Anstieg des Mittelwertes der Parzellengesamtheit von 1,5 auf 1,8%, was in Anbetracht der 12,3% des zu vergleichenden Wertes aus dem Jahr 1989 noch äußerst niedrig ist.

Tabelle 5.4:

Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgetragenen Niederschlages). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für die Gesamtaufnahme der Versuchsflächen beigelegt (Versuchsperioden 1989 und 1990).

Datenbereich: Parzellen 1-9						
Abfluß (%)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Gesamt	20,8	4,6	44,0	17,0	0,8	0,0
Beregnungsphase	17,2	3,1	41,7	14,3	0,7	0,0
Nachlaufphase	3,6	1,5	16,4	6,6	0,1	0,0
Gesamtaufnahme	79,2	95,4	99,2	100,0	56,0	83,0
Datenbereich: Weideparzellen (1-3)						
Abfluß (%)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Gesamt	16,0	3,7	44,0	15,4	0,8	0,0
Beregnungsphase	14,5	3,3	41,7	14,3	0,7	0,0
Nachlaufphase	1,5	0,4	5,8	1,2	0,1	0,0
Gesamtaufnahme	84,0	96,3	99,2	100,0	56,0	84,6
Datenbereich: Waldparzellen (4-6)						
Abfluß (%)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Gesamt	17,0	1,7	31,5	7,0	2,1	0,0
Beregnungsphase	10,0	0,4	24,4	0,9	0,7	0,0
Nachlaufphase	7,0	1,3	16,4	6,3	1,5	0,0
Gesamtaufnahme	83,0	98,3	97,9	100,0	68,5	93,0
Datenbereich: Pistenparzellen (7-9)						
Abfluß (%)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Gesamt	29,5	10,8	36,7	17,0	21,9	2,9
Beregnungsphase	26,2	7,1	33,1	12,0	19,4	2,0
Nachlaufphase	3,3	3,7	3,7	6,6	2,5	0,8
Gesamtaufnahme	70,5	89,2	78,1	97,1	63,3	83,0

Tabelle 5.5:

Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Beregnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Niederschlagssumme - Parzellen 1-9; Versuchsperioden 1989 und 1990.

Datenbereich: Parzellen 1-9						
Abfluß 30 min (%)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Parzellengesamtheit	12,3	1,5	40,3	11,1	0,0	0,0
Weideparzellen	12,1	2,4	40,3	11,1	0,2	0,0
Waldparzellen	2,1	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0
Pistenparzellen	21,0	1,9	28,0	3,5	17,0	0,1

Tabelle 5.6:

Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte des Abflusses (in % des aufgetragenen Niederschlages). Als Zusatzinformation wurden die entsprechenden Werte für die Gesamtaufnahme der Versuchsflächen beigelegt (Parzellengesamtheit; Versuchsperiode 1990).

Datenbereich: Parzellengesamtheit 1990			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	4,7	22,2	0,0
Beregnungsphase	3,6	19,4	0,0
Nachlaufphase	1,2	6,6	0,0
Gesamtaufnahme	95,3	100,0	77,8
Datenbereich: Weideparzellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	3,7	15,4	0,0
Beregnungsphase	3,3	14,3	0,0
Nachlaufphase	0,4	1,2	0,0
Gesamtaufnahme	96,3	100,0	84,6
Datenbereich: Waldparzellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	0,9	7,0	0,0
Beregnungsphase	0,2	0,9	0,0
Nachlaufphase	0,7	6,3	0,0
Gesamtaufnahme	99,1	100,0	93,0
Datenbereich: Pistenparzellen			
Abfluß (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Gesamt	11,5	22,2	2,9
Beregnungsphase	8,9	19,4	2,0
Nachlaufphase	2,6	6,6	0,5
Gesamtaufnahme	88,5	97,1	77,8

Tabelle 5.7:

Aufstellung der Extrem- und Mittelwerte für den Abfluß, 30 Minuten nach Beginn der Beregnung. Abfluß in % der bis zu diesem Zeitpunkt aufgetragenen Niederschlagssumme (Parzellengesamtheit; Versuchsperiode 1990)

Datenbereich: Parzellengesamtheit 1990			
Abfluß 30 min (%)	Mittel	Maximum	Minimum
Parzellengesamtheit	1,8	12,7	0,0
Weideparzellen	2,4	11,1	0,0
Waldparzellen	0,0	0,2	0,0
Pistenparzellen	4,0	12,7	0,1

### 5.4.2 Vergleich der zeitlichen Abläufe des Abflußgeschehens

Zieht man einen Vergleich, den zeitlichen Ablauf des Abflußgeschehens betreffend, so fällt dieser ähnlich dem bei den Abflußwerten aus (Tabelle 5.8). Die mittlere Abflußdauer der Versuche ging von 129 Minuten im Jahr 1989 auf 93 Minuten im Jahr 1990 zurück. Entgegen dem Trend entwickelten sich nur Werte der Pistenparzellen. Maßgebend dafür war die auf Parzelle 8 im Jahr 1990 aufgetretene, stärkere Ver-nässung des unteren Teils der Fläche durch Hangwasser, die sich in den Meßwerten in einer Verlängerung der Abflußdauer stark niederschlug. Die Vorlaufdauer - also die Zeit von Beginn der Beregnung bis zum Abflußbeginn - stieg im Mittel von 13 Minuten auf 30 Minuten. Diese Tendenz wurde bei allen Bewirtschaftungsarten nachgewiesen.

Tabelle 5.8:

Gegenüberstellung der Extrem- und Mittelwerte - Ergebnisse der Zeitanalyse; Versuchsperioden 1989 und 1990. Die Tabelle enthält ausschließlich Werte von in beiden Versuchsperioden berechneten Parzellen.

Datenbereich: Parzellen 1-9						
Zeit (min)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Beregnungsdauer	-	-	90	60	60	60
Gesamtdauer	142	123	660	420	64	60
Nachlaufdauer	81	63	600	360	4	0
Vorlaufdauer	13	30	52	60	1	5
Abflußdauer	129	93	628	372	46	0
Datenbereich: Weideparzellen (1-3)						
Zeit (min)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Beregnungsdauer	-	-	90	60	60	60
Gesamtdauer	95	76	195	120	64	60
Nachlaufdauer	31	16	105	60	4	0
Vorlaufdauer	8	19	18	59	1	5
Abflußdauer	87	57	190	110	46	1
Datenbereich: Waldparzellen (4-6)						
Zeit (min)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Beregnungsdauer	-	-	60	60	60	60
Gesamtdauer	252	130	660	420	98	60
Nachlaufdauer	192	70	600	360	38	0
Vorlaufdauer	29	51	52	60	7	33
Abflußdauer	223	79	628	372	46	0
Datenbereich: Pistenparzellen (7-9)						
Zeit (min)	Mittel		Maximum		Minimum	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Beregnungsdauer	-	-	60	60	60	60
Gesamtdauer	106	195	122	300	94	82
Nachlaufdauer	46	135	62	240	34	22
Vorlaufdauer	6	17	8	26	3	12
Abflußdauer	101	178	117	287	91	56

Ergänzt man aber die Meßwerte aus dem Jahr 1990 mit den Werten der im Jahr 1989 nicht berechneten Parzellen (Versuchsflächen 10 bis 14 aus dem Jahr 1990), wird der Einfluß der Änderung der Wasserführung auf Parzelle 8, auf den Mittelwert der Abflußdauer der Pistenparzellen wesentlich geschwächt (siehe Tabelle 5.9). Der Mittelwert der Gesamtdauer geht gegenüber den in beiden Perioden berechneten Parzellen des Jahres 1990 um weitere 19 Minuten, auf 104 Minuten zurück, die Vorlaufdauer steigt auf 32 Minuten.

Vergleicht man die Werte aus 1989 mit der Parzellengesamtheit aus 1990, so ist neben dieser Veränderung bei den Pistenparzellen (durch Parzelle 8) auch die starke Verkürzung der Gesamtdauer bei der Gruppe der Waldparzellen von 252 Minuten 1989 auf 96 Minuten 1990 bemerkenswert.

Tabelle 5.9:

Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte - Ergebnisse der Zeitanalyse - Versuchsperiode 1990 - Wertebereich: Parzellengesamtheit

Datenbereich: Parzellengesamtheit 1990			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	104	420	60
Nachlaufdauer	44	360	0
Vorlaufdauer	32	60	5
Abflußdauer	72	372	0
Datenbereich: Weideparzellen			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	76	120	60
Nachlaufdauer	16	60	0
Vorlaufdauer	19	59	5
Abflußdauer	57	110	1
Datenbereich: Waldparzellen			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	96	420	60
Nachlaufdauer	36	360	0
Vorlaufdauer	51	60	6
Abflußdauer	45	372	0
Datenbereich: Pistenparzellen			
Zeit (min)	Mittel	Maximum	Minimum
Beregnungsdauer	-	60	60
Gesamtdauer	141	300	82
Nachlaufdauer	81	240	22
Vorlaufdauer	15	26	6
Abflußdauer	126	287	56

Der maßgebliche Grund für das stark unterschiedliche Verhalten ein und derselben Parzellen bei Versuchsdurchläufen in zwei aufeinanderfolgenden Jahren, im speziellen die große Differenz bei den Abflüssen und die starke Verkürzung der Abfluß- bzw. Gesamtdauer der Versuche von 1989 auf 1990, und damit das erhöhte Wasseraufnahmevermögen der Böden im Jahr 1990, wird in der wesentlich geringeren natürlichen Vorbefeuchtung der Böden der Versuchspartellen gesehen, die auch durch zweimalige Beregnung in kurzem Zeitabstand nicht ausgeglichen werden konnte.

Hier zeigt sich auch, wie wichtig es ist, über aktuelle Niederschlagsdaten aus dem Untersuchungsgebiet zu verfügen. Das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt führt - neben einer Reihe anderer Untersuchungen - seit 1987 Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet des Oselitzenbaches durch. Zur Beurteilung der naturgegebenen Vorbefeuchtung der Böden wurden die Werte einer nahe den untersuchten Parzellen gelegenen Meßstelle herangezogen. Ein erster Vergleich der Werte vom Beginn des jährlichen Stationsbetriebes dieser Meßstelle (1. Mai) bis zum jeweiligen Beginn der Versuchsserie in den betreffenden Jahren, zeigt eklatante Unterschiede im Niederschlagsgeschehen auf. Verzeichnete die Meßstelle im Jahr 1989 eine Niederschlagssumme von 630,1 mm, so belief sich diese im Jahr 1990 nur auf 190,6 mm! Zieht man einen Beobachtungszeitraum von jeweils 6 Wochen vor Beginn der Versuchsserien heran, beträgt die Niederschlagssumme 1989 noch 464,9 mm. Diesem Wert stehen 1990 - die schon oben erwähnten - 190,6 mm

gegenüber, da in den Tagen davor kein Niederschlag verzeichnet wurde. Betrachtet man die letzten 10 Tage vor Beginn der jeweiligen Versuchsreihe, ergibt sich folgendes Bild: Im Jahr 1989 verzeichnete das Meßgerät eine Niederschlagssumme von 105,3 mm, im Jahr 1990 eine von 34,9 mm. Es ist augenscheinlich, daß dieser Unterschied in der Niederschlagssituation zu einer entsprechenden Differenz in der Sättigung und damit im Abflußverhalten der Böden geführt hat. Wie in Tabelle 5.4 gezeigt, war die Reaktion auf diese unterschiedlichen Bedingungen bei der Gruppe der Waldparzellen am deutlichsten.

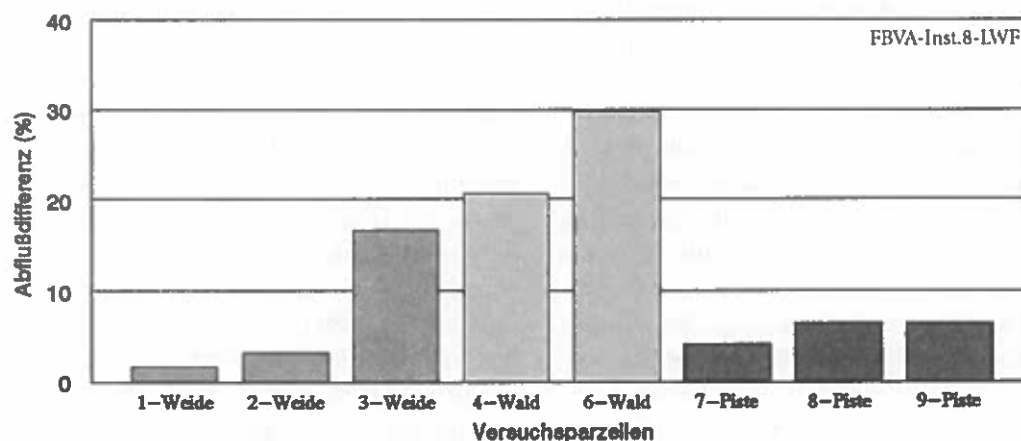
### 5.5 Auswirkungen der künstlichen Vorbefeuchtung durch Versuchswiederholung

Wie aus den unterschiedlichen Versuchsergebnissen der Perioden 1989 und 1990 ersichtlich, war es - trotz Wiederholung der Starkregensimulation innerhalb kurzer Zeit mit sehr großer Niederschlagsfracht - nicht möglich, die Böden der Parzellen mit Wasser zu sättigen. Das Wasseraufnahmevermögen betrug deshalb auch im Fall der Versuchswiederholung bei geringer natürlicher Vorbefeuchtung auf einigen Parzellen bis zu 100%. Das Meßsystem lieferte aber dennoch wichtige Aussagen. So zeigten sich, wie im vorigen Kapitel beleuchtet, deutliche Unterschiede in den Abflußeigenschaften, in Abhängigkeit von Vorbefeuchtung und Bewirtschaftung.

Abb. 5.7 und 5.8 zeigen die durch Versuchswiederholung hervorgerufene Abflußänderung auf den untersuchten Parzellen mit verschiedenen Bewirtschaf-

Abb. 5.7:

Abflußänderung bei Versuchswiederholung: Differenz in % der aufgebrauchten Niederschlagsfracht - Versuchsperiode 1989

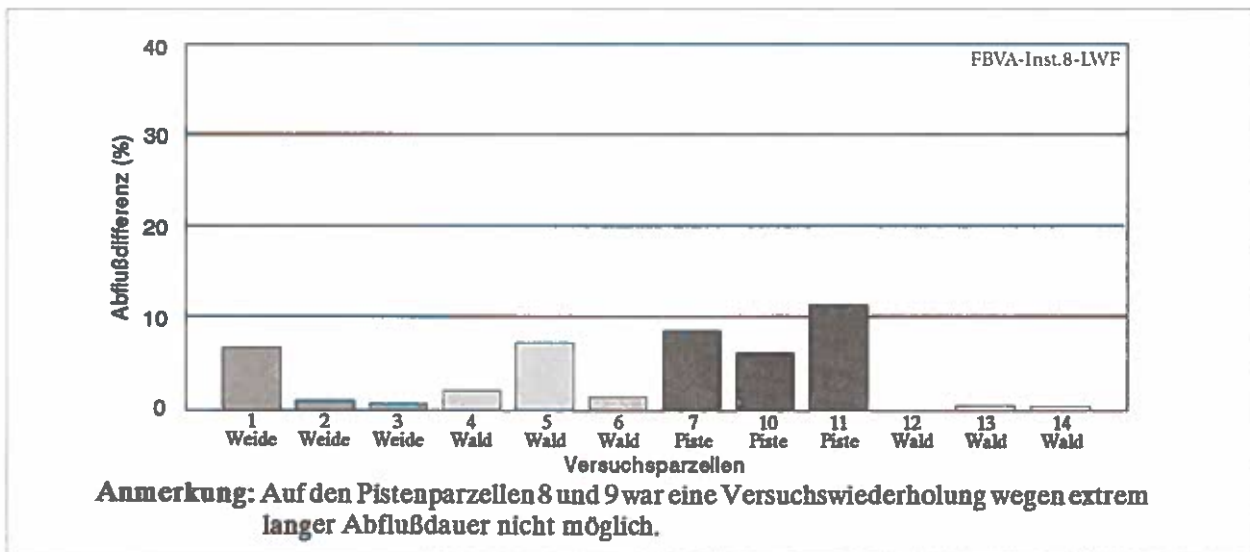


**Anmerkung:** Auf Parzelle 5-Wald war eine Versuchswiederholung wegen extrem langer Abflußdauer nicht möglich.



Abb. 5.8:

Abflußänderung bei Versuchswiederholung: Differenz in % der aufgetragenen Niederschlagsfracht - Versuchsperiode 1990



tungsarten. Die Differenz der Abflußwerte (aus Erst- und Zweitberechnung) betrug im Jahr 1989 - also im Versuchsjahr mit hoher natürlicher Vorbeefeuchtung - im Mittel 10,9%, im Jahr 1990 - einem Jahr mit relativ niedriger Vorfeuchte - im Mittel 3,6%. Die maximale Differenz betrug im erstgenannten Jahr 29,4%, 1990 nur 11,4%. Die Abflußänderung fiel also bei hoher natürlicher Vorbeefeuchtung, also bei einem hohen Ausgangssättigungsgrad des Bodens, wesentlich stärker aus als bei eher trockenen Böden. Es war also durch das gewählte System nicht möglich, relativ trockene Böden durch Vorberegnung zu sättigen und dadurch, zumindest im Zweitversuch, annähernd maximale Abflußwerte zu erreichen.

Ein annähernd konstanter Abfluß konnte bei der Gruppe der Waldparzellen nie erreicht werden, bei den anderen beiden Bewirtschaftungsarten oft erst bei höherer Vorbeefeuchtung, also im Zweitversuch. Das in einem solchen Fall erreichte Niveau annähernd konstanten Abflusses darf aber nicht zur Annahme verleiten, daß der Boden die maximale Wasseraufnahmekapazität erreicht hat, oder der erzielte Abfluß, der maximal mögliche auf der Fläche ist. Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen, können hier beträchtliche Differenzen auftreten. Dies sei an Hand der Versuchsabläufe auf Parzelle 7 - Abb. 5.9 - und Parzelle 1 - Abb. 5.10 - gezeigt. Zur weiteren Verdeutlichung der Unterschiedlichkeit der Auswirkungen von Erst- und Zweitberegnung sei noch Abbildung 5.11 beigelegt, die das Abflußverhalten auf Parzelle 6 - einer Waldparzelle - zeigt, auf der im Erstversuch 1990 kein Abfluß verzeichnet werden konnte.

Auf den ersten Blick könnte man bei Parzelle 6 dem Glauben erliegen, daß von dieser Fläche ein besonders großer Teil des Niederschlags zum Abfluß gelangt. Dies stimmt jedoch nur bedingt. Denn erst bei hoher natürlicher Vorbeefeuchtung, in Verbindung mit Vorberegnung und nach 14 Minuten der Wiederberegnung mit einer Intensität von 100 mm/h, begann der Abfluß einzusetzen. Errechnet man die Abflußsumme nach 30 Minuten der Zweitberegnung für das Jahr 1989 - so weist die Waldparzelle erst 6,8%, die zum Vergleich herangezogene Pistenparzelle 17,5% und die Weideparzelle einen Abfluß von 32,3% des aufgetragenen Niederschlags auf.

In den obigen Grafiken ist auch deutlich die Veränderung der Vorlaufdauer bei den einzelnen Versuchen erkennbar. Die entsprechenden Werte für alle zweifach beregneten Parzellen sind in den Abbildungen 5.12 und 5.13 graphisch dargestellt. Die mittlere Änderung im Jahr 1989 betrug 11,5 Minuten, wobei es sich - mit Ausnahme von Parzelle 7 - durchwegs um eine Verkürzung der Vorlaufdauer handelte. Die maximale Änderung in diesem Jahr lag bei einer Reduktion um 38 Minuten, im Jahr darauf um 54 Minuten. Aus diesen Grafiken ist auch deutlich der Unterschied der Bewirtschaftungsgruppen im Abflußzeitverhalten zu ersehen. Bei der gegebenen, großen Vorbeefeuchtung im Jahr 1989 fiel die Änderung der Vorlaufdauer bei Waldparzellen wesentlich größer aus als bei den übrigen Bewirtschaftungsarten. Ebenso fiel die Änderung der Vorlaufdauer bei den Waldparzellen im Jahr 1989 wesentlich deutlicher aus als bei denselben Parzellen im darauffolgenden Jahr (siehe Abb. 5.13).

Abb. 5.9: Starkregensimulation auf Parzelle 7 - Piste

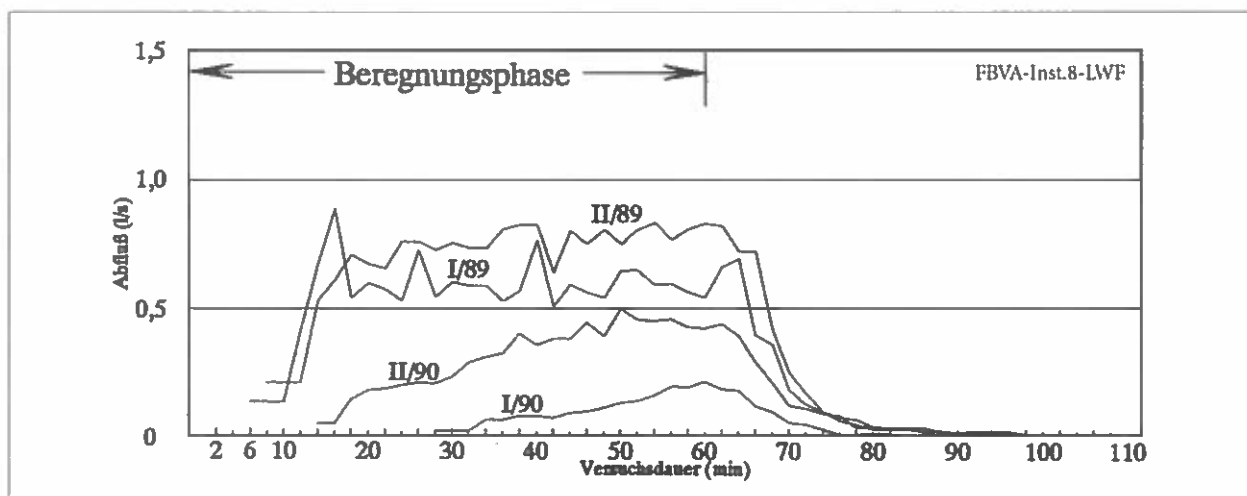


Abb. 5.10: Starkregensimulation auf Parzelle 1 - Weide

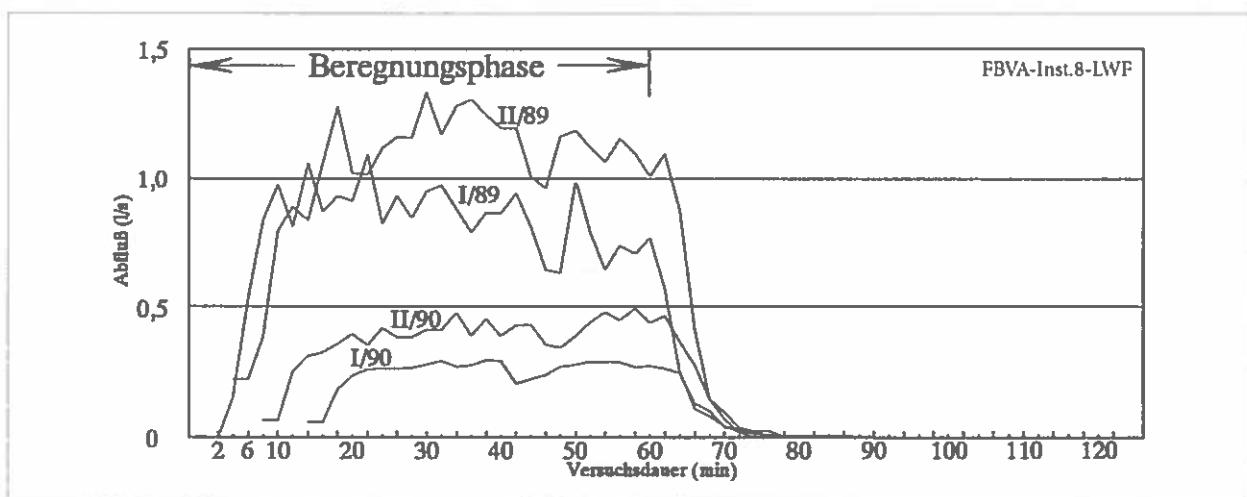
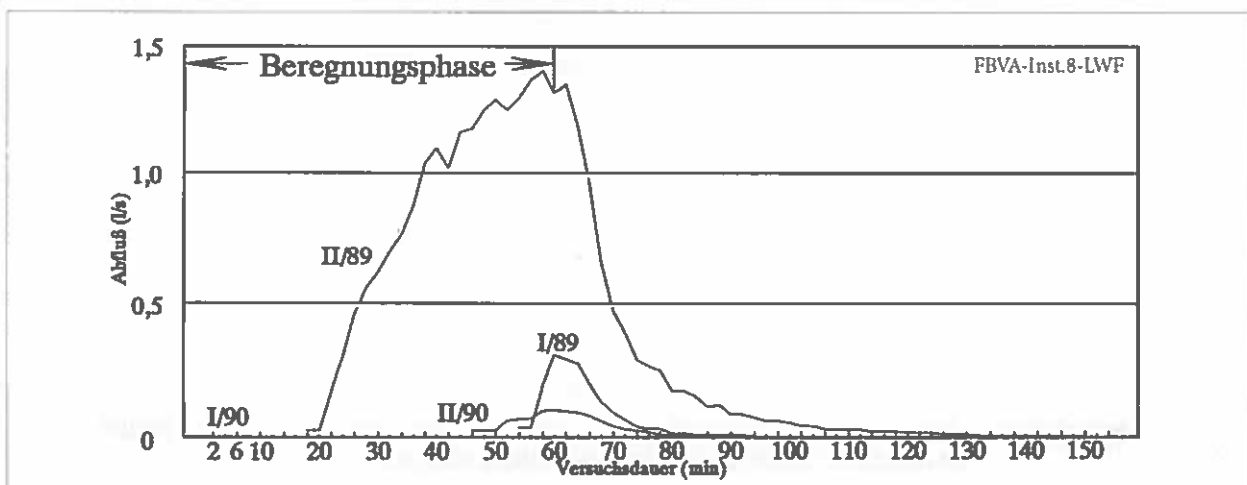


Abb. 5.11: Starkregensimulation auf Parzelle 6 - Wald



Eine Sonderstellung nimmt Versuchsfläche 13 ein, die, wie schon unter Punkt 4.2.13 erwähnt, durch ungünstige äußere Umstände in ihrem Abflußverhalten beeinflusst wurde. Der Gesamtabfluß auf dieser Parzelle betrug im Erstversuch 0% und bei der Wiederholung 0,3%. Dieser geringe Abfluß führt zu einer Änderung der Vorlaufdauer von 54 min - ein Ausreißer wie in Abb. 5.13 ersichtlich. Berücksichtigt man auf Grund dieses vernachlässigbar kleinen Abflusses, der vermutlich noch dazu nicht ursächlich mit der Beschaffenheit der Parzelle selbst zusammenhängt, den Wert dieser Parzelle bei der Mittelwertbildung für das Jahr 1990 nicht, ergibt sich eine mittlere

Zeitreduktion der Vorlaufdauer um 11,2 Minuten. Läßt man den Wert in der Berechnung, bleibt ein Mittelwert der Vorlaufdauerreduktion von 14,8 Minuten für das Jahr 1990.

Die Werte der Vorlaufdaueränderung für Parzelle 4 und 6, die die Maximalwerte im Jahr 1989 darstellten, gingen im trockenen Jahr 1990 deutlich zurück. Der Änderungswert von Parzelle 4 bildete zwar - mit Ausnahme von Parzelle 13 - wieder einen Höchstwert, dieser fiel aber mit 27 Minuten wesentlich geringer aus als im Jahr 1989 mit 33 Minuten. Die Änderungen in der Vorlaufdauer sind im Jahr 1990, bis auf die erwähnte Ausnahme, ausgeglichener als im Jahr davor.

Abb. 5.12:

Änderung der Vorlaufdauer bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1989

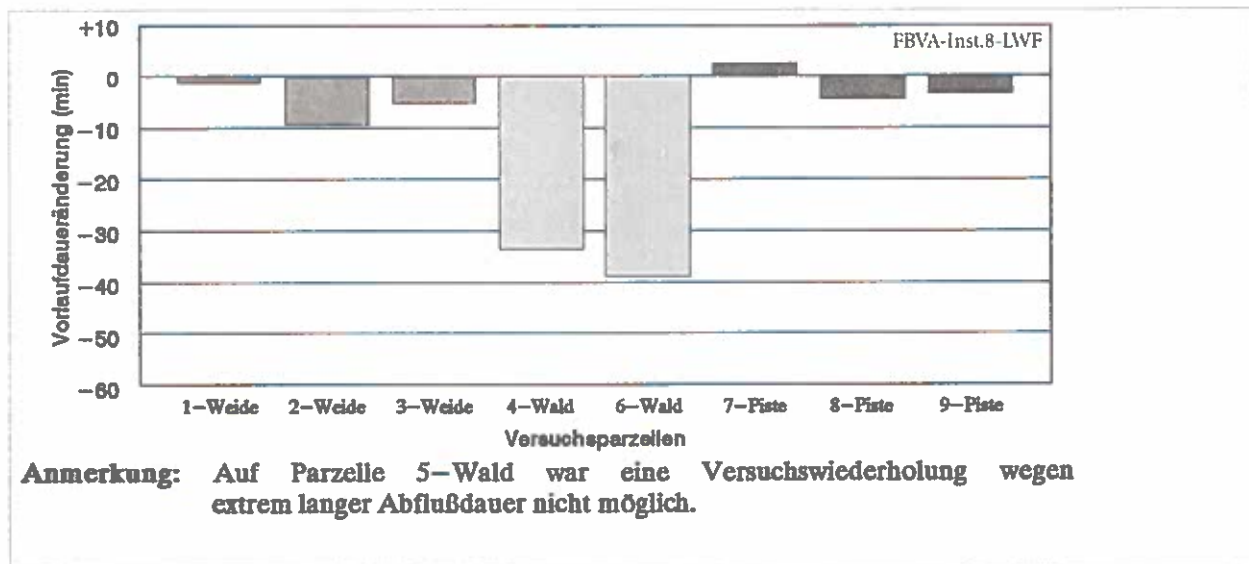
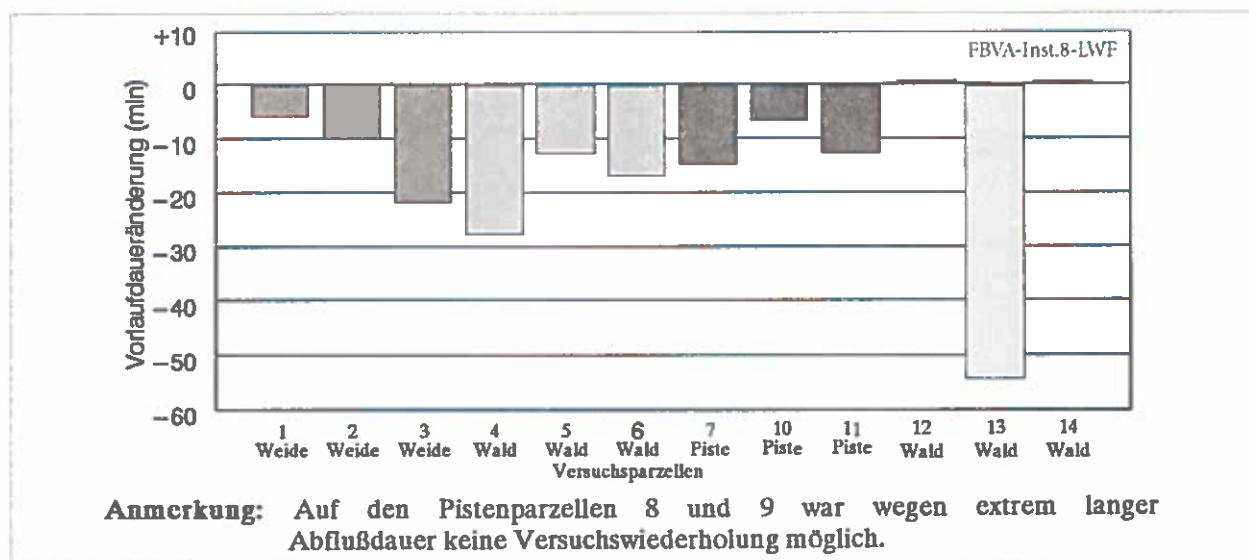


Abb. 5.13:

Änderung der Vorlaufdauer bei Versuchswiederholung - Versuchsperiode 1990





Den Absolutwerten wird im Falle der Vorlaufdauer in ihrer Aussagekraft für die Abschätzung von Hochwasserabflußereignissen, mehr Bedeutung beigemessen, da hier der geringstmögliche Reaktionszeitraum gefragt ist. Aus diesem Grund wurde für die Abbildungen 5.12 und 5.13 der Darstellung in Form von Prozentwertänderungen der Nachrang gegeben. Die Feststellung der Änderungen des Abflusses sowie der zeitlichen Änderungen erfüllt andere Zwecke.

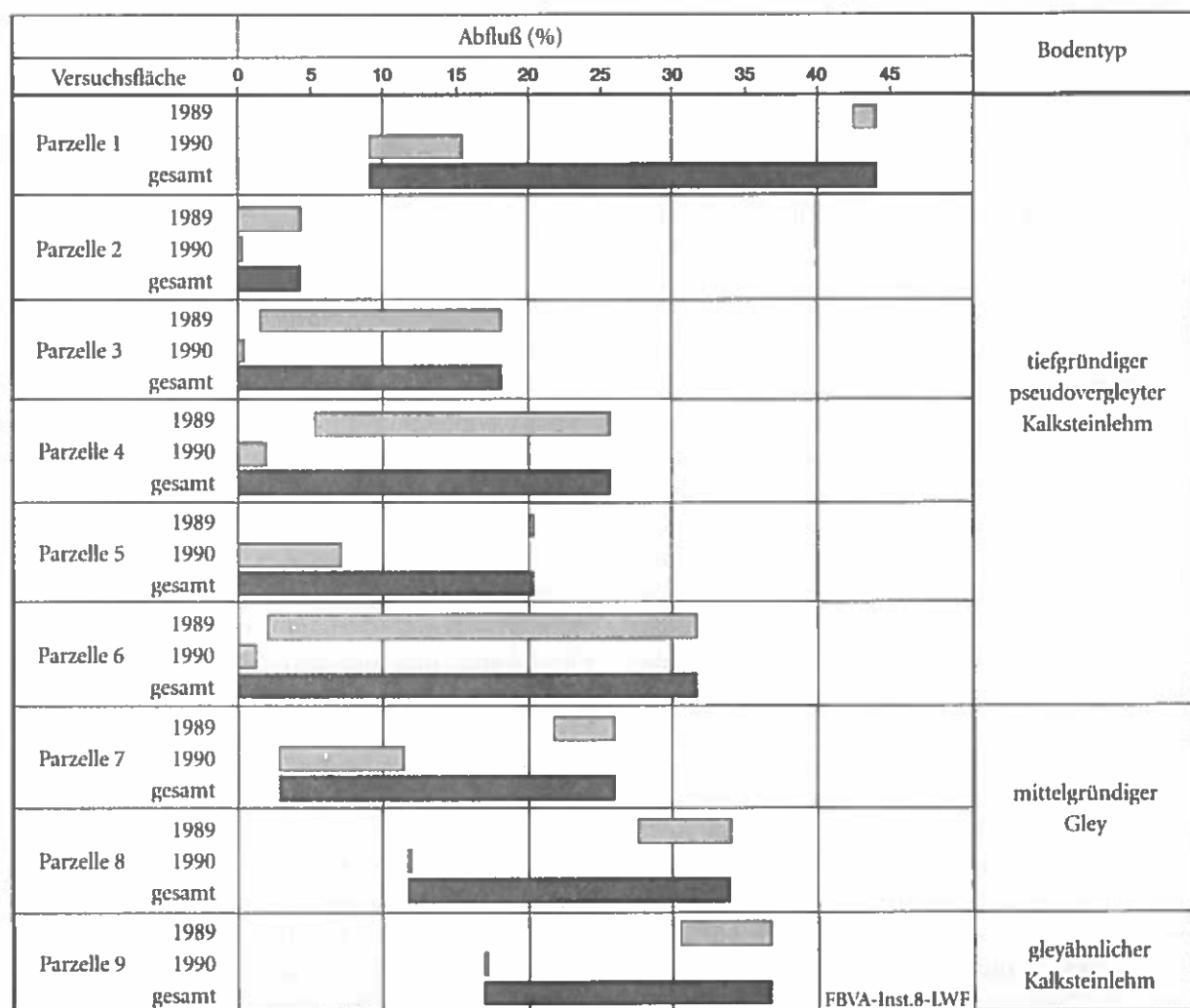
Es ist durch das gewählte System der zweifachen Wiederberechnung nachgewiesen, daß Meßwerte die aus Versuchsreihen stammen, bei welchen Versuchsflächen nur einfach berechnet wurden - ohne absolute Sättigung des Bodens mit Wasser nachzuweisen - auch dann nicht als maximale Abflußwerte anzusehen sind, wenn berechnet wurde bis sich ein annähernd konstanter Abfluß über längere Zeit einstellte.

## 5.6 Aussagen zum Zusammenspiel Abfluß, Boden und Vegetation

Ordnet man die Versuchspartzellen in ein morphologisches Klassifikationssystem (Schroeder 1978) ein, so zählen diese zur Gruppe der hydromorphen Böden. Die Bandbreite geht dabei von pseudovergleyten, über vergleyte Kalksteinlehme bis zu Gleyböden. Eine Zuordnung von Abflußbeiwerten zu Bodentypen ist wegen der Vielfalt der Einflußfaktoren auf den Wasserhaushalt - speziell das Verhältnis von Sickerwasser zu oberflächlich oder oberflächennah abfließendem Wasser - nicht möglich. Es läßt sich lediglich die Spannweite der festgestellten Abflüsse auf den Versuchspartzellen aufzeigen. Diese wird dokumentiert durch Festhalten der Werte von Erst- und Zweitberechnung im jeweiligen Versuchsjahr und Darstellung der Extremwer-

Abb. 5.14:

Darstellung der Spannweiten der Abflüsse auf den in beiden Versuchsperioden berechneten Partzellen; Abflüsse in % des aufgetragenen Niederschlags



te des Abflusses auf den jeweiligen Parzellen in Form eines Balkendiagrammes (siehe Abb. 5.14). Konnte im betreffenden Versuchsjahr nur eine Berechnung durchgeführt werden, wurde dieser Einzelwert als Grenzwert für die Abgrenzung der Gesamtspannweite herangezogen. Diese Vorgangsweise führt nur auf Parzelle 5 im feuchten Jahr 1989 zu einer Verfälschung des Gesamtbildes, da der Wert der Zweitberechnung sicher höher ausgefallen wäre und damit die Spannweite des Abflusses vergrößert hätte, während die Zweitberechnung im trockenen Jahr 1990 auf Parzelle 8 und 9, mit großer Wahrscheinlichkeit, ohne Einfluß auf die Gesamtspannweite geblieben wäre.

Die Ergebnisse der Berechnungen von Parzelle 10-14 wurden nicht in die Grafik aufgenommen, da diese Flächen nur in einem Jahr zur Durchführung von Versuchen herangezogen wurden.

Eine präzise Zuordnung von Abflußeigenschaften zu einem bestimmten Boden bedarf sowohl der Durchführung weiterer Versuche zur Vergrößerung des Ausgangsdatenmaterials, als auch der Feststellung weiterer Größen des Edaphons, wie der Anteile der einzelnen Kornfraktionen (Kornverteilungskurven), aber auch von Eigenschaften wie der Dichte und Konsistenz (Lagerungsdichte), in welcher auch die Stabilität des Bodengefüges inkludiert ist.

Auch der Einfluß der Vegetation allein auf die Abflußbildung läßt sich - größenordnungsmäßig - aus dem vorhandenem Datenmaterial nicht ablesen. Vielmehr gilt die Darstellung der Spannweite des Abflusses für den vorgefundenen Komplex Boden (-zustand) und Vegetation. Eine getrennte Betrachtung dieser Bestandteile könnte nur unter Laborbedingungen erfolgen.

Im Gegensatz zu anderen Wissensgebieten, in welchen unter Laborbedingungen gefundene Eigenschaften dazu dienen, neue Materialien mit entsprechend günstigen Eigenschaften zusammenzusetzen, geht es bei den hier durchgeführten Untersuchungen darum, naturgebene Komplexkombinationen festzustellen, deren Eigenschaften (besonders das Abflußverhalten) zu untersuchen und dadurch Rückschlüsse auf das Verhalten größerer Einheiten zu ziehen. Felderhebungen und -versuche können daher nicht durch Laborversuche ersetzt, sondern lediglich ergänzt werden. Worin liegt nun der Wert der vorliegenden Aufnahmen von Boden und Vegetation?

- a) Wie bei der Beurteilung der Anwendbarkeit von Faust- oder Schätzformeln - auf die gerade im Bereich der Wildbachverbauung häufig zurückgegriffen werden muß - ist es auch bei der Bewertung der Ereignisse der vorliegenden Versuchsrei-

hen unabdingbar, die jeweiligen Randbedingungen zu kennen, unter denen diese Ergebnisse zustande kamen. Bei der Analyse der Meßwerte bildet der Komplex "Boden-Vegetation" den Rahmen innerhalb dessen, die aus vergleichbaren Versuchen ermittelten, Werte und Aussagen Gültigkeit haben.

- b) Nur bei Kenntnis von Randbedingungen ist ein Vergleich mit Meßergebnissen und Werten anderer Versuchsreihen bzw. Untersuchungen sinnvoll bzw. eine systematische Verbesserung einer ziel-führenden Versuchsmethodik möglich.
- c) Erst durch weitere Verdichtung des Datenmaterials aus Versuchen auf verschiedenen Boden-Vegetationskomplexen wird es möglich sein, angetroffene Einflußfaktoren auf das Abflußgeschehen präziser zu gewichten und bei der Prognose von Abflußeigenschaften von Einzugsgebieten zunehmend an Sicherheit zu gewinnen.
- d) Als weiteren Effekt dieser Untersuchungen kommt es zu einer Verbesserung des Grundlagenwissens über den Bodenwasserhaushalt, das in der heutigen Zeit zunehmend an Bedeutung gewinnt. Es soll im Zuge der vorliegenden Untersuchungen aus Naturräumen gewonnenes Datenmaterial der Wissenschaft und Praxis für weitere Untersuchungen - auch ohne Bewertung - zugänglich gemacht werden.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der Simulation von Starkregenereignissen ist es, durch Erarbeitung von standortspezifischen Kennwerten zur Charakterisierung des Abflußgeschehens einen Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen zu leisten.

Wegen der Vielfalt der den Wasserhaushalt eines Standortes beeinflussenden Faktoren, wurde durch Klassifikation und Auswahl der Versuchsflächen, nach in Wildbacheinzugsgebieten häufigen und große Flächen deckenden Bewirtschaftungsarten, eine - auch für die praktische Anwendung brauchbare - Vereinfachung für die Abschätzung der bei Niederschlagsereignissen zu erwartenden Abflußspenden getroffen. Dabei traten deutliche Unterschiede im Abflußverhalten der gewählten drei Bewirtschaftungsgruppen Wald, Weide und Piste zutage.

Die Bandbreite des Abflusses erstreckt sich, bei einer Anzahl von 45 Versuchen, von 0-44% des aufge-

brachten Niederschlages. Der Höchstwert wurde auf einer der Gruppe der Weideparzellen zugeordneten Fläche erreicht. Das Abflußmaximum bei Pistenparzellen lag bei 36,7%, bei Waldparzellen bei 31,5%. Neben dem niedrigsten Maximalabflußwert wies die Gruppe der Waldparzellen mit 94,4% den höchsten Mittelwert der drei Bewirtschaftungsgruppen für das Wasseraufnahmevermögen auf. Durch Einführung eines Zwischenwertes für den Abfluß nach 30 Minuten konnte eine weitere Präzisierung bei der Beschreibung des Abflußverhaltens der Parzellen erreicht werden. Dieser Wert betrug für Waldparzellen im Mittel 0,6% (maximal 6,8%). Im Vergleich dazu lag der Mittelwert der Parzellengesamtheit bei 6,0% und der Maximalwert bei 40,3%.

Da neben der Höhe des Abflusses auch der Zeitfaktor eine wesentliche Rolle beim Ablauf von Hochwasserereignissen einnimmt, wurden die Versuche auch in Hinblick darauf einer detaillierten Analyse unterzogen. Die Abflußdauer aller Versuche schwankte zwischen 0 und 628 Minuten. Die für das Aufzeigen der Retentionswirkung wichtige Größe der Vorlaufdauer, also der Zeit, die von Beginn der Beregnung bis zum Einsetzen von Abfluß (an der Meßvorrichtung) verstreicht, lag bei Waldparzellen im Mittel bei 44 Minuten, im Mittel aller 45 Versuche bei 24 Minuten. Dem stehen Werte von 14 bzw. 11 Minuten bei Weide- bzw. Pistenparzellen gegenüber.

Dies zeigt mit aller Deutlichkeit die Retentionswirkung der untersuchten Waldparzellen und damit die guten Dämpfungseigenschaften in Bezug auf die Entstehung von Hochwassergefahren.

Die Streubreite der Neigung der Versuchspartellen lag zwischen 18% und 60%. Ein mathematisch nachvollziehbarer Zusammenhang zwischen Neigung und Abfluß konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Es ist als Zufall zu bewerten, daß die beiden höchsten Abflußwerte (44% bzw. 42,5%) bei der maximalen Hangneigung von 60% zustande kamen, da durchaus auch Flächen mit großer Neigung in der Lage waren, den gesamten Niederschlag aufzunehmen und auf Parzellen mit geringer Neigung hohe Abflüsse gemessen werden konnten.

Überraschend hoch fiel der Unterschied zwischen den Meßwerten der Jahre 1989 und 1990 aus. Vergleicht man die Werte von in beiden Perioden beregneten Parzellen, so zeigt sich, daß der Maximalwert für den Abfluß 1989 44%, der Vergleichswert des Jahres 1990 aber nur 17% betrug. Der Mittelwert der vergleichbaren Abflüsse lag im ersten Versuchsjahr bei 20,8%, im folgenden Jahr bei nur 4,6%. Dieser Trend

im Abflußverhalten zeigte sich bei allen Bewirtschaftungsgruppen, war bei der Gruppe der Waldparzellen am ausgeprägtesten und kam auch im Vergleich der zeitlichen Abläufe des Abflußgeschehens deutlich zum Ausdruck.

So ging z.B. die mittlere Abflußdauer von 129 Minuten im Jahr 1989 auf 93 Minuten im Jahr 1990 zurück. Der maßgebliche Grund für dieses stark unterschiedliche Verhalten der Versuchspartellen liegt in der Verschiedenheit der natürlichen Vorbefeuchtung der Böden. Belegt wird diese Aussage durch Niederschlagswerte einer vom Institut betreuten, nahe der Versuchsfläche gelegenen Meßstelle, wie auch durch das Verhalten der Testparzellen bei künstlicher Vorbefeuchtung. Wie die Ergebnisse der Versuche zeigten, war es trotz Wiederholung der Starkregensimulation innerhalb kurzer Zeit nicht möglich, die Böden der Parzellen mit Wasser zu sättigen. Die mittlere Differenz des Abflusses zwischen Erst- und Zweitberegnung fiel im feuchten Jahr 1989 wesentlich größer aus als im trockenen Jahr 1990. Auch die Abflußspitzen erreichten nicht annähernd gleiche Höhen. Die Methodik der Vorberegnung ist daher bei weiteren Versuchsreihen zu verfeinern.

Durch die Ergebnisse dieser Untersuchungen wird auch die Einschätzung der Verwendbarkeit von aus anderen Meßreihen oder nach anderen Methoden gewonnenen Meßwerten verbessert. Einzelversuche ohne Beurteilung der Bodenfeuchte haben, speziell wenn es um die Beurteilung des Abflußverhaltens im Hinblick auf Hochwassergefahren geht, nur geringe Aussagekraft, auch wenn eine Vielzahl von Versuchen in einem Gebiet erfolgt. Durch die Methode der Versuchswiederholung innerhalb eines kurzen Zeitraumes konnte der Abfluß auf einigen Parzellen, speziell der Bewirtschaftungsgruppen Weide und Piste auf ein über längere Zeit annähernd konstantes Niveau gebracht werden. Durch Wiederholung der Versuche, bei wesentlich geänderter Ausgangsfeuchte der Parzellen, wurde gezeigt, daß das Erreichen eines annähernd gleich bleibenden Abflußniveaus nicht gleichzusetzen ist mit dem Erreichen maximaler Sättigung des Bodens mit Wasser oder gar mit Maximalwerten für den Abfluß, die für die Beurteilung der Hochwassergefahr eines Gebietes maßgeblich sein könnten.

Durch die Versuchsdurchführungen bei verschiedenen Graden der Bodenfeuchte - bei der angewandten Methode bis zu vier Stufen - konnte, neben der Frage der Abflußanteile am Niederschlag, auch die Frage des Reaktionszeitverhaltens der unterschiedlich bewirtschafteten Parzellen beleuchtet werden. Dies liefert, nicht zuletzt für die Arbeit mit Computersimula-

tionsmodellen zur Gebietsabflußberechnung, wertvolle Eingangsdaten, wird doch bei einer großen Zahl von Niederschlagsereignissen nicht ein ganzes Einzugsgebiet zur gleichen Zeit vollflächig überregnet.

Für eine verbesserte Zuordnung von Kennwerten und Projektierungsgrößen zu Teilflächen des Naturraumes - mit dem Ziel der Abschätzung von Hochwassergefahren - bedarf es der Durchführung weiterer Versuche zur Verdichtung des Grunddatenmaterials. Die Versuchsmethodik ist dazu nach den Erkenntnissen der vorliegenden Versuchsserien zu verbessern und die Aussagekraft der Versuchsergebnisse durch Untersuchung weiterer standortspezifischer Parameter zu steigern. Die entsprechenden Vorarbeiten dazu wurden eingeleitet.

### Summary

The objective of the simulation of heavy rainfall is to work out site-specific parameters to characterize runoff and, thereby, to contribute to the investigation of flood events.

As there are numerous factors that influence the water regime of sites, the latter were classified with regard to the forms of management typical of torrent catchment areas and used in large areas. This distinction, which is useful also in practice, makes it easier to estimate the runoff to be expected in the case of precipitation. Marked differences in respect of the runoff were observed for the three forms of management that had been chosen: wood, pasture and ski-runs.

After 45 experiments the runoff ranged from 0% to 44% of the (artificial) precipitation. The maximum was measured on a plot belonging to the group of pasture plots. For plots used as ski-runs, the maximum runoff measured was 36.7%, for forest plots 31.5%. Of the three groups, the forest plots did not only show the lowest maximum runoff, but, with 94.4% also the highest mean water storage capacity. By introducing an intermediate value, which describes the runoff after 30 minutes, the characteristic runoff of the different types of plots could be described in even greater detail. For forest plots, this intermediate value averaged 0.6% (maximum: 6.8%), while the mean value calculated from all plots was 0.6% (maximum: 40.3%).

As not only the rate of runoff, but also time is an important factor in flood events, detailed analyses were carried out also in this respect. The runoff time fluctuated from 0 to 628 minutes. The time which passes from the moment when the rainfall begins until the time when the runoff is first measured at the point of

metering is an important factor in the determination of the retention effect. For forested plots this time averaged 44 minutes, while the mean calculated from all 45 experiments was 24 minutes. As opposed to these values, 14 and 11 minutes were measured for plots used as pasture and ski-runs, respectively.

This shows clearly the retention effect of the investigated forest plots and, consequently, their good mitigating properties in respect of flood hazards.

The inclination of the experimental plots ranged from 18% to 60%. In the framework of the present investigation a correlation between inclination and runoff could not be proved in a mathematically verifiable manner. It must be considered a coincidence that the two highest runoff values (44% and 42.5%) were measured on the two plots having the highest inclination (60%) because also areas of a high inclination were able to absorb the entire precipitation and high runoff values were observed also on plots with low inclination.

The difference between the values measured in 1989 and those of 1990 is surprisingly high. Comparing the values of sprinkled plots from either of the two periods, the maximum runoff of 1989 was 44%, while it was only 17% in 1990. In the first year of the experiment the mean of the comparable runoff was 20.8%; one year later it was only 4.6%. This trend was observed with all forms of management; it was most significant in the group of the forest plots and it was striking also when the course of events of the runoff was compared.

For instance, the mean runoff time was 129 minutes in 1989, but only 93 minutes in 1990. The statement that this is mainly due to differences in soil moisture was confirmed by a point of metering in charge of the Institute and located near the experimental plot as well as by the behaviour of the plots after pre-treatment in the form of artificial humidification. The results showed that, although the simulation of heavy rain was repeated within a short period, it was not possible to saturate the soils of the plots with water. In the humid year of 1989 the mean runoff difference between the first and the second simulated rainfall was much higher than it was in 1990, which was a rather dry year. Also the runoff peaks varied widely. The method of pre-treating plots with simulated rain should therefore be refined in future series of experiments.

The results of these investigations allow also a better evaluation of results obtained from other series of experiments or with the help of other methods. Individual experiments not involving the determination of soil moisture are usually not very revealing, in parti-

cular not if the runoff is to be determined with a view to potential flood risks. Even if a large number of such experiments is carried out in a certain area, these trials are not very helpful. By repeating experiments within a short period of time it was possible on several plots to stabilize the runoff for some time, notably on plots used for pasture or ski-runs. By repeating the experiments at a completely different initial soil moisture of the plots it was proved that reaching a relatively constant runoff is not equal to reaching the maximum saturation of the soil with water, or, even worse, to reaching runoff peaks which might be decisive for the assessment of the flood risk of an area.

Thanks to the use of different degrees of soil moisture (up to four different degrees in the applied method) in the implementation of the experiments not only the runoff share in the precipitation, but also the reaction times of differently managed plots could be investigated. Thereby, valuable data for the work with computer simulation models could be provided because precipitation frequently does not occur simultaneously for an entire catchment area.

In order to improve the assignment of parameters and project sizes to parts of ecoregions and to be able to assess flood risks, it is necessary to carry out further experiments so as to extend the basic data material. For this purpose, the experimental methods are to be improved with the help of the results from the present experimental series, and the informational value of the results is to be increased by investigating additional site-specific parameters. The preliminary activities required to fulfill these conditions have been initiated.

## 7. Literaturverzeichnis

- BRÜNIG E. UND MAYER H. 1980: *Waldbauliche Terminologie*. Wien, Universität für Bodenkultur, Institut für Waldbau
- BUNZA G. 1978: *Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag auf Almflächen des Stubnerkogels im Gasteiner Tal*. Veröffentlichungen des Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern - Band 2, Innsbruck, Universitätsverlag Wagner
- BUNZA G. 1982: *Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Bern, Band XII, 1984
- BUNZA G., DEISENDORFER H.-E., KARL J., PORZELT M. UND RIEDL J. 1985: *Der künstliche Niederschlag der transportablen Beregnungsanlage nach Karl und Toldrian*. DVWK-Schriften 1985, Heft 71, Kommissionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- BUNZA G. UND SCHAUER T. 1989: *Der Einfluß von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichem Starkregen in Wildbachgebieten der Bayerischen Alpen*. München, Informationsbericht 2/89 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft
- EHRENDORFER F. 1973: *Liste der Gefüßpflanzen Mitteleuropas*. 2. erw. Auflage, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag
- FLUGEL W.-A. UND SCHWARZ O. 1988: *Beregnungsversuche zur Erzeugung von Oberflächenabfluß, Interflow und Grundwassererneuerung*. Heidelberg, Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 66
- GAMS H. 1957: *Die Moos- und Farnpflanzen*. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag
- HUFNAGEL H. 1970: *Der Waldtyp*. Ried i.L., Innviertler Presseverein.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH, 1992: *Hydrographisches Jahrbuch von Österreich*, 1987. Wien 1992, Hydrographisches Zentralbüro im BMLF, 95. Band
- JELEM H. 1979: *Waldgebiete in den österreichischen Südalpen, Wuchsraum 17*. Wien, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Nr. 126
- KAHLER F. UND PREY S. 1963: *Erläuterung zur Geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen*. Wien, Geologische Bundesanstalt
- KARL J. UND TOLDRIAN H. 1973: *Eine transportable Beregnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag*. Hamburg, Wasser und Boden, Heft 3, März 1973
- KARL J. UND PORZELT M. 1976: *Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag*. Aus Wasser und Abwasser, bau-intern, 3/1976
- KARL J., PORZELT M. UND BUNZA G. 1985: *Oberflächenabfluß und Bodenerosion bei künstlichen Starkniederschlägen*. DVWK-Schriften 1985, Heft 71, Kommissionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- KILIAN W. UND MAJER CHR. 1990: *Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme*. Teilprojekt des Waldschadensbeobachtungssystems der FBVA (Projekt G7). Wien, FBVA-Berichte 1990, Sonderheft
- LANG E. 1993: *Starkregensimulation: Der Wald zeigt, was er kann*. Wien, Österr. Forstzeitung, Jg. 104, Nr. 1, S. 56-57
- MARKART G. UND KOHL B. 1995: *Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg*. Wien, FBVA-Berichte 89, 74 S. (im Druck)
- SCHAFFHAUSER H. 1979: *Beregnungsversuche auf Schipisten*. Wien, Informationsdienst der FBVA, 179. Folge, Jänner 1979
- 1981: *Die Beregnungsversuche im Rahmen des Projektes Neustift*. Wien, Allg. Forstzeitung, Jg. 92, Nr. 6, S. 216
- 1982: *Untersuchungen über das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Versuchsflächen*. Wien, Mitteilungen der FBVA, Nr. 144
- 1983: *Das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Testflächen*. Wien, Allg. Forstzeitung, Jg. 94, Nr. 12, S. 344-345
- SCHRÖDER D. 1978: *Bodenkunde in Stichwörtern*. 3. völlig neu überarbeitete Auflage 1978, Kiel, Verlag Ferdinand Hirt

SCHWARZ O. 1986: *Zum Abflußverhalten von Waldböden bei künstlicher Beregnung*. Sonderdruck aus DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch, Forschungsbericht VCH 1986

SCHWEIGHOFER W. 1989: *Gegenüberstellung von Untersuchungen über das Abflußverhalten unterschiedlich bewirtschafteter Böden*. Wien, Österr. Forstzeitung, Nr. 3/1989

Verfasser: Dipl.-Ing. Erich Lang  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
Hauptstraße 7  
A-1140 Wien



# FBVA-Berichte

## Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

			Preis in ÖS
1953	1	Forstliche Arbeitslehre und Menschenführung. Referate von der GEFFA-Tagung 1952 in Ort bei Gmunden (Oberösterreich). 137 Seiten	vergriffen
1954	2	FRAUENDORFER, R. Forstliche Hilfstafeln. 167 Seiten	vergriffen
1955	3	LOHWAG, K. Erkenne und bekämpfe den Hausschwamm und seine Begleiter! 61 Seiten	vergriffen
1955	4	GRÖLL, H.; TRAUNINGER, W. Neuzeitliche Forstsaatguterzeugung in Pflanzplantagen. I. Teil, Plusbaumauswahl und Pflanzung. 73 Seiten	20.—
1956	5	HAFNER, F.; HEDENIGG, W. Planiergerät im forstlichen Straßen- und Wegebau. 75 Seiten	20.—
1957	6	FRAUENDORFER, R. Planung und Durchführung von Stichprobenahmen. 65 Seiten	vergriffen
1958	7	FRAUENDORFER, R. Betriebswirtschaftliche Untersuchungen im steirischen Bauernwald. (Gemeinde Haslau 1955). 157 Seiten	50.—
1985	8	POLLANSCHÜTZ, J. Waldzustandsinventur 1984. Ziele - Inventurverfahren - Ergebnisse. 29 Seiten	vergriffen
1985	9	GLATTES, F.; SMIDT, S.; DRESCHER, A.; MAJER, C.; MUTSCH, F. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Einrichtung und Ergebnisse 1984. 81 Seiten	vergriffen
1985	10	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1974/75, 1975/76 und 1976/77. 76 Seiten	80.—
1986	11	STAGL, W.; DRESCHER, A. Wild - Vegetation - Forstschäden. Vorschläge für ein Beurteilungsschema. 19 Seiten	30.—
1986	12	NATHER, J. Proceedings of the International Symposium on Seed Problems under Stressfull Conditions, Vienna and Gmunden, Austria June 3.-8. 1985. 287 Seiten	vergriffen
1986	13	SMIDT, S. Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs. Ergebnisse 1984 und 1985. 32 Seiten	vergriffen
1986	14	EXNER, R. Die Bedeutung des Lichtfaktors bei Naturverjüngung. Untersuchungen im montanen Fichtenwald. 48 Seiten	vergriffen
1986	15	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1977/78, 1978/79 und 1979/80. 81 Seiten	90.—
1986	16	HAUK, E.; HÖLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	90.—
1987	17	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1980/81 und 1981/82. 74 Seiten	80.—
1987	18	EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt/Salzburg). 102 Seiten	100.—
1987	19	HAUPOLTER, R. Baumsterben in Mitteleuropa. Eine Literaturübersicht. Teil 1: Fichtensterben. KREHAN, H.; HAUPOLTER, R. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Kiefernbestände - Bucklige Welt.. 73 Seiten	vergriffen

1987	20	GLATTES, F.; SMIDT, S. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985. 65 Seiten	vergriffen
1987	21	RUETZ, W.; NATHER, J. Proceedings of the IUFRO Working Party on Breeding Strategy for Douglas-Fir as an Introduced Species. Working Party: S2.02-05. Vienna, Austria June 1985. 300 Seiten	300.—
1987	22	JOHANN, K. Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker. 66 Seiten	60.—
1987	23	POLLANSCHÜTZ, J.; NEUMANN, M. Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse. 98 Seiten	100.—
1987	24	KLAUSHOFER, F.; LITSCHAUER, R.; WIESINGER, R. Waldzustandsinventur Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern. 94 Seiten	100.—
1988	25	JOHANN, K. Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen. 88 Seiten	90.—
1988	26	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1986. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 114 Seiten	120.—
1988	27	SMIDT, S. Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur. 72 Seiten	80.—
1988	28	Forum Genetik - Wald - Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Kongresshaus Innsbruck. 192 Seiten	200.—
1988	29	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase. 52 Seiten	50.—
1988	30	MARCU, GH.; TOMICZEK, C. Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht. 23 Seiten	30.—
1988	31	KILIAN, W. Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong. 50 Seiten	50.—
1988	32	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987. 234 Seiten	250.—
1988	33	ENK, H. 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. 124 Seiten	130.—
1988	34	KREHAN, H. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Teil II: Fichtenbestände im Ausserfern (Tirol) und im grenznahen Gebiet des Mühl- und Waldviertels. 60 Seiten	60.—
1988	35	SCHAFFHAUSER, H. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87. 138 Seiten	145.—
1989	36	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (8). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 128 Seiten	130.—
1989	37	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 100 Seiten	105.—
1989	38	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84. 92 Seiten	100.—
1989 Sonderheft		SCHNEIDER, W. Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. 118 Seiten	200.—



1989	39	KREHAN, H. Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. 58 Seiten	60.—
1989	40	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldgebiet Österreichs. 134 Seiten	140.—
1990	41	KILLIAN, H. Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn. 162 Seiten	165.—
1990	42	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987. 98 Seiten	100.—
1990	43	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (9). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 80 Seiten	80.—
1990	44	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 33 Seiten	35.—
1990	44A	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988 (Anhang). Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 230 Seiten	280.—
1990 Sonderheft		KILIAN, W.; MAJER, C. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. 58 Seiten	70.—
1990	45	NEUMANN, MARKUS; SCHADAUER, K. Waldzustandsinventur. Methodische Überlegungen und Detailauswertungen. 88 Seiten	90.—
1990	46	Zusammenkunft der Deutschsprachigen Arbeitswissenschaftlichen und Forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten. Bericht über die 18.Zusammenkunft vom 18.-20.April 1990. 286 Seiten	340.—
1991	47	SMIDT, S. Beurteilung von Ozonmessdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. 87 Seiten	90.—
1991	48	ENGLISCH, M.; KILIAN, W.; MUTSCH, F. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Erste Ergebnisse. 75 Seiten	80.—
1991	49	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. 128 Seiten	130.—
1991	50	SMIDT, S. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. 90 Seiten	90.—
1991	51	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien, I. 33 neue Bockkäfer aus der palaearktischen und orientalischen Region (Coleoptera, Cerambycidae). 75 Seiten	200.—
1991	52	FÜRST, A. Der forstliche Teil der Umgebungsüberwachung des kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr. Ergebnisse von 1981 bis 1990. 42 Seiten	45.—
1991	53	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1977-1979. 80 Seiten	80.—
1991	54	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1980-1982. 78 Seiten	80.—
1991	55	WIESINGER, R.; RYS, J. Waldzustandsinventur: Untersuchung der Zuwachsverhältnisse an Wald- und Bestandesrändern. 60 Seiten	60.—
1991	56	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 60 Seiten	95.—

1991	57	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1989/90. 28 Seiten	30.—
1991	58	STAGL, W.; HACKER, R. Weiden als Prosshölzer zur Äsungsverbesserung. 56 Seiten	60.—
1991	59	HOLZER, K.; OHENE-COFFIE, F.; SCHULTZE, U. Vegetative Vermehrung von Fichte für Hochlagenaufforstungen. Physiologische und phänologische Probleme der Anpassung. 73 Seiten	75.—
1991	60	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien II. 63 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand, (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 71 Seiten	140.—
1992	61	STAGL, W. Auswertung der "Trakte" zum Staatsvertrag "Vereinbarung zwischen Bund und dem Land Kärnten über gemeinsame Maßnahmen zur Sicherung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wald und Wild". 62 Seiten	105.—
1992	62	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1983-1985. 72 Seiten	75.—
1992	63	FURST, A. Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. 37 Seiten	40.—
1992 Sonderheft 1		DRAGOVIC, N. Terminologie für die Wildbachverbauung. Fachwörterbuch deutsch - serbokroatisch. Terminologija Uredjenja Bujicnih Tokova. Recnik Strucnih Termina Srpskohrvatsko - Nemacki. 43 Seiten	50.—
1992	64	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1986-1988. 91 Seiten	95.—
1992	65	NATHER, J. (HRSG.) Proceedings of the meeting of IUFRO - WP S2.02-21 on "Actual problems of the legislation of forest reproductive material and the need for harmonization of rules at an international level". Gmunden / Vienna - Austria, June 10. - 14. 1991. 180 Seiten	200.—
1992	66	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1989. 60 Seiten	60.—
1992	67	Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal. Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofil Zillertal". 152 Seiten	180.—
1992	68	LUZIAN, R. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91. 188 Seiten	200.—
1992	69	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien III. 57 neue Bockkäfer aus Asien. Vorwiegend aus China, Thailand und Vietnam (Coleoptera, Cerambycidae). 63 Seiten	120.—
1992	70	Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Erste Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofile Achenkirch". 103 Seiten	100.—
1992	71	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Beiträge zum WBS-Seminar vom 23. April 1992. 111 Seiten	115.—
1992	72	VOSHMGIR, D. (BEARB.). Das Schrifttum der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Teil IV: 1974 bis 1990. 115 Seiten	80.—
1993	73	MÜLLER, F. Auswahl und waldbauliche Behandlung von Gen-Erhaltungswäldern. 24 Seiten	25.—
1993	74	Lawinenbericht 1991/92. Dokumentation und Fachbeiträge. 110 Seiten	80.—
1993	75	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien IV. 60 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand (Coleoptera: Cerambycidae). 63 Seiten	100.—
1994	76	SCHADAUER, K. Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. 160 Seiten	200.—

1994	77	KAISER, A. Projekt "Höhenprofil Zillertal" Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. 95 Seiten	80.—
1994	78	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Höhenprofil Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. 134 Seiten	120.—
1994	79	FÜRST, W.; JOHANN, K. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. 53 Seiten	55.—
1994	80	ANDRECS, P. Schadensereignisse in Wildbacheinzugsgebieten Österreichs 1990 und 1991. 47 Seiten	50.—
1994	81	GEBUREK, T.; MÜLLER, F.; SCHULTZE, U. Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. 113 Seiten	100.—
1994	82	KILIAN, W.; MÜLLER, F.; STARLINGER, F. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. 60 Seiten	70.—
1995	83	JOHANN, K. Ergebnis der Großdüngungsversuche St. Martin und Flachau Ertragskundlicher Abschlußbericht. 102 Seiten	100.—
1995	84	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 65 neuen Bockkäfern aus Europa und Asien, vorwiegend aus Thailand und China (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 63 Seiten	60.—
1995	85	KRISTÖFEL, F.; POLLANSCHÜTZ, J. Entwicklung von Fichtenpflanzen nach Triebrückschnitten. 17 Seiten	20.—
1995	86	CECH, T.; TOMICZEK, C. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achental. 46 Seiten	50.—
1995	87	HERMAN, F., SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. 288 Seiten	450.—
1995	88	CECH, T.; PERNY, B.; DONAUBAUER, E. Wipfelsterben an Jungfichten in Österreich und beteiligte Mikropilze. 32 Seiten	50.—
1995	89	MARKART, G; KOHL, B. Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Ab- schätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetations- einheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. 38 Seiten	60.—
1995	90	LANG, E. Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen 70 Seiten	100.—

