



BERICHTE 89/1995

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien
Waldforschungszentrum

**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**

*Soil Physical Properties and Simulation of Heavy
Rain as Basic Means for the Determination of
Runoff and Infiltration Characteristics of Alpin
Soil and Vegetation Units*

*Results from the Irrigation Experiments in the Sample
Watershed Area of Löhnersbach near Saalbach, Federal
Province of Salzburg*

G. MARKART, B. KOHL

FDK 116.24:116.25:116.26:116.64:(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

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
Kurzfassung	5
Abstract	5
1. Einleitung und Problemstellung.....	5
2. Das Untersuchungsgebiet.....	6
2.1 Klima.....	7
2.2 Geologie.....	7
2.3 Vegetation	8
2.4 Böden	8
3. Methodik.....	9
3.1 Freilanduntersuchungen.....	9
3.1.1 Standortauswahl.....	9
3.1.2 Versuchsanordnung.....	9
3.1.3 Vergleich: Groß- und Kleinregenanlagen.....	11
3.1.4 Probenwerbung.....	11
3.2 Laboruntersuchungen.....	13
3.3 Berechnete Parameter	13
4. Ergebnisse	15
4.1 Rasenstandorte	15
4.1.1 Standort Schusterbauernalm 1 (PF 1).....	15
4.1.2 Standort Herzogbauernalm 1 (PF2).....	17
4.1.3 Standort Herzogbauernalm 2 (PF3).....	18
4.1.4 Standort Herzogbauernalm - Klamm bach (PF4)	20
4.2 Waldstandorte	22
4.2.1 Standort Klamm bach 1 (PF5).....	22
4.2.2 Standort Klamm bach 2 (PF6).....	24
4.3 Zwergstrauchheide	27
4.3.1 Standort Schusterbauernalm 2 (PF 7).....	27
4.4 Rasenblaike (PF8).....	28
4.4.1 Standort Schusterbauernalm 3 (PF 8).....	28
5. Diskussion.....	30
5.1 Einfluß der Ausgangsfeuchte auf das Abflußverhalten.....	30
5.2 Ergebnisse der Beregnungsversuche.....	32
5.2.1 Rasenstandorte	32
5.2.2 Waldstandorte.....	33
5.2.3 Zwergstrauchheide	35
5.2.4 Rasenblaike	35
6. Schlußfolgerungen / Zusammenfassung.....	36
7. Literaturverzeichnis.....	37

Abkürzungsverzeichnis

AK	Abflußkoeffizient = (ges. Abfluß in %)/100
AK _{max}	maximaler Abflußkoeffizient = AK zum Zeitpunkt des höchsten Abflusses
AS	Aggregatstabilität
DG	Deckungsgrad
DPA	Druckplattenapparatur
FD	Feststoffdichte
GÖP	Gröbstporenvolumen
GP	Grobporenvolumen
GPV	Gesamtporenvolumen
Inf _{pot}	potentielle Infiltrationsrate
K _r -Wert	gesättigte Wasserleitfähigkeit
LD	Lagerungsdichte
MEG	Mustereinzugsgebiet
OA	Oberflächenabfluß
OS	organische Substanz
ÖN	Ö-Norm
PF1...PF8	Probeflächen; Berechnungsflächen
S	Sand
T	Ton
TS	Tiefenstufe
U	Schluff
ZA	(=SSF) Zwischenabfluß (=subsurface flow)

Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetationseinheiten

Ergebnisse der Berechnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg

G. MARKART & B. KOHL

Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt

Kurzfassung. Im Sommer 1992 wurden im Einzugsgebiet des Löhnersbaches bei Saalbach in Salzburg auf 8 Standorten Beregnungen mit einer Großregenanlage (75m²) mit Niederschlagsintensitäten zwischen 30 und 100mm/h als Grundlage für die Ermittlung von Abflußkoeffizienten der wichtigsten Boden-/Vegetationseinheiten durchgeführt. Zusätzlich wurden die wichtigsten bodenphysikalischen Kenngrößen bestimmt.

Für die untersuchten Böden sind eine relativ einheitliche Korngrößenverteilung (lehmgiger Sand bis sandiger Lehm), eine sehr geringe bis geringe Lagerungsdichte, sowie hohe bis extrem hohe gesättigte Leitfähigkeitswerte des Oberbodens charakteristisch. Diese Bodenverhältnisse werden durch die Vegetation und durch die Art bzw. Intensität der Bewirtschaftung stark modifiziert, so variiert besonders auf den Rasenstandorten der Abflußkoeffizient kleinflächig stark (zwischen 0,02 und 0,49). Das beste Einsickerungsvermögen aller Versuchstandorte weisen die Zwergstraucheneinheiten bzw. Waldstandorte mit Zwergsträuchern als Bodenvegetation auf. Dagegen ist auf vegetationslosen Standorten bzw. solchen mit zu geringem Deckungsgrad der Bodenvegetation (DG <60%) die höchste Abflußneigung und Rutschungsdisposition festzustellen.

Schlüsselworte: Transportable Beregnungsanlage, Abfluß, Intensität, Porenvolumen, Vegetation

Abstract. [Soil Physical Properties and Simulation of Heavy Rain as Basic Means for the Determination of Runoff and Infiltration Characteristics of Alpin Soil and Vegetation Units. Results from the Irrigation Experiments in the Sample Watershed Area of Löhnersbach near Saalbach, Federal Province of Salzburg.] During summer 1992 runoff measurements were made with the help of a transportable spray irrigation installation for large plots (75m²) in the Löhnersbach-watershed near Saalbach (Salzburg), as a basis for determination of runoff coefficients for the most important vegetation units of this area. In addition the most important soil physical properties were determined.

The soils of the brownearth-podzol-series showed a texture which chiefly varied between loamy sand and sandy loam. (Very) low bulk-densities and (very) high values for saturated conductivity were measured in the upper soil of most research plots. These soil properties are modified by vegetation, way and intensity of management, so the runoff coefficients derived from the grasslands varied between 0,02 and 0,49. The best runoff characteristics (lowest values) were observed in dwarf shrub stands and stands of spruce with dwarf shrubs as ground cover. On the other hand maximum runoff-values were achieved on slopes with poor or without ground vegetation.

Keywords: Transportable spray irrigation installation, rain intensity, runoff, pore-volume, vegetation

1. Einleitung und Problemstellung

Nachdem im 20. Jhd. bereits neun Hochwässer, das letzte im Sommer 1987, in Jausern, an der Mündung des Löhnersbaches in die Saalach, verheerende Schäden angerichtet hatten, wurde der Löhnersbachgraben mit seinen Seitengräben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zum Mustereinzugsgebiet erklärt. In der Folge wurde eine interdisziplinär zu-

sammengesetzte Arbeitsgruppe mit der Erforschung des Ursachenkomplexes dieser Katastrophenereignisse beauftragt. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden von der Abt. für Bewirtschaftung von Lawinen- und Wildbacheinzugsgebieten der FBVA Beregnungsversuche in Kombination mit umfangreichen begleitenden bodenphysikalischen Untersuchungen durchgeführt. Mit diesen Arbeiten sollten genauere Anhaltspunkte über die Neigung der dominanten Boden-/Vegetationseinheiten des Einzugsgebietes zur

Oberflächen- und Zwischenabflußbildung, insbesondere bei Starkregen, gewonnen werden.

Die Berechnungen allein stellen punktuelle Ergebnisse dar, deren Extrapolation in die Fläche auch bei großer Wiederholungsanzahl mit Fehlern behaftet ist. Man kann auf diese Weise zwar einen punktuellen Abflußbeiwert ermitteln, Abflußursache und -wirkung sind jedoch über eine Reihe von Detailuntersuchungen zu präzisieren. Daher finden neben den bodenphysikalischen Kennwerten als weitere wichtige Interpretationshilfen die von BURGSTALLER und SCHIFFER (1993) durchgeführte Vegetationskartierung, Angaben von KLUG-PÜMPEL (1993) über die Biomassenausstattung der Versuchsflächen, die geologische Dokumentation des Einzugsgebietes von PIRKL (1990), und die Ergebnisse der Bodenkartierung von MARKART und KOHL (1993a) Verwendung.

Eine kurze Beschreibung des Untersuchungsgebietes erfolgt in Kapitel 2, in Kapitel 3 wird auf die angewandten Freiland- und Laboruntersuchungsmethoden eingegangen. Die Berechnungsmethode wird skizziert, ein Vergleich Groß- und Kleinregenanlagen ergänzt diesen Abschnitt.

Breiter Raum wird der Darstellung der Ergebnisse der Berechnungen gewidmet (Kapitel 4). Dabei wird besonders Augenmerk auf den Zusammenhang zwischen Abflußentwicklung und Porenausstattung des Bodens gelegt.

Über Jahrhunderte haben Klima und Vegetation die Böden des Untersuchungsgebietes geformt. Die intensive Nutzung, das Projektgebiet war bis Ende der dreißiger Jahre dieses Jahrhunderts Dauersiedlungsgebiet, und die nach der Abwanderung der letzten Bauern erfolgte extensive Nutzung über die Almweide haben deutliche und gut erkennbare Spuren in der Landschaft hinterlassen. Daher ist der Einfluß von Vegetation und Bewirtschaftung auf das Abflußgeschehen das zentrale Thema von Kapitel 5.

Kapitel 6, Schlußfolgerungen und Zusammenfassung, stellt eine Kurzcharakteristik der dominanten Boden-/Vegetationseinheiten des Untersuchungsgebietes in Verbindung mit einer Abschätzung des Gefahrenpotentials im Starkregenfall dar.

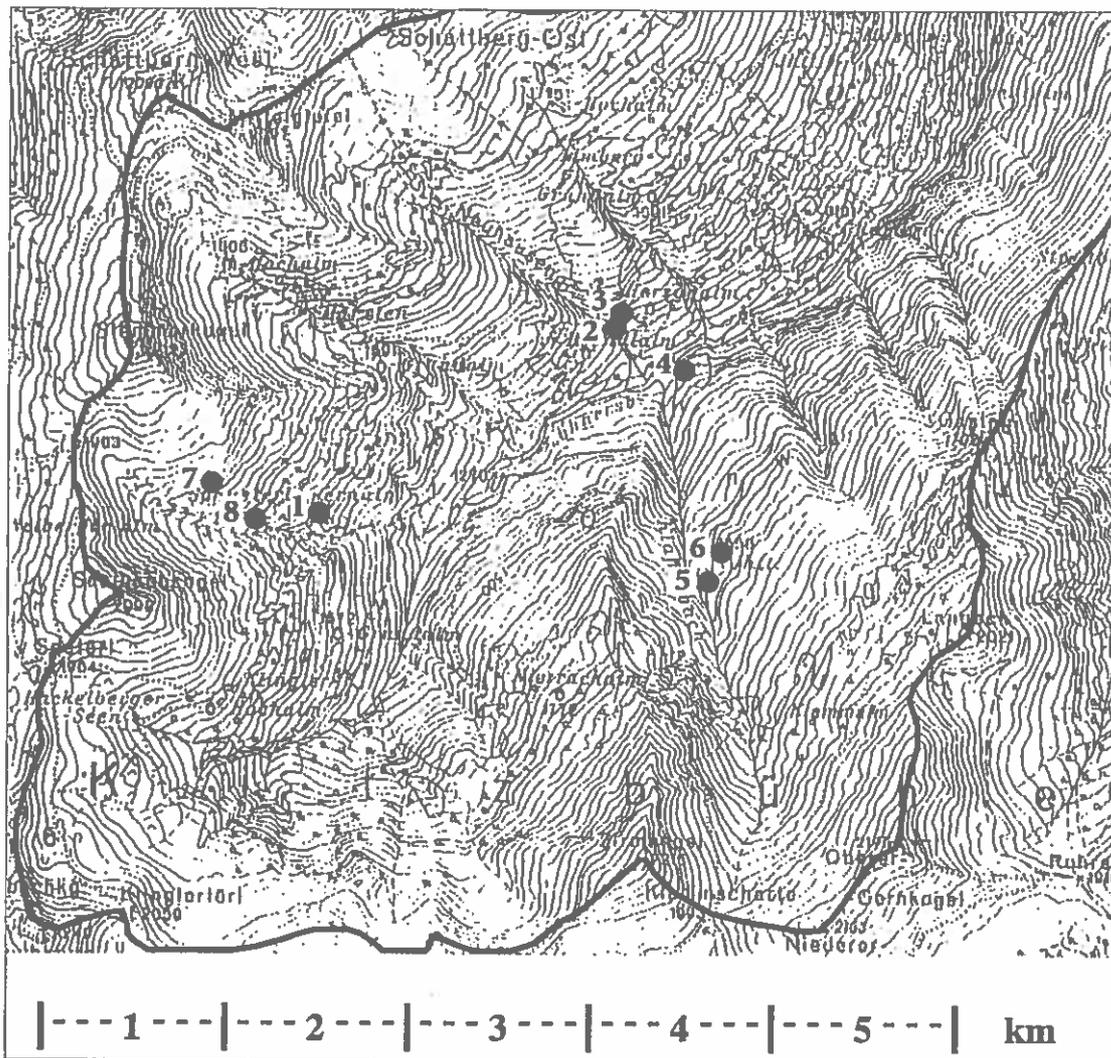
2. Das Untersuchungsgebiet

Beim Löhnersbach handelt es sich um einen rechtsufrigen Zubringer der Saalach mit einem Einzugsgebiet in der Größe von ca. 20 km² (vgl. Abb.1 und 2). Eine Reihe von Seitengräben mit teilweise hohem Geschiebepotential münden linksseitig in den Löhnersbach. Als rechtsufriger Zubringer ist lediglich der Klamm Bach von Bedeutung.

Abb. 1:
Lage des Untersuchungsgebietes



Abb. 2:
Lage der Berechnungsflächen



2.1 Klima

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich der temperierten, im Gebirge kühlen, humiden Klimazone mit ausgeprägter kalter Jahreszeit und großen Schneemengen (WALTER und LIETH, 1960). Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge zeigt ein deutliches Sommermaximum, während die Monate November bis März als niederschlagsarm zu bezeichnen sind. Es sind meist sommerliche Wärmegewitter - regenreichster Monat ist der Juli mit ca. 180 mm Niederschlag - die entlang einer Gewitterstraße parallel zur Salzachfurche, annähernd in West - Ost Richtung verlaufend, häufig in Kombination mit Hagelschlag, Hochwasserereignisse verursachen.

2.2 Geologie

Geologisch gehört das Gebiet zur Grauwackenzone, einem maximal 23 km breiten Streifen, der die Zentralalpen von den nördlichen Kalkalpen trennt (SCHÖNLAUB, 1980). Das Hauptgestein dieser Zone bilden die "Wildschönauer Schiefer". Dieser phyllonitische, dünnblättrige bunte Tonschiefer aus dem Altpaläozoikum ist nach PIRKL (1990) im Löhnersbachgraben in mehrere Formationen differenziert. In der Kammregion des Schattberges, des Stemmer-, des Saalbach- und des Hochkogels, sowie auf der rechten Seite des Löhnersbaches vom Germkogel bis fast zur Mündung in die Saalach liegt eine Schieferserie mit grob- bis mittelkörniger, metamorpher Sandstein- und

Tonschieferwechselfolge vor. Eine geologisch ältere Wechselfolge von metamorphen, mittel- bis feinkörnigen Sand-, Siltsteinen und Tonschiefern bildet die Ostflanke des Zirkkogels bis zur Klamm Bachmündung. Metamorphe Kalk- und Dolomitgesteine sind kleinflächig am Klingler Kar eingesprengt. Auf der orographisch rechten Seite finden wir großflächig stark bis gänzlich aus dem Verband gelöste Felspartien, die in ein blockiges bis grusiges Schollenmosaik aufgelöst sein können. Die Schutthalden der Sonnenseiten sind aus nicht bindigem Lockergestein aufgebaut. Den flächenmäßig größten Anteil nehmen postglaziale Sedimente ein, die örtlich zu bindigen bis stark bindigen Bodenbildungen führten, und damit die Entstehung von Vernässungszonen oder Mooren begünstigten.

2.3 Vegetation

Die rechts- bzw. schattseitigen Berghänge weisen bis zur Waldgrenze größtenteils geschlossene Hochwaldbestände auf, dagegen nehmen Waldparzellen auf der Sonnenseite nur etwa 25% der Fläche ein. Bis 1400 m SH werden mäßig steile bis steile Hänge, Rücken und Verbnungen von uniformen Silikat-Hainsimsen-Fichtenwäldern eingenommen. Über 1400 m SH erfolgt ohne scharfe Abgrenzung der Übergang zum subalpinen Lärchen-Fichtenwald. Kleinflächig ist auf luftfeuchten Hängen und in Schluchten der Bergahorn-Schluchtwald ausgebildet. Schattseitig zieht sich der Silikat-Hainsimsen-Fichten-Tannenwald bis in etwa 1300 m SH hinauf (BURGSTALLER und SCHIFFER 1992).

Über der Waldgrenze und als Ersatzgesellschaften nach dem subalpinen Fichtenareal dominieren (bevorzugt auf der Schattseite) Zwergstrauchheiden vom Typus *Rhododendro-Vaccinietum*, von eher untergeordneter Bedeutung sind hier Borstgrasrasen (Bürstling-Weide, Nardeten). Auf den orographisch linken Einhängen (Sonnenseite) sind Gesellschaften mit Besenheide (*Calluneten*) örtlich stark vorbereitet. Hier findet man großflächige Bürstling-Weiderasen vom Talboden bis in die alpine Stufe. Diese Flächen unterliegen nach Auflassung der Dauerlandwirtschaft in den 30er Jahren einer intensiven Nutzung als Almweiden (NÖBL 1988). Cyperaceen-Niedermoore besiedeln offene, vermoorte Quellaustritte und Vernässungszonen. Diese Einheiten sind besonders auf der Sonnenseite aufgrund der bereits angeführten geologischen Ausgangssituation häufig anzutreffen.

Kleinflächig treten Legföhren-Krummholzflächen, Grünerlengebüsche und alpine bzw. subalpine Pioniervegetation (Übergangsgesellschaft des *Curvule-*

tums und des *Nardetums*), letztere besonders im Bereich der Kammlagen, auf.

2.4 Böden

Die Böden im Mustererhebungsgebiet Löhnersbach können zum Großteil der Braunerde-Podsolreihe zugeordnet werden. Unterschiede in Höhenlage, den geologischen und geomorphologischen Verhältnissen, der Vegetation, Art und Intensität der Nutzung, etc. bedingen vielfältige Übergangsformen (MARKART und KOHL 1993a).

Die jahrhundertelange intensive landwirtschaftliche Nutzung als Almweiden oder Mäher leitete besonders auf der Sonnenseite (linke Talseite) eine Entwicklung der Podsole über Semipodsole zu podsoligen Braunerden ein. Exogene Nährstoffzufuhr durch Rinder- bzw. Schafweide und durch Düngung, sowie der hieraus resultierende Mineralisierungsschub und der fehlende Eintrag niedermolekularer Säuren aus der Auflage der Zwergsträucher waren die Hauptursache für diesen Agradationsprozeß.

In Verbindung mit der Extensivierung der Nutzung des Gebietes (Abwanderung der letzten Dauersiedler in den 30er Jahren) nahm der Flächenanteil der Zwergstrauchheiden wieder stark zu. Die Bodenentwicklung konnte mit der Änderung der Vegetation jedoch nicht Schritt halten. Vor allem in den hochgelegenen Seitengraben des Löhnersbaches ist infolge der geänderten Nutzung ein ausgeprägter "Durchläufereffekt" der Bodenserien zu beobachten: So hat im Bereich der Marxten- und Schusterbauernalm ein Wechsel der Vegetation (z.B. vom *Nardetum* zu einem *Rhododendretum* oder *Callunetum*) nicht automatisch eine Änderung der Profilphänologie zur Folge. Mit Ausnahme der Auflagemächtigkeit und Färbung des Ah-Horizontes ist der Profilaufbau unter den verschiedenen Vegetationseinheiten sehr ähnlich. Zu einer Änderung im Profilaufbau kommt es meist nur in Kombination mit einem Wechsel der Geomorphologie (Klein- und Großrelief) bzw. im Übergangsbereich zwischen sehr alten Vegetationseinheiten. Eine homogene Vegetationsdecke muß daher im Untersuchungsgebiet nicht unbedingt einen einheitlichen Bodentyp bedeuten.

Das große Angebot an Oberflächenwässern besonders auf der linken Talseite führt zur Bildung wasserstauer bzw. hydromorpher Böden (Pseudogleye, Hangpseudogleye, Stagnogleye und Niedermoore).

Im Gegensatz zum "Durchläufereffekt" auf der Sonnenseite wurde am orographisch rechten Einhang des Löh-

nersbaches (Klammalm, Niesrach Alm) eine höhenzonale Abfolge der Bodentypen festgestellt. Auf Braunerden unter Weiderasen folgen zunehmend podsolige Braunerden unter Fi-Wald. Diese Böden werden nach einer Semipodsolzone durch mächtige Eisenhumuspodsole unter Rhododendron ferrugineum abgelöst. Im Bereich der Kammlagen findet man A/C-Stadien (Podsolranker und Ranker) wechselnder Mächtigkeit.

3. Methodik

3.1 Freilanduntersuchungen

3.1.1 Standortsauswahl

Als Basis für die Auswahl der Berechnungsflächen diente die von MARKART und KOHL (1993a) durchgeführte Kartierung der Böden des Einzugsgebietes. Die exakten Standorte wurden in Absprache mit den an diesem Forschungsprojekt beteiligten Fachrichtungen (Geologie und Hydrogeologie, Hydrologie, Vegetationskunde und Vegetationskartierung) festgelegt. Mit den Beregnungsexperimenten sollten vor allem für das Gesamteinzugsgebiet repräsentative Vegetationseinheiten (Weiderasen, Zwergsträucher, Waldstandorte) und Bodenserien erfaßt werden.

3.1.2 Versuchsanordnung

Für die Untersuchungen kam die an der Außenstelle für Subalpine Waldforschung der FBVA in Innsbruck entwickelte Beregnungsanlage zum Einsatz (Abb.3). Diese Anlage ermöglicht eine sehr gute Anpassung an die Geländemorphologie. Sie erlaubt die Parallelberegnung mehrerer Kleineinheiten (25 m²) ebenso, wie die Beaufschlagung von Flächen bis 150 m² Größe. Das benötigte Wasser wird mit einer Rosenbauer RK75 Tragkraftspritze aus nahegelegenen Bächen entnommen und über eine Steigleitung zur Versuchsfläche gepumpt. Die Pumpe ist auch bei einem Höhenunterschied von 80 m noch in der Lage den benötigten Betriebsdruck von 2 bar bereitzustellen. Um Verschmutzungen der Anlage durch Schwebstoffe, Sand, etc. (aufgrund der hohen Saugleistung der Pumpe) hintanzuhalten, wird das Entnahmebecken mit einer Kunststoffolie ausgekleidet. Für einen Versuch mit einer Intensität von 100 mm/h auf einer 100 m² großen Fläche wird eine Mindestschüttung von 6 Liter/sec. benötigt.

Die aufzubringende Niederschlagsmenge kann über Anzahl und Art der Düsen (Viertel-, Halb- und Vollkreis) gesteuert werden. Der Vertreiber (Fa. PIPELI-

FE, Wien) gibt für Viertelkreisdüsen 0,18 m³, für Halbkreisdüsen 0,36 m³ und für Vollkreisdüsen 0,72 m³ bei konstant 2 bar Betriebsdruck an.

RAINBIRD-Druckminderer reduzieren bei allen Düsen den anliegenden Betriebsdruck auf 2 bar. Auf diese Weise wird im geneigten Gelände ein zu hoher Durchsatz an den tieferliegenden Düsen verhindert. Abb. 4 zeigt eine Düsenanordnung für eine 75 m² große Fläche, bei einer Beregnungsintensität von 96 mm/h.

Die aufgebrauchte Niederschlagsmenge wird neben periodischer Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Düsen zusätzlich kontrolliert. Einerseits über einen Wasserzähler, der jeweils bei Versuchsbeginn und -ende abgelesen wird. Mit diesem Zähler ist auch die laufende Registrierung des Wasserdurchsatzes über einen Impulsausgang möglich. Eine weitere Kontrollmöglichkeit bietet andererseits die Aufstellung von Auffangrinnen bzw. -behältern definierten Querschnitts in der Beregnungsfläche. Diese werden während des Beregnungsvorganges periodisch entleert, aus der aufgefangenen Wassermenge kann auf die Niederschlagsverteilung und -intensität rückgerechnet werden. Die bisher beobachteten Abweichungen von der anhand der Düsenkennlinien berechneten Normmenge liegen bei max. 10%. Die mit dem Wasserzähler und den Auffangbehältern ermittelten Wassermengen stimmen sehr gut überein. Bei allen Messungen lag der Fehler unter 5%.

Bei vielen Beregnungsanlagen wird immer wieder der nicht quantifizierbare Anteil lateral abdriftenden Regenwassers beanstandet. Um die seitliche Verlagerung des Niederschlagswassers auf der Bodenoberfläche und im Boden zu verhindern bzw. zu kompensieren und Verlusten durch Winddrift vorzubeugen, werden die beiden Außenseiten der Versuchsfläche mitberechnet (vgl. Abb. 3 und Abb. 4). Okulare Beobachtungen und Intensitätsmessungen auf den Beregnungsflächen bestätigen die Zweckmäßigkeit dieser Versuchsanordnung, der Niederschlagsverlust wird auf ein Minimum reduziert.

Unmittelbar unterhalb der Beregnungsfläche wird ein Schlitz abgeteuft, um die Quantifizierung eventueller Oberflächen- und Zwischenabflüsse zu ermöglichen. Über Auffangbleche bzw. eine in die Profilwand eingeschlitze Folie werden Oberflächenabfluß bzw. Zwischenabfluß in eine Auffangrinne und weiter in kalibrierte Auffangbehälter mit je 300 Liter Fassungsvermögen abgeleitet. Der aufgefangene Abfluß wird zeitlich und mengenmäßig festgehalten. Nachteile dieser Methode der Abflußermittlung liegen im großen Platzbedarf der Auffangeinheit, dem hohen Arbeitsaufwand und der limitierten Genauigkeit (z.B.



- ◇ Viertelkreisdüsen
- Halbkreisdüsen
- Vollkreisdüsen

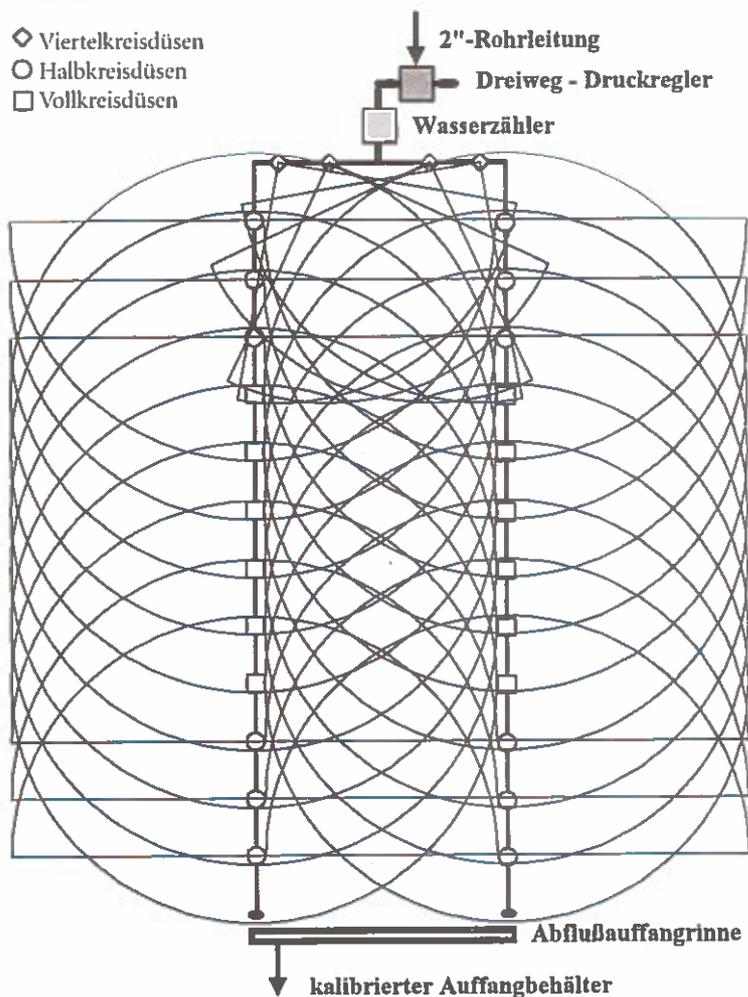


Abb. 3 (oben):
Beregnungsanlage der Abteilung für
Bewirtschaftung von Lawinen- und
Wildbacheinzugsgebieten des Institutes
für Lawinen- und Wildbachforschung
der FBVA

Abb. 4 (links):
Düsenanordnung und
Sprühverteilung der Beregnungsanlage

sind in Steilhängen und Gräben meist große Ausleitungsstrecken zum Auffangbehälterstandort notwendig). Aus diesem Grund soll in Zukunft die Abflußquantifizierung über Durchflußmesser erfolgen.

Wegen des bewegten Kleinreliefs wurden die ersten zu berechnenden Einheiten 75 m² groß gewählt, und diese Flächengröße aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch bei den anderen Versuchsflächen beibehalten.

3.1.3 Vergleich: Groß- und Kleinregenanlagen

In Analogie zu den Untersuchungen von BUNZA (1978, 1984, 1989), BUNZA et al. (1985), SCHAFFHAUSER (1982, 1988), SCHWARZ (1986) kam auch bei den Untersuchungen im Löhnersbach eine an die morphologischen Gegebenheiten angepaßte Großberechnungsanlage (75m²) mit kontrollierten Maximalintensitäten zwischen 90 und 100 mm/h zum Einsatz. Der Großregenanlage wurde aus folgenden Gründen der Vorzug gegeben:

- Eine geringe Anzahl von Messungen auf Großflächen (75 bis 100 m²) liefern aussagekräftigere Meßresultate als eine Vielzahl an Daten von Kleinflächen (YOUNGS 1991).
- KAINZ et al. (1992) haben verschiedenste Groß- und Kleinregenanlagen verglichen. Ihren Ergebnissen zufolge kommen Großregenanlagen über 40 m² Fläche den tatsächlichen Abflußverhältnissen im Versuchsgebiet am nächsten, bei Anlagen mit einer beaufschlagten Fläche kleiner 10 m² ist eine Extrapolation der Ergebnisse nur sehr eingeschränkt möglich, denn je geringer die berechnete Fläche, umso schwieriger gestaltet sich die Auswahl an gebietstypischen Boden-/Vegetationskomplexen.
- Kleinflächen provozieren weit größere Randeffekte als Großflächen, auch bei Berechnungsversuchen ist ein Minimalareal notwendig, um gebietsrepräsentative Meßwerte zu erhalten.
- Der Anteil an lateral verlagertem Abfluß und lateraler Sickerwasserverluste ist bei Kleinflächen relativ höher.
- Bei gleichen Windverhältnissen sind auf der Kleinfläche größere Verluste durch Abdrift zu erwarten.
- Jeder Regentropfen legt in Abhängigkeit von seiner Größe nach dem Aufprall bis zur Einsickerung in den Boden einen bestimmten Fließweg zurück (vgl. GHADIRI und PAYNE 1988). Besonders bei hohen Niederschlagsintensitäten erfährt diese Fließstrecke bei Kleinanlagen eine extreme Beschneidung. Bei der Wahl zu kleiner Berechnungseinheiten läuft man daher vor allem im geneigten Gelände Gefahr direkt die Abflußmeßanlage mit Wasser zu versor-

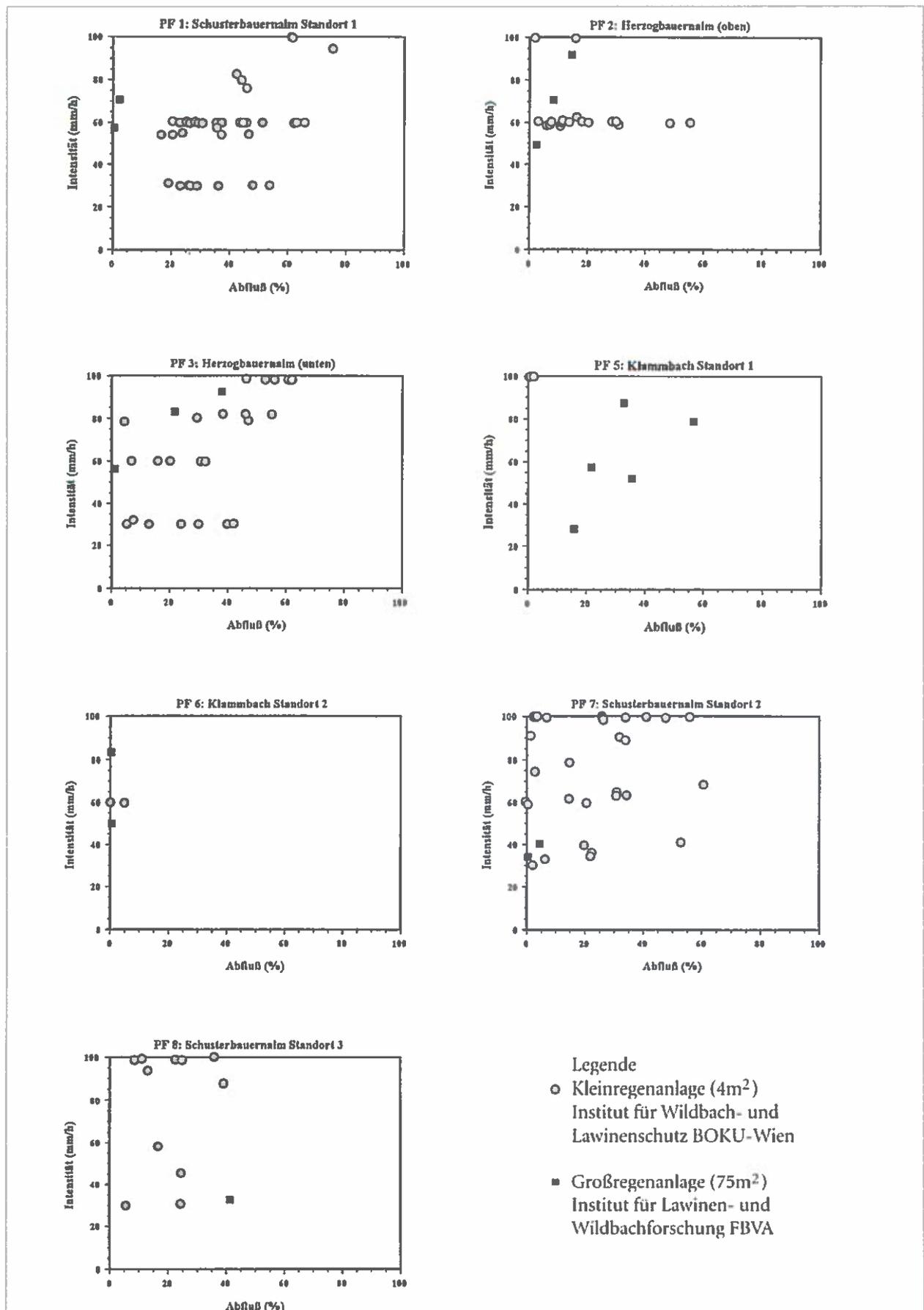
gen und das Retentionsvermögen des Boden-/Vegetationskomplexes zu unterschätzen.

- Weitere Beispiele aus der Literatur zeigen wie berechtigt die Skepsis gegenüber sehr kleinen Versuchsflächen ist:
 - KÖRNER et al. (1980) quantifizierten auf einem gleichmäßig geneigten, 22m² großen Geländestreifen (Loiseleurietum) in den Hohen Tauern, Bereich Glocknerstraße, in ca. 2 1/2 Monaten 5% des in dieser Zeitspanne gefallenen Niederschlages als Oberflächenabfluß. Auf einer Kleinfläche (3m²) wurden wesentlich höhere Werte (bis 20%) festgestellt.
 - Auch die Untersuchungen von GUGGENBERGER (1980) in einem Loiseleurietum am Patscherkofel bei Innsbruck ergaben auf kleineren Versuchsflächen höhere Abflüsse. Als Hauptursache der geringeren Versickerungsleistung der Kleinflächen führt er den zu kurzen Fließweg an.
 - Die von PERINGER (1993) auf den in der vorliegenden Arbeit diskutierten Standorten mit einer Balkenberechnungsanlage auf 4m² großen Flächen ermittelten Abflußwerte liegen meist deutlich über den Werten der Großanlage (vgl. Abb. 5). So schwankt der Abfluß auf PF 1 bei einer Auftragsmenge von 60 mm/h zwischen 20 und 65%. *Anmerkung zu Abb. 5:* Die geringe Anzahl der mit der Kleinanlage auf PF 5 durchgeführten Versuche läßt einen gesicherten Vergleich mit der Großanlage nicht zu.

3.1.4 Probenwerbung

Nach Abschluß der Berechnungen auf dem jeweiligen Versuchstandort wurden im Bereich des für die Abflußmessungen geöffneten Schlitzes Proben für die physikalische Analyse gewonnen. Vom Ah-Horizont beginnend wurden in definierten Tiefenstufen sowohl ungestörte Zylinderproben - jeweils 4 Parallelproben je Tiefenstufe - als auch Lockermaterial entnommen (Entnahmeschema siehe Abb. 6). Die Werbung der Proben erfolgte nach den Richtlinien der Österreichischen Bodenzustandsinventur (BLUM et al. 1989). Die Zylinderentnahme erfolgte in 10 cm Stufen, solange, bis der mit der Tiefe zunehmende Skelettanteil die Entnahme ungestörter Zylinderproben unmöglich machte. Der Transport der mit Deckeln verschlossenen und mit Klebebändern versicherten Zylinder erfolgte möglichst erschütterungsfrei in speziellen Zylinderkoffern. Im Labor wurden sie bis zur Analyse im Kühlschrank gelagert. Die Lockerproben wurden zur Lufttrocknung in Kartonschachteln übertragen.

Abb. 5: Vergleich der Beregnungsversuche mittels Groß- und Kleinregenanlage im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach



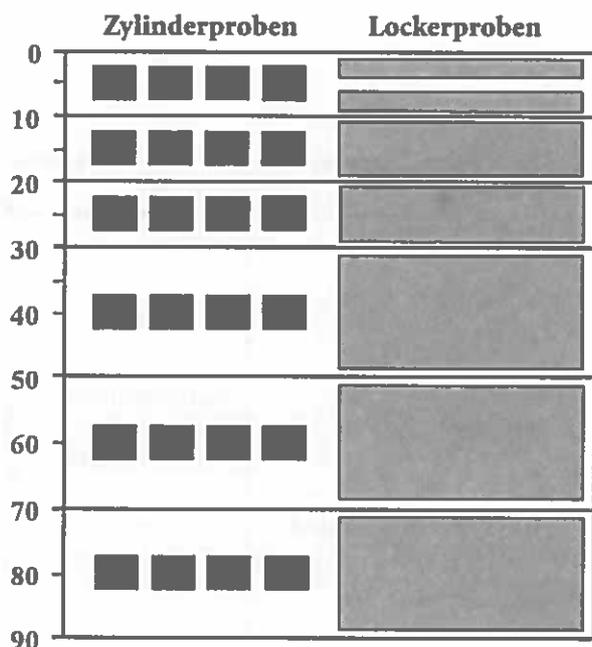


Abb. 6:
Entnahmestufen der Zylinderproben und des Lockermaterials
im Bodenprofil

3.2 Laboruntersuchungen

Im Rahmen dieses Arbeitsabschnittes wurden folgende Parameter untersucht:

- Korngrößenverteilung - Textur
Diese Bestimmung erfolgte modifiziert nach ÖN L 1061 in drei Schritten:
 - Siebung der lufttrockenen Bodenprobe auf 2 mm
 - Fraktionierte Siebung des Siebdurchganges zwischen 2 mm und 40 µm
 - Ermittlung der Feinstfraktion <40 µm mit dem Particle Size Analyzer der Type SHIMADZU SA-CP2/10 (Bestimmung der Korngröße nach dem Prinzip der Lichtbrechung über ein kombiniertes Sedimentations- und Zentrifugationsverfahren).
- Lagerungsdichte (LD - nach ÖN L 1068)
- Feststoffdichte (FD)
Modifizierte Bestimmung nach ÖN L 1068 im Flüssigkeitspyknometer, statt aqua dest. wurde Xylol verwendet.

- Organische Substanz (OS)
Die OS wurde als Glühverlust der auf 105°C getrockneten Einwaage durch Veraschung im Muffelofen bei 500°C nach einer Anleitung von SCHLICHTING und BLUME (1966) bestimmt. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens war die Annahme, daß zwischen 105°C und 500°C nur Humusabbauprodukte gasförmig entweichen. Nur bei hohem Tonanteil wäre der Verlust von Kristallwasser als mögliche Fehlerquelle bei dieser Methode zu berücksichtigen. Der Tonanteil der untersuchten Proben war jedoch sehr gering (ca. 3% der Feinfraktion), daher wurde von der Anwendung eines Korrekturfaktors abgesehen.
- Gesättigte Wasserleitfähigkeit (K_f -Wert)
Diese Messung wurde in Anlehnung an die Versuchsanordnung von DE BOODT und DE LEENHEER (1965) durchgeführt. Dabei wurde die wassergesättigte Zylinderprobe mit einer Wassersäule definierter Höhe überstaut, der auftretende Durchfluß gemessen und der K_f -Wert in cm/Tag berechnet.
- pF-Kurven
Die Bestimmung der Druckpotential - Wasseranteilsbeziehung erfolgte in drei Schritten:
 - Entwässerung der gesättigten Zylinderproben am Unterdruckkapillarimeter nach NEUWINGER - RASCHENDORFER und CZELL (1965) bei definierten Unterdrücken (10, 50, 100, 150 mbar).
 - Entwässerung ungestörter gesättigter Zylinderproben bei definiertem Überdruck in der Druckplattenapparatur (DPA) nach RICHARDS bei 330 mbar konform zur ÖN L 1063.
 - Entwässerung gestörter (auf 2 mm gesiebter) gesättigter Proben in der DPA bei 1, 3 und 15 bar Überdruck, gemäß ÖN L 1063.

3.3 Berechnete Parameter

Aus den im Labor ermittelten Parametern wird eine Reihe von Kenngrößen berechnet, die eine bessere Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften der untersuchten Böden ermöglichen (Tab.1).

Tab. 1:
 Meßtechnisch ermittelte Parameter als Ausgangspunkt für bodenphysikalische Kennwerte

Gemessene Parameter	Berechnete Größen	Formeln	Einheiten
Feststoffdichte (FD)	Gesamtporenvolumen	$GPV = (1 - LD / FD) \cdot 100$	Vol%
Lagerungsdichte (LD)	Substanzvolumen	$SV = 100 - GPV$	Vol%
organ. Substanz in Gewichtsprozent des Feinbodens (OS)	organ. Substanz als Anteil am Substanzvolumen mineral. Substanz als Anteil am Substanzvolumen	$orgSV = SV / 100 \cdot OS$ $minSV = SV - orgSV$	Gew% vom Substanzvolumen Gew% vom Substanzvolumen
Korngrößen (KG) (Grob-, Mittel-, Feinsand; Grob-, Mittel-, Feinschluff und Ton: GS, MS, FS, S, GU, MU, FU, U, T) in Gewichtsprozent des rein mineralischen Feinbodens	Korngrößen als Anteil der mineralischen Substanz Bodenart	$KG(\text{in \%minSV}) = minSV \cdot KG(\text{Gew\%}) / 100$ Österr. Texturdreieck	Gew% vom mineralischen Substanzvolumen
Wassergehalt (WG) bei einem Unter- bzw. Überdruck von 10, 50, 100, 150 und 330 mbar sowie 1, 5 und 15 bar	Wasseranteil (WA) maximale Wasserkapazität minimale Wasserkapazität permanenter Welkepunkt Gröbtporen (>50µm) Grobporen (50-10µm) Mittelporen (10-0,2µm) Feinporen (<0,2µm) Feldkapazität Luftkapazität maximales Luftvolumen Minimalretention	$WA = WG \cdot LGD$ $WK_{max} = WA_{10}$ $WK_{min} = WA_{330}$ $PWP = WA_{15000}$ $GÖP = GPV - WA_{50}$ $GP = WA_{50} - WA_{330}$ $MP = WA_{330} - WA_{15000}$ $FP = WA_{15000} = PWP$ $FK = (WA_{10} + WA_{330}) / 2$ $LK = GPV - FK$ $maxLV = GPV - PWP$ $minRET = FK - WK_{min}$	Vol% Vol% Vol% Vol% Vol% Vol% Vol% Vol% Vol% Vol%
gesättigte Wasserleitfähigkeit (K_f -Wert)	potentielle Infiltration bei Feldkapazität Summe der Infiltrationsraten über mehrere Tiefenstufen (t)	$INF_{pot} = (LK \cdot Tiefe \cdot K_f) / 2400$ $INF_{sum} = INF_{pot}(t1) + INF_{pot}(tn)$	mm/h mm/h/t (in cm)

4. Ergebnisse

4.1 Rasenstandorte

4.1.1 Standort Schusterbauernalm 1 (PF 1)

Seehöhe	1580 m
Exposition und Neigung	E-exponierter Hang, stark geneigt
Relief	wellig, bewegtes Mikrorelief (Viehtritte, Viehgangeln)
Vegetation	Nardetum - Weiderasen, Deckungsgrad > 90%
Boden	Braunerde, im Oberboden stark durchwurzelt, 3 cm starker Wurzelfilz; hoher Skelettanteil <i>Textur:</i> Lehm (oberste Tiefenstufe), sonst sandiger Lehm bis lehmiger Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und aufgelockerten Felspartien mit Anzeichen frischer Bewegungen, frische Anrisse

Ergebnisse der Berechnungen

Ein erster Probelauf mit einer Intensität $I = 30 \text{ mm/h}$ ergab weder Oberflächenabfluß noch Zwischenabfluß. Auch eine Erhöhung der Intensität auf 57 mm/h hatte keine nennenswerte Abflußbildung zur Folge (Abb. 8a). Während dieser $2\frac{1}{2}$ stündigen Berechnung wurde die Versuchsfläche mit $10,7 \text{ m}^3$ Wasser beaufschlagt. Insgesamt flossen 60 Liter, das entspricht ca. 0,5% des aufgetragenen Niederschlages, an der Oberfläche ab. Nach Erreichen einer konstanten Bodenfeuchte im Oberboden (24 min nach Berechnungsbeginn) pendelte sich der Abflußkoeffizient bei 1% ein. Bei der nächsten Dotationserhöhung auf $70,7 \text{ mm/h}$ (Abb. 8b) stieg der Gesamtabfluß nur geringfügig auf 2%, der Abflußkoeffizient lag nach erfolgter Bodensättigung bzw. Erreichen der Abflußkonstanz bei 0,04.

Zu jedem dieser Versuche wurden vor und nach der Berechnung Zylinderproben aus den obersten Tiefenstufen entnommen. Die Proben zur Bestimmung der Ausgangsfeuchte wurden, um Störungen der Vegetationsdecke und des Bodenkörpers zu vermeiden, aus der unmittelbaren Umgebung der Berechnungsfläche gewonnen. Nach Berechnungsende erfolgte die Entnahme zur Ermittlung des Sättigungswasseranteiles

Tab. 2:
Einige bodenphysikalische Kennwerte der untersuchten Berechnungsstandorte

TS = Tiefenstufe
 Kr-Wert = gesättigte Wasserleitfähigkeit
 LK = Luftkapazität;
 Inf_{pot} = potentielle Infiltrationsrate
 LD = Lagerungsdichte
 FD = Feststoffdichte,
 Org.S. = Organische Substanz

Profil Nr.(PF)	Tiefenstufe (cm)	Kr-Wert (cm/d)	LK (in %GPV)	Inf _{pot} (mm/h*TS)	LD (g/cm ³)	FD (g/cm ³)	Org.S (Gew%)
1	TS1 0 - 5						2,25
	TS2 5 - 10						2,45
	TS3 10 - 20						2,49
	TS4 20 - 30						2,49
	TS5 30 - 50						2,59
2	TS1 0 - 5	418	17,5	15,2	1,01	2,42	9,92
	TS2 5 - 10	418	19,6	15,2	1,01	2,55	6,34
	TS3 10 - 20	576	16,4	39,4	1,12	2,59	5,68
	TS4 20 - 30	374	9,6	15,0	1,37	2,58	4,80
	TS5 30 - 50	360	14,6	43,8	1,28	2,64	4,56
3	TS1 0 - 5	677	22,8	32,2	0,77	2,21	20,94
	TS2 5 - 10	677	23,6	32,2	0,77	2,26	16,08
	TS3 10 - 20	835	22,8	79,3	1,07	2,42	11,27
	TS4 20 - 30	216	29,3	26,4	0,91	2,54	6,72
4	TS1 0 - 5	533	9,0	10,0	0,92	2,11	18,8
	TS2 5 - 10	533	11,9	13,2	0,92	2,42	13,87
	TS3 10 - 20	202	10,3	8,7	1,06	2,46	11,86
	TS4 20 - 30	187	17,3	13,5	0,72	2,45	13,06
5	TS1 0 - 5	216	13,3	6,0	0,64	2,19	21,46
	TS2 5 - 10	216	12,7	5,7	0,64	2,15	21,92
	TS3 10 - 20	144	9,6	5,8	0,7	2,42	14,42
	TS4 20 - 30	202	15,0	12,6	0,97	2,55	8,05
	TS5 30 - 50	130	20,5	22,2	1,03	2,61	7,12
6	TS1 0 - 5	389	15,6	12,6	0,56	1,88	43,76
	TS2 5 - 10	389	16,5	13,4	0,56	1,94	26,90
	TS3 10 - 20	115	8,4	4,0	0,65	2,22	22,07
	TS4 20 - 30	317	11,7	15,5	0,57	2,32	17,74
7	TS1 0 - 5	274	27,3	15,6	0,59	2,13	28,66
	TS2 5 - 10	274	27,2	15,5	0,59	2,12	20,84
	TS3 10 - 20	202	16,5	13,9	0,72	2,29	17,22
	TS4 20 - 30	374	13,7	21,3	0,93	2,49	10,97
	TS5 30 - 50	331	16,1	44,4	0,85	2,54	9,52
	TS6 50 - 70	158	11,3	14,9	1,06	2,60	7,87
8	TS1 0 - 5	518	22,4	24,2	1,36	2,63	5,99
	TS2 5 - 10	518	23,9	25,8	1,36	2,71	2,77
	TS3 10 - 20	346	23,0	33,2	1,52	2,75	2,11
	TS4 20 - 30	533	18,9	42,0	1,69	2,77	1,68

innerhalb der Berechnungsfläche. Schon die Ausgangsfeuchtwerte der Parallelproben an den einzelnen Entnahmestellen differierten beträchtlich. Die gravimetrische Bestimmung des Wasseranteiles nach Berechnungsende ergab jedoch Differenzen von über 100% auf wenigen Quadratmetern. Zerfloß an einer Stelle der Boden regelrecht im Zylinder, wurde in 2 Meter Entfernung eine vollkommen trockene Probe entnommen. Aus solchen, vor allem durch Vegetationsabschirmung und Mikrorelief hervorgerufenen Extremen, auf einen repräsentativen Flächenmittel-

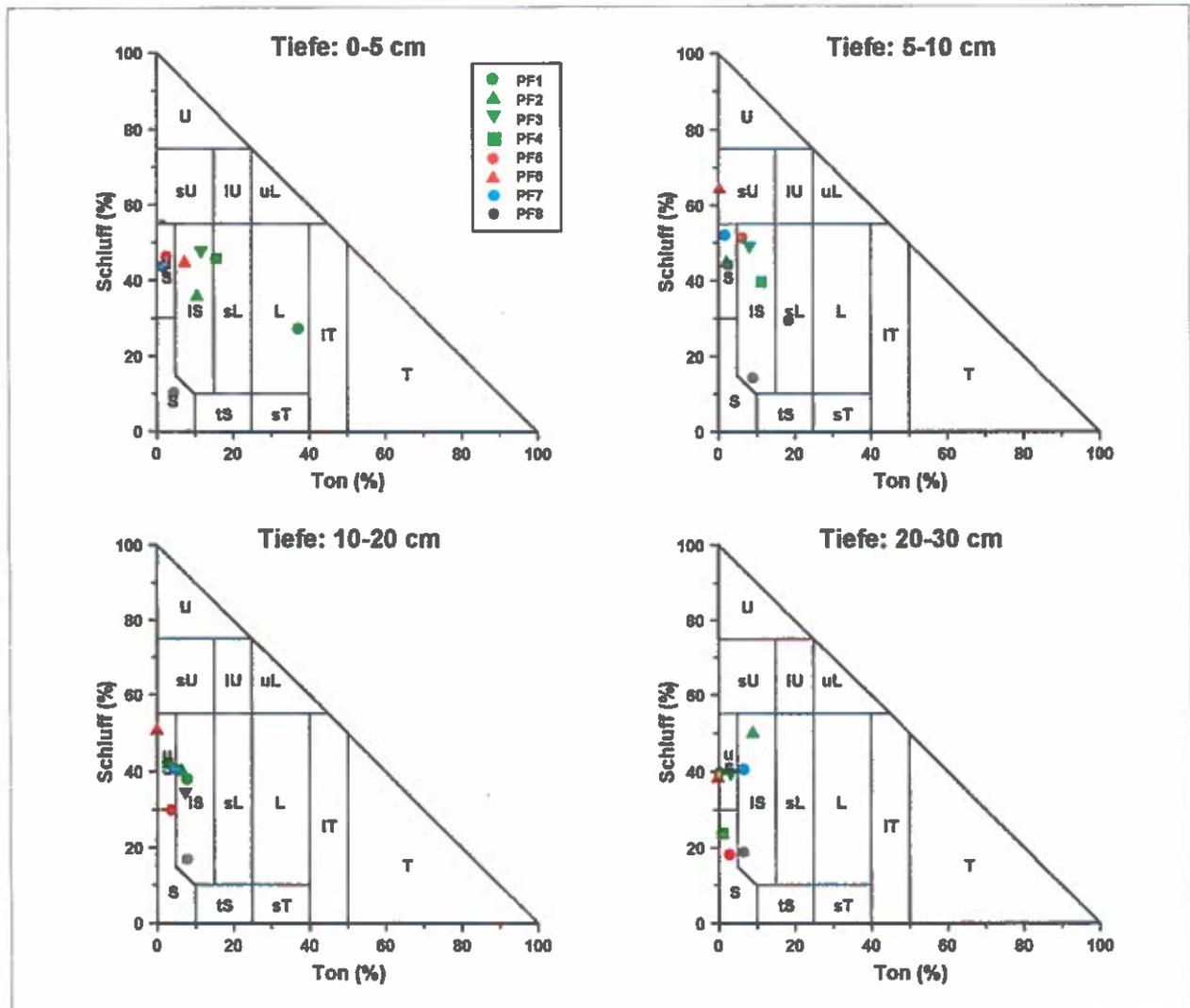


Abb. 7:
Bodenart der Probeflächen gegliedert nach Tiefenstufen

(grüne Signaturen symbolisieren Rasenstandorte; rote Signaturen entsprechen Waldstandorten, die hellblaue Signatur dem Zwergstrauchheidenstandort und Grau dem Blauenstandort; S...Sand; tS...toniger Sand; IS...lehmiger Sand; uS...schluffiger Sand; L...Lehm; sL...sandiger Lehm; uL...schluffiger Lehm; U...Schluff; sU...sandiger Schluff; IU...lehmiger Schluff; T...Ton; sT... sandiger Ton; IT...lehmiger Ton)

wert der Bodenfeuchte zu schließen, war nicht möglich. Für die Beurteilung des Aufnahmevermögens wurden daher die Angaben aus den Labor-pF-Kurven in Kombination mit den nach Erreichen der Abflußkonstanz (Zeitpunkt der annähernden Sättigung des Oberbodens) ermittelten Abflußbeiwerten verwendet.

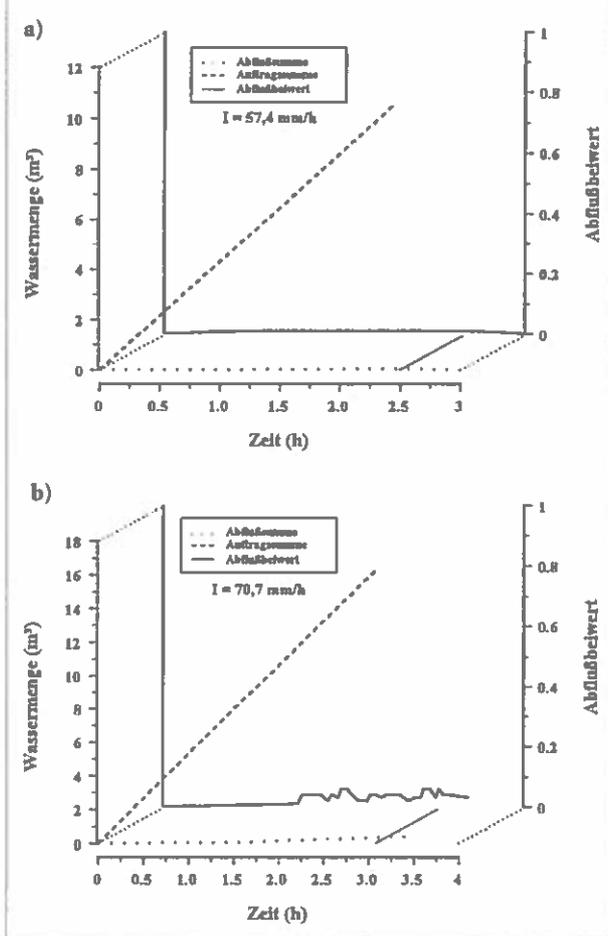
Bodenphysikalische Charakteristika

An diesem Standort konnten keine ungestörten Bodenproben (Zylinder) entnommen werden. Es wurden jedoch Kenngrößen an gestörtem Material ermittelt, die einen Vergleich mit den anderen untersuchten Standorten ermöglichen:

Wegen des lehmigen Substrates ist der Oberboden dieser Fläche in 0 bis 5 cm Tiefe wesentlich bindiger als die vergleichbaren Horizonte aller anderen untersuchten Standorte (vgl. Abb. 7). Die Textur wird mit zunehmender Tiefe immer sandiger (sL in 5 - 10 cm). Ab 10 cm Tiefe ist die Korngrößenverteilung mit der der anderen Versuchsflächen vergleichbar (Bodenart IS in 10 - 20cm, bzw. uS in größeren Tiefen).

Die Dichte der Festsubstanz differiert bei den Rasenstandorten (Profile 1 bis 4, vgl. Tab. 2) nur in geringem Maße, die Werte liegen in Abhängigkeit vom Humusanteil in der obersten Bodenschicht zwischen 2,11 und 2,42 g/cm³. Mit zunehmender Tiefe steigt die FD etwas an, die Werte liegen näher zusammen.

Abb. 8:
Abflußkennwerte PF 1 -
Weiderasen am Standort Schusterbauernalm



4.1.2 Standort Herzogbauernalm 1 (PF 2)

Seehöhe	1265 m
Exposition und Neigung	ESE-exponierter Hang, sehr stark geneigt
Relief	schwach ausgeprägter Rücken, bewegtes Kleinrelief (Viehtritte)
Vegetation	Calluno-Nardetum, beweidet, Deckungsgrad > 90%
Boden	(podsolige) Braunerde, Oberboden stark durchwurzelt, mäßiger Skelettanteil Textur: lehmiger Sand bis schluffiger Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	randliche Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und in aufgelockerten Felspartien, ohne Anzeichen akuter Bewegungen

Ergebnisse der Beregnungsversuche

Die Resultate der Beregnungsversuche sind in der Reihenfolge ihrer Durchführung in Abb. 10 dargestellt. Beim ersten Versuch wurden über einen Zeitraum von 6 Stunden 296,4 mm Niederschlag aufgebracht. Das ergibt eine stündliche Intensität $I = 49,4$ mm. Abb. 10a zeigt einen auf drei Stunden reduzierten Ausschnitt des Versuchsverlaufes, bereits 20 Minuten nach Beregnungsbeginn wurde geringfügiger Oberflächenabfluß gemessen. Insgesamt wurden 21,7 m³ auf der Fläche verregnet, davon flossen 480 Liter (2,2% der Gesamtniederschlagsmenge) an der Oberfläche ab. Dieser Wert liegt nur unwesentlich unter dem Abflußkoeffizienten (AK: 0,02) nach Erreichen der Abflußkonstanz, 30 min nach Versuchsbeginn.

In einer zweiten Versuchsanordnung wurde die Intensität auf 91,7 mm/h gesteigert (Abb. 10b). In 3 Stunden wurde annähernd die gleiche Niederschlagsmenge wie tags zuvor in 6 Stunden aufgebracht (275 mm gegenüber 296,4 mm). Die ersten 50 Liter OA wurden nach 13 Minuten registriert, ab diesem Zeitpunkt blieb der Abfluß konstant, von der aufgebrachten Niederschlagsmenge (20,6 m³) flossen 3,0 m³, das sind 14,7%, oberflächlich ab. Der Abflußkoeffizient ab Zeitpunkt der Abflußkonstanz war 0,16.

Unter Zugrundelegung der bei diesen beiden Experimenten ermittelten Abflußkennwerte wäre bei einer Intensität von 70 mm/h rein rechnerisch ein AK von 0,07 zu erwarten. Zur Überprüfung dieser Annahme wurde ein dritter Versuch mit $I = 70,5$ mm/h gefahren (Abb. 10c) - Versuchsdauer: 2 Stunden. Das ergibt eine Regenmenge von 10,6 m³. Davon wurden 0,88 m³, das entspricht einem Anteil von 8,3%, in den Sammelbehältern wieder aufgefangen. Nach 25 Minuten war der Kulminationspunkt des Abflusses erreicht, der Anstieg erfolgte ähnlich rasch wie beim vorhergehenden Versuch. Der Abflußkoeffizient wurde mit 0,09 ermittelt. Der Anstieg des Oberflächenabflusses bei der Erhöhung der Intensität von $I = 49,4$ mm/h über $I = 70,5$ mm/h auf 91,7 mm/h kann also als annähernd linear bezeichnet werden.

Bei allen auf diesem Standort durchgeführten Beregnungsexperimenten konnte am Bodenschlitz bis in 1,80 m Tiefe kein Zwischenabfluß beobachtet werden.

Bodenphysikalische Charakteristika

Abb. 9a zeigt die volumsgerechte Verteilung der mineralischen Festsubstanz, der organischen Substanz und die Anteile der verschiedenen Porenklassen in den verschiedenen Tiefenstufen. Der Gesamtporenanteil des Oberbodens nimmt von 58% bis in 20 - 30 cm Tiefe auf 41% ab. Für die Dränfähigkeit des Bodens ist der

Größtporenanteil ausschlaggebend. Dieser sinkt von ca. 15% im Oberboden (0 - 20 cm) in 20 - 30 cm auf unter 7% ab. Erst darunter ist wieder eine leichte Zunahme zu beobachten. Die oberste Bodenschicht (0-5 cm) ist nach KUNTZE et al. (1983) als stark humos zu bezeichnen (10 Gew%, bzw. 4 Vol%). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Humusanteil auf 4 Gew% bzw. 1 bis 2 Vol% ab (mittlerer Humifizierungsgrad). Bemerkenswert der geringe Tonanteil in allen Tiefenstufen, der Sandanteil liegt durchwegs um 20 Vol%. Aus dem Texturdreieck ergeben sich daher lehmige bzw. schluffige Sande als vorherrschende Bodenart. Der gutachtlich angeschätzte Skelettanteil ist nur in der obersten Bodenschicht sehr gering, in den tieferen Schichten liegt er einheitlich zwischen 10 und 15%.

Für jede Tiefenstufe wurde die gesättigte Leitfähigkeit ermittelt (vgl. Abb. 17 und Tab. 2). Legt man die Einteilung von KUNTZE et al. (1983) zugrunde, sind die an diesem Standort gemessenen Werte durchwegs als extrem hoch zu bezeichnen. Für die obersten zwei Tiefenstufen (0 - 10 cm) wurden 418 cm/d gemessen, in 10 - 20 cm Tiefe stieg die Leitfähigkeit auf 576 cm/d an, und sank darunter auf 360 cm/d ab. Aus der im Labor bestimmten pF-Kurve konnte die Luftkapazität (LK), d.h. der luftgefüllte Porenraum des Bodens bei Feldkapazität (FK) ermittelt werden. Das Produkt aus LK und Kf-Wert ergibt die potentielle Infiltration (Inf_{pot}). Diese ist ein rechnerisches Maß für jene Niederschlagsmenge, die ein Bodenkörper definierter Mächtigkeit in einer bestimmten Zeiteinheit aufnehmen kann. Sie wird in mm/h angegeben. Die Inf_{pot} ist in Abb. 9b für die einzelnen Tiefenstufen, jeweils im Vergleich mit den korrespondierenden Größtporenvolumina dargestellt. Die Verringerung des dränfähigen Porenquerschnittes in 20 - 30 cm bedeutet natürlich auch eine Reduktion der Luftkapazität und schlägt sich in einer deutlichen Abnahme der potentiellen Infiltration nieder.

4.1.3 Standort Herzogbauernalm 2 (PF 3)

Seehöhe	1285 m
Exposition und Neigung	SSE-exponierter Hang, stark geneigt
Relief	ausgeglichen (Viehtritte)
Vegetation	Calluno-Nardetum, stärkerer Verweidungsgrad als an PF 2, beweidet, Deckungsgrad > 90%
Boden	Braunerde, sehr starke Durchwurzelung im Oberboden, geringer bis mäßiger Grobanteil <i>Textur:</i> lehmiger Sand bis schluffiger Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	Randliche Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und in aufgelockerten Felspartien, ohne Anzeichen akuter Bewegungen

Ergebnisse der Berechnungen

Diese Fläche wurde in einem ersten 3-stündigen Versuch mit einer Intensität $I = 56,1$ mm/h beregnet (Abb. 11a). Insgesamt wurden 168,3 mm Niederschlag ($12,62$ m³) aufgebracht. Der Anteil des Oberflächenabflusses war mit 1,3% vernachlässigbar gering, Abflußkonstanz war nach 1h 18' zu beobachten. Nach der Abflußkulmination lag der AK bei 0,02; auch der Nachlauf war mit einer gemessenen Menge von 8 Litern sehr gering.

In einer zweiten Versuchsanordnung wurde die Niederschlagsintensität auf 83 mm/h gesteigert (Abb. 11b). Dieses Experiment mußte jedoch bereits nach 24 min Dauer abgebrochen werden. Hoher Oberflächenabfluß führte zu einer Lockerung der Auf-

Abb. 9a: PF2: Volumsgerechte Verteilung der Festsubstanz und Porenanteile

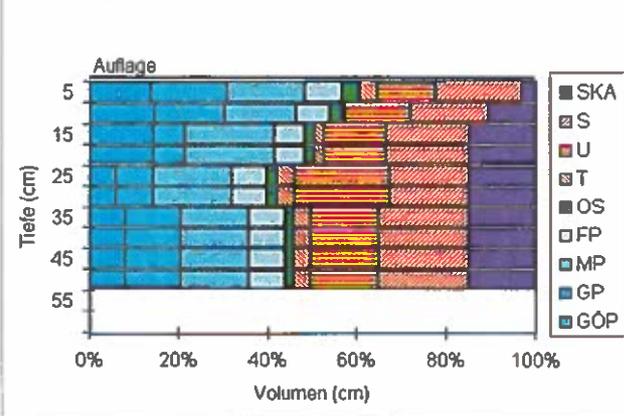


Abb. 9b. PF2: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen

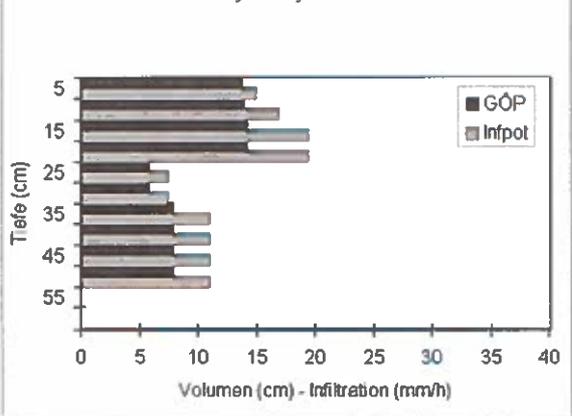


Abb. 10:
Abflußkennwerte PF2 - Weiderasen am Neuhausengraben

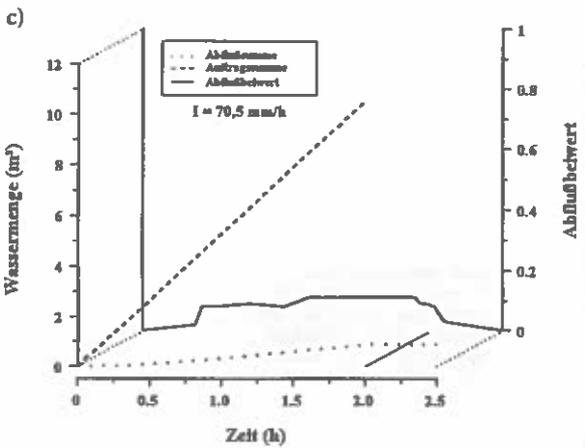
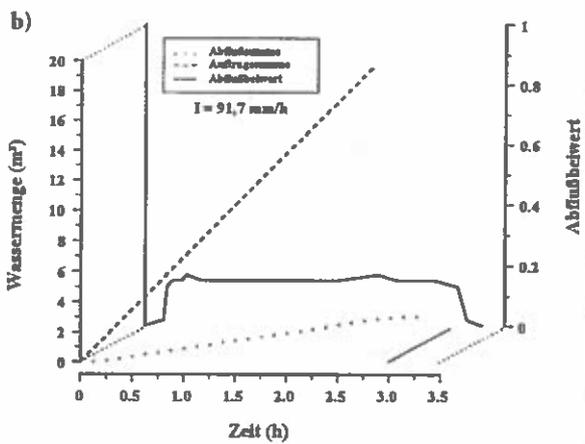
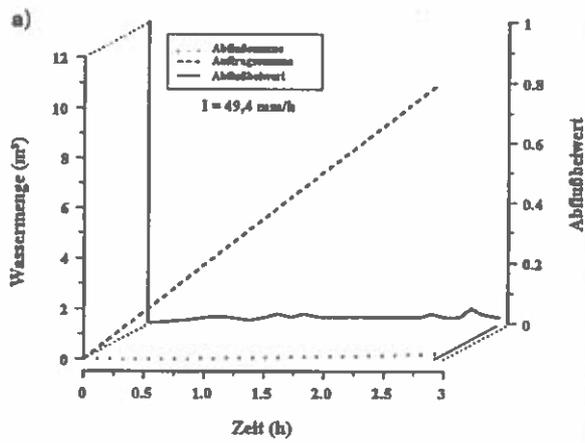
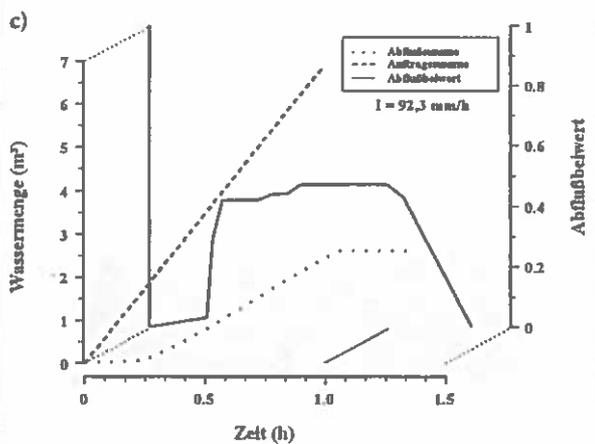
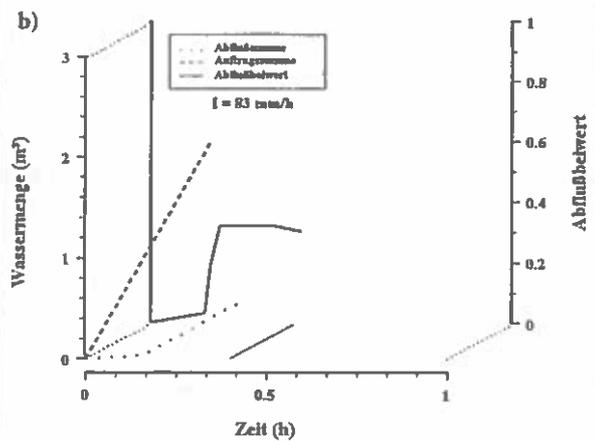
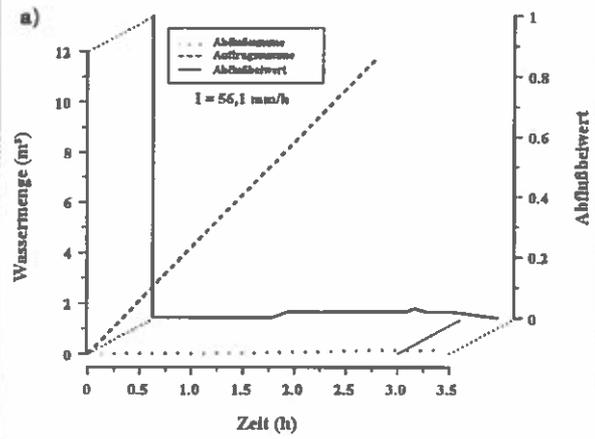


Abb. 11:
Abflußkennwerte PF3 - leicht verheideter Weiderasen am Standort Herzogbauernalm oberhalb von PF 2



fangplane, diese wurde aus ihrer Verankerung geschwemmt, und ein Teil des OA rann an der Auffangrinne vorbei. Dieser Effekt äußert sich in einem leichten Abfall der Abflußbeiwertkurve in Abb. 11b. Nach 20 Minuten blieb der Abfluß konstant (AK = 0,32). Von 2,49 m³ Regenmenge wurden 0,54 m³ (21,7%) in der Abflußmeßanlage aufgefangen.

Nach der Rejustierung der Auffangeinheit wurde die Fläche erneut beaufschlagt, diesmal mit 92,3 mm/h (Abb. 11c). In einer Stunde wurden 6,26 m³ Niederschlag aufgebracht, 41,6% oder 2,6 m³ davon als OA gemessen. 23 Minuten nach Beregnungsbeginn blieb der OA für weitere 8 min konstant (AK = 0,42), nach dem Einsetzen eines starken Fallwindes, der einen Teil der Regenmenge direkt in die Auffangeinheit wehte bzw. dem unteren Teil der beregneten Fläche zu einer höheren Dotation verhalf, erhöhte sich der AK auf 0,49. D.h. fast 50% der aufgebrachten Niederschlagsmenge flossen an der Oberfläche ab.

Bodenphysikalische Charakteristika

Dieser Standort verfügt über einen sehr hohen Gröbstoporenanteil, 18% des Gesamtbodenvolumens stehen in der obersten Tiefenstufe (TS 1) für die rasche Dränung zur Verfügung (Abb. 12a). Der Anteil der Grobporen (Durchmesser zwischen 50 µm und 10 µm) liegt ähnlich hoch. Mit zunehmender Tiefe ist ein Anstieg des Gröbstoporenanteiles zu beobachten, der Grobporenanteil nimmt jedoch abrupt ab. Besonders in den obersten Tiefenstufe fällt der hohe Humusanteil auf (19,5 Gew% bzw. 6,7 Vol%). Der organische Anteil wird mit zunehmender Tiefe nur langsam geringer, so wurden in 15 cm noch immer über 10 Gew% bzw. an die 4 Vol% Humus festgestellt.

Zur Korngrößenverteilung: Der Boden weist eine vorwiegend lehmig sandige Textur auf, mit zuneh-

mender Tiefe wird der Tonanteil geringer (vgl. Abb. 7) Der Skelettgehalt dieses Profiles liegt etwas höher als beim zuvor besprochenen, er macht in 30 cm Tiefe über 35% des Gesamtvolumens aus.

In Oberboden dieses Standortes wurden extrem hohe K_F-Werte gemessen. Beim Übergang von TS 3 zu TS 4 konnte jedoch ein regelrechter Einbruch beobachtet werden, die gesättigte Leitfähigkeit sank von 835 cm/d auf 216 cm/d. Aufgrund der guten Porencharakteristik und der hohen K_F-Werte ergeben sich auch sehr hohe Infiltrationsraten - über 30 mm/h im Oberboden (Abb. 12b). Als Ursache der Infiltrationsabnahme in 30 cm Tiefe kann die bereits angesprochene reduzierte Leitfähigkeit in diesem Profilbereich angesehen werden.

4.1.4 Standort Herzogbauernalm - Klamm bach PF 4)

Seehöhe	1230 m
Exposition und Neigung	NNW-exponierter Hang, mäßig geneigt
Relief	Unterhang - ausgeglichen (Viehtritte)
Vegetation	Nardetum, beweidet, Deckungsgrad > 90%
Boden	podsolige Braunerde, Oberboden stark durchwurzelt, mäßiger Grobanteil <i>Textur:</i> in der obersten Tiefenstufe sandiger Lehm, mit zunehmender Tiefe Übergang von lehmigem bzw. schluffigem Sand zu Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	stark bis gänzlich entfestigter Fels (Grus - Blockwerk), tiefgreifend verwittert, wasserdurchlässig, Anzeichen akuter Hangbewegungen

Abb. 12a: PF 3: Volumsgerechte Verteilung der Festsubstanz- und Porenanteile

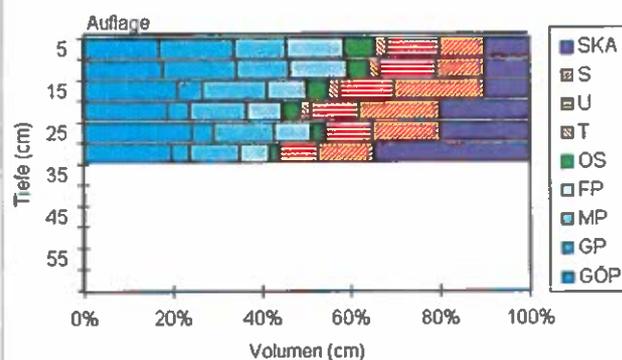
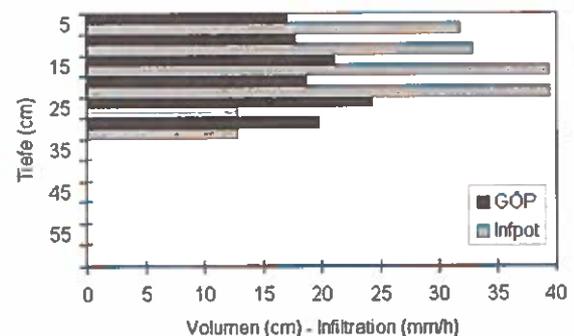


Abb. 12b: PF 3: Gröbstoporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen



Ergebnisse der Berechnungen

Auf diesem Standort wurde gleich zu Beginn mit der hier größtmöglichen Niederschlagsmenge (80,3 mm/h) berechnet (Abb. 13a). Bedingt durch die große Distanz zur Wasserentnahmestelle und dem Schwebstoffgehalt des Löhnersbaches bzw. seiner Zubringer zum Zeitpunkt der Beregnung konnte eine höhere Intensität nicht erreicht werden. In zwei Stunden wurden 12,1 m³ Wasser verregnet, 14,6% davon (1,76 m³) wurden als OA gemessen. Bereits nach 5 Minuten war der maximale OA erreicht (vgl. Abb. 13a), die Abflußkurve behielt dieses Niveau (AK = 0,15) bis zum Beregnungsende bei.

Durch die Reduktion der Intensität auf 51,2 mm/h (Abb. 13b) änderte sich nur die Höhe der Abflußkurve, nicht aber deren Form. Aufgrund der geringeren Niederschlagsmenge setzte der OA etwas später ein, ein konstanter Abfluß trat nach 14 min auf (AK = 0,13). Trotz einer Reduktion der Niederschlagsmenge gegenüber dem Vorversuch um über 60% lag der ermittelte Abflußbeiwert nur um 2% unter dem zuvor erhaltenen Wert.

In einem dritten Versuch wurde eine sogenannte Minimalvariante (26,4 mm/h) gefahren (Abb. 13c). 34 Minuten nach Beregnungsbeginn konnten die ersten 10 Liter Abfluß gemessen werden, dieser pendelte sich nach 45 min auf 8% der aufgebrauchten Regenmenge ein. Von der Gesamtniederschlagsmenge (5,97 m³) konnten 0,41 m³ (6,9%) nicht in den Boden eindringen und rannen an der Oberfläche ab (AK = 0,07).

Bodenphysikalische Charakteristika

An diesem Standort fällt vor allem im Oberboden das extrem geringe Größtporenvolumen auf (nur 3% in 0 - 5 cm Tiefe, 6% in 10-20 cm Tiefe). Erst ab 20-30 cm ist ein Anstieg des schnell dränenden Porenanteiles zu beobachten (Abb. 14a). Die Grobporenvolumina liegen im Oberboden relativ einheitlich um 10%. Unterhalb von 20 cm ist eine leichte Abnahme zu erkennen. Den höchsten Anteil in allen Tiefenstufen nehmen die Mittelporen ein (zwischen 22 und 26%), der Boden verfügt daher über ein sehr hohes Speichervermögen.

Besonders die obersten Bodenschichten weisen einen sehr hohen Humusgehalt auf, der Boden wäre nach KUNTZE et al. (1983) sogar als sehr stark humos bis anmoorig zu klassifizieren. So beträgt der Anteil an organischer Substanz in der obersten Tiefenstufe 18 Gew% bzw. 8 Vol%, er nimmt mit zunehmender Tiefe jedoch stark ab (vgl. Abb. 14a). Die vorherrschende Bodenart im Oberboden ist lehmiger bis schluffiger Sand, unterhalb von 20 cm wird der Schluffanteil deutlich geringer, die Sandfraktion dominiert.

Ab 10 cm wird der homogen in die Feinfraktion eingebettete Skelettanteil mit 20 Vol% dominanter.

Aus Abb. 14b wird erkennbar, daß es mit dem Dränvermögen dieses Standortes nicht zum Besten bestellt ist. Mit Infiltrationsraten um 10 mm/h/10cm ist dieser Boden in bezug auf seine Dränfähigkeit am unteren Ende der untersuchten Flächen einzuordnen.

Abb. 13:
Abflußkennwerte PF 4 - Weiderasen am Klammbach

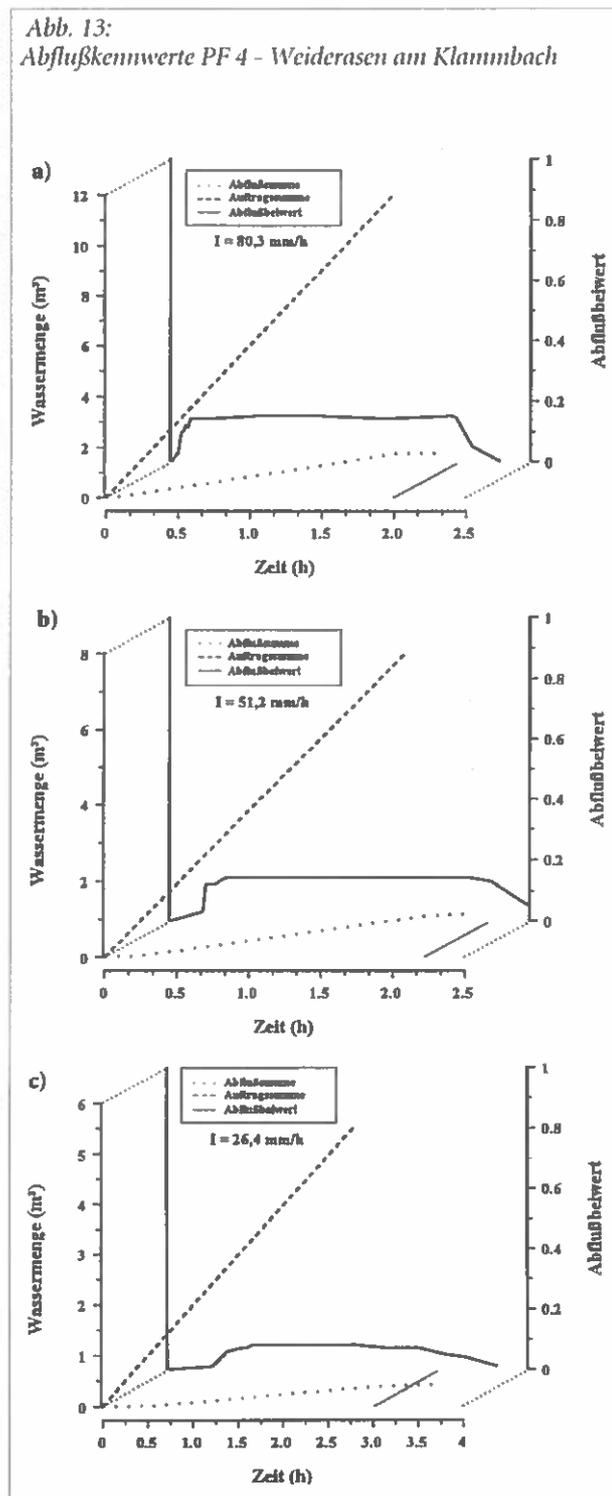


Abb. 14a:

PF 4: Volumsgerechte Verteilung der Festsubstanz- und der Porenanteile

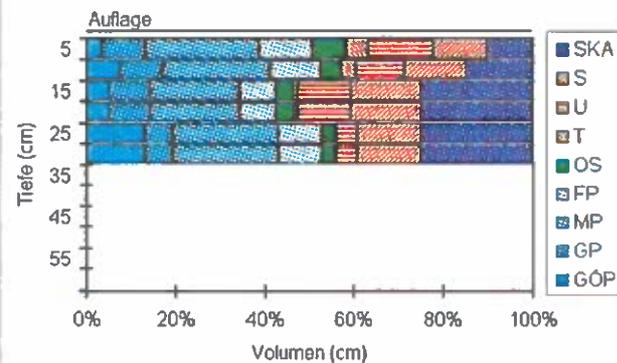
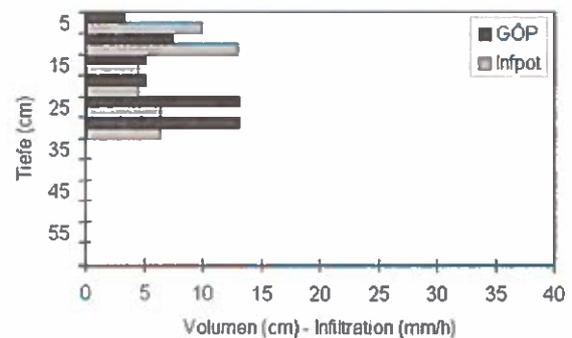


Abb. 14b:

PF 4: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen



4.2 Waldstandorte

4.2.1 Standort Klammbach 1 (PF 5)

Seehöhe	1490 m
Exposition und Neigung	NNW-exponierter Hang, schwach geneigt
Relief	Hangverflachung, bewegtes Kleinrelief (Mulden, kleine Buckel)
Vegetation	Vaccinio Piceetum, Deckungsgrad der Bodenvegetation >90% (hoher Moosanteil), Überschirmungsgrad der Fichte = 0,6
Boden	Semipodsol - Podsol - Übergang, bis 30 cm Tiefe stark durchwurzelt, mäßiger Skelettanteil <i>Textur:</i> in der obersten Tiefenstufe uS, mit zunehmender Tiefe Übergang von lehmigem Sand zu Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	versackte Felspartien, teilweise in Schollenmosaik aufgelöst; Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und aufgelösten Felspartien ohne Anzeichen akuter Bewegungen

Ergebnisse der Berechnungen

Auf dieser Versuchsfläche wurden insgesamt sechs Berechnungsversuche durchgeführt.

Der erste Versuch mit $I = 98,9$ mm/h mußte nach einer Dreiviertelstunde abgebrochen werden (Abb. 15a). Diese Fläche zeigte im Gegensatz zu den bisher beobachteten Standorten ein vollkommen anderes Abflußverhalten. Ein hoher Anteil des Niederschlages

floß in einer ca. 30 cm mächtigen Front zwischen der Oberkante des Auffangschlitzes und dem Bhs-Horizont ab. Die in ca. 10 cm Tiefe installierte Auffangplane wurde zum Großteil unterlaufen, der Abfluß dadurch beträchtlich unterschätzt.

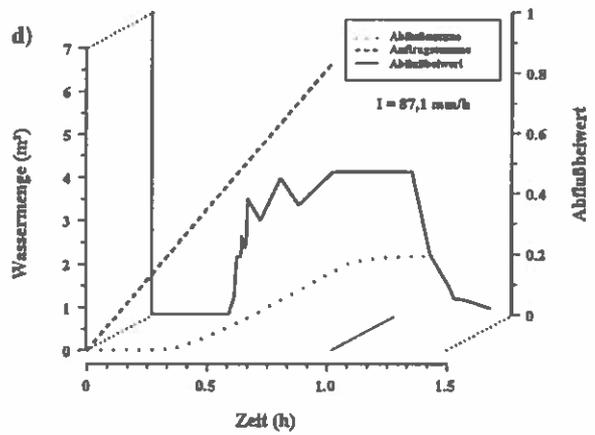
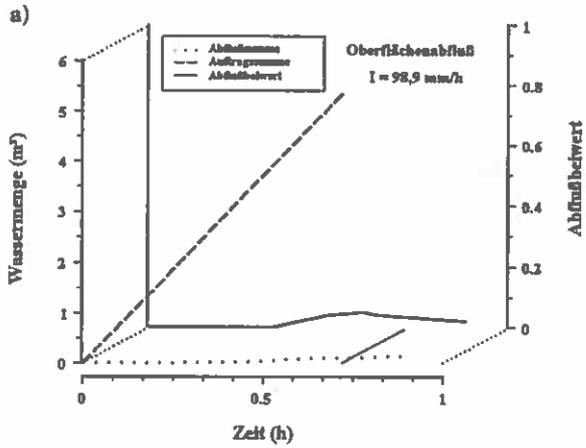
Beim zweiten Versuch wurden zwei getrennte Auffangeinheiten installiert, eine zur Quantifizierung des OA und eine für die Ermittlung des Zwischenabflusses (Abb. 15b). Bei einer Intensität $I = 57,4$ mm/h war der an der Oberfläche abfließende Anteil relativ gering. Erst nach 45 min trat OA auf, dieser wurde innerhalb weniger Minuten annähernd konstant ($AK = 0,05$). Der oberflächennahe Abfluß (= Zwischenabfluß ZA) setzte bereits 26 Minuten nach Beregnungsbeginn ein, es konnte jedoch keine Konstanz beobachtet werden. Die leichten Schwankungen haben vor allem methodische Ursachen, z.B. unregelmäßige Schüttung durch nicht exakt quantifizierbaren Subsurface Flow-Anteil am Surface Flow. Der Abflußkoeffizient pendelte zwischen 0,20 und 0,35. Insgesamt konnten von $8,7$ m³ aufgebracht Niederschlagsmenge an der Oberfläche $0,26$ m³ und im Zwischenbereich $1,65$ m³ also insgesamt $1,91$ m³ (22%) nicht von der Bodenmatrix festgehalten werden.

Nach Ablauf der 2 Stunden wurde die Anlage für zwei Minuten abgestellt und durch Änderung der Düsenanordnung die Intensität auf $78,7$ mm/h erhöht (Abb. 15c).

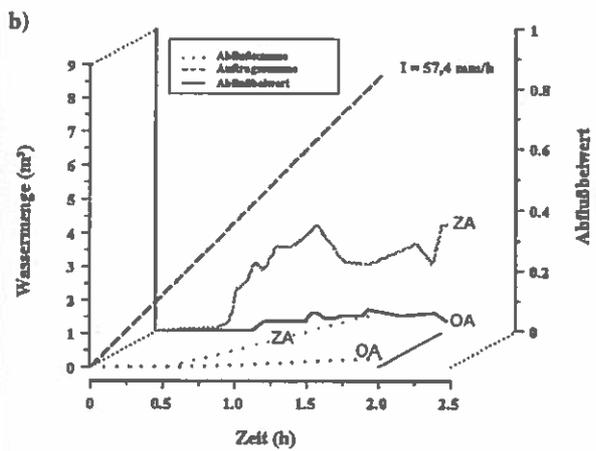
Nach einer kurzen Anlaufzeit war ein wesentlich höherer OA als beim vorhergehenden Versuch erreicht ($AK = 0,15$). Der oberflächennahe Abfluß stieg sogar auf über 50% an. Allerdings blieb auch bei diesem Versuch der Zwischenabfluß nicht konstant.

Auffallend war auch die lange Nachlaufdauer des ZA (28 min). $3,35$ m³ (56,7%) der Gesamtregenmenge ($5,9$ m³) waren als Abfluß in der Auffangeinheit regi-

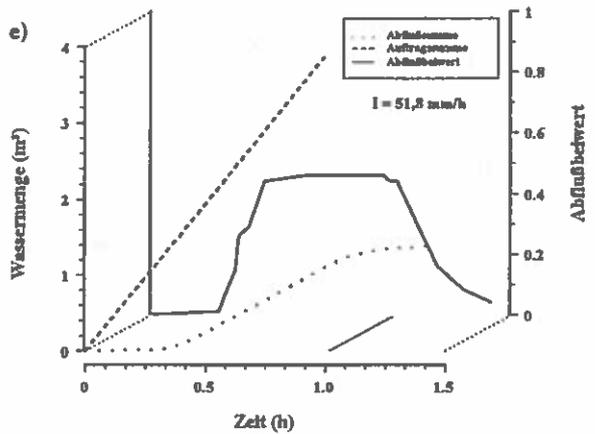
Abb. 15.1:
Abflußkennwerte PF 5 - lockerer Heidelbeer-Fichtenwald am Klammbach



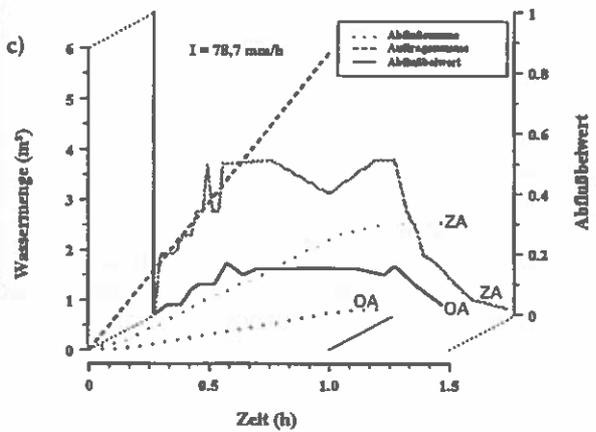
(Oberflächen- und Zwischenflächenabfluß)



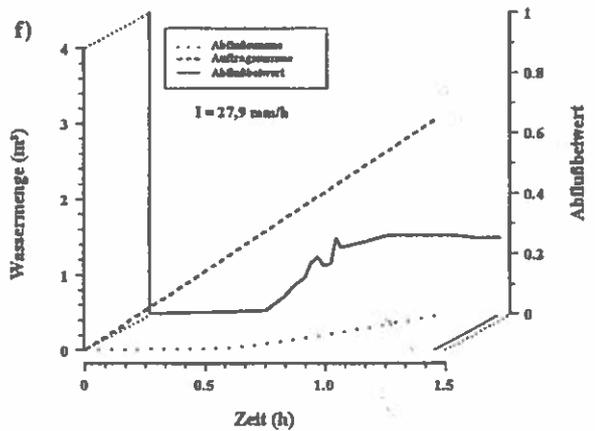
(Oberflächenabfluß - schwarz, Zwischenflächenabfluß - grau)



(Oberflächen- und Zwischenflächenabfluß)



(Oberflächenabfluß - schwarz, Zwischenflächenabfluß - grau)



(5,9 m³) waren als Abfluß in der Auffangeinheit registriert worden.

Um das Verhalten von Boden-Vegetationskomplexen beim Nachlassen extremer Starkregenereignisse zu beobachten, wurden am 6.9.1992 am selben Standort noch einmal 3 Beregnungen mit gestaffelten Intensitäten durchgeführt. Die Messung von OA und ZA erfolgte aus Gründen der Vereinfachung und um die Linearität des Abflusses zu überprüfen in einem gemeinsamen Auffangbehälter. Beim ersten Versuch wurden 87,1 mm in einer Stunde aufgebracht (Abb. 15d), 20 min nach Beregnungsbeginn wurde der erste Abfluß gemessen, Abflußkonstanz wurde unter einigen Schwankungen nach weiteren 21 Minuten erreicht. Der maximale Abfluß betrug 47%, insgesamt wurden 33 % (2,2 m³) des gesamten Niederschlages (6,66 m³) als Abfluß - inkl. Nachlauf - quantifiziert.

Nach einer kurzen Unterbrechung zur Umjustierung der Anlage erfolgte der zweite Beregnungsversuch mit $I = 51,8$ mm/h (Abb. 15e). Nach 18 min setzte Abfluß ein, bereits 8 Minuten später blieb der Verlauf der Kurve bis 3 Minuten nach Beregnungsende konstant. Der maximale Abfluß lag bei 43,8%, der Anteil des Abflusses (1,39 m³) vom Gesamtniederschlag (3,89 m³) betrug 35,7%.

Beim dritten Versuch an diesem Tag wurde die Niederschlagsdotation auf die Intensität eines normalen Starkregens (GUTMANN 1948) reduziert (Abb. 15f). Von 27,9 mm Regen, also 3,1 m³ in 1,5 Stunden wurden nur 15,9 % (0,5 m³) als Abfluß aufgefangen. Die Abflußbildung erfolgte stark verzögert, erst 52 min nach Beregnungsbeginn blieb der Abflußbeiwert auf einem annähernd konstanten Niveau (AK = 0,25).

Bodenphysikalische Charakteristika

Dieser Semipodsol unter einem lichten Fichtenaltbestand ist sehr locker gelagert, die Rohdichte liegt im Oberboden zwischen 0,6 und 0,7 g/cm³. Entsprechend hoch daher auch das Gesamtporenvolumen, in den obersten 20 cm macht es zwischen 62 und 67% vom Volumen des Bodenkörpers aus (vgl. Abb. 16a). Die obersten zwei Tiefenstufen sind durch eine gute Gröbstoporenausstattung (ca 16%) und sehr hohe Mittelporenanteile gekennzeichnet. Das würde einerseits gute Dränfähigkeit und andererseits auch eine hohe Speicherleistung bedeuten. Durch die Verengung des rasch dränfähigen Porenquerschnittes in einer Tiefe von 10 - 20 cm (Bereich des B_{hs}-Horizontes) wird jedoch der rasche Wasserdurchsatz stark gebremst und ein Staueffekt erzeugt (TISCHENDORF 1971). Die Erhöhung des Dränporenanteiles in den tieferen Horizonten ist für den vertikalen Versickerungsstrom aus

dem Oberboden kaum von Bedeutung, es wird dadurch aber die Tiefensickerung lateraler bzw. über Sekundärporen fließender Wasserströme begünstigt.

In den obersten Tiefenstufen wurden 20 Gew% Humus festgestellt (6 Vol%), im Bereich des Stauhizontes (10 - 20 cm Tiefe) sind es immer noch 13,5 Gew% bzw. 4 Vol%. Die Textur ist im Oberboden schluffig sandig (0 - 5 cm Tiefe) bzw. lehmig sandig (5 - 10 cm, vgl. auch Abb. 7). Mit zunehmender Tiefe steigen sowohl der Sand- als auch der Skelettanteil deutlich an.

Trotz des in 0 - 10 cm Tiefe ausreichenden GÖP-Volumens ist die für diese Stufen ermittelte Infiltrationsleistung mit 12 mm/h/10cm sehr gering. Die $I_{f_{pot}}$ nimmt in der dritten Tiefenstufe noch einmal um 50% ab (6 mm/h/10cm) und steigt danach ungefähr auf den für die obersten Bodenschichten ermittelten Wert. Für den Einbruch ab 10 cm ist hauptsächlich die Abnahme der Leitfähigkeit verantwortlich. Der K_f -Wert sinkt von 216 cm/d in 0 - 10 cm auf 144 cm/d in 10 - 20 cm Tiefe ab. Darunter steigt die gesättigte Leitfähigkeit wieder auf 202 mm/h an (vgl. Abb. 17 und Tab. 2).

4.2.2 Standort Klammbach 2 (PF 6)

Seehöhe	1470 m
Exposition und Neigung	NW-exponierter Hang, sehr stark geneigt
Relief	Mittelhang über der Straßenböschung, ausgeglichen
Vegetation	Naturverjüngung - Vaccinio Piceetum, Deckungsgrad: > 90% (hpts. Vaccinium myrtillus)
Boden	podsolige Braunerde, starke Durchwurzelung im Oberboden, mäßiger Skelettanteil <i>Textur:</i> lehmiger Sand (oberste Tiefenstufe), darunter kaum Tonanteil; sU - uS (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	versackte Felspartien, teilweise in Schollenmosaik aufgelöst; Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und aufgelösten Felspartien ohne Anzeichen akuter Bewegungen bzw. frischer Anrisse

Ergebnisse der Beregnungsversuche

Eine einstündige Beregnung mit $I = 49,9$ mm/h brachte auf diesem Standort keinen Abfluß (Abb. 18a). Auch über die Erhöhung der Regenmenge auf 83,2 mm/h und die Verlängerung der Versuchsdauer auf 4 Stunden

Abb. 16a:
PF 5: Volumengerechte Verteilung der Festsubstanz- und Porenanteile

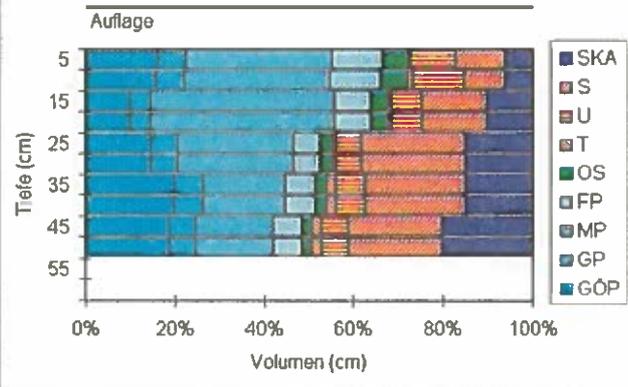


Abb. 16b:
PF 5: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen

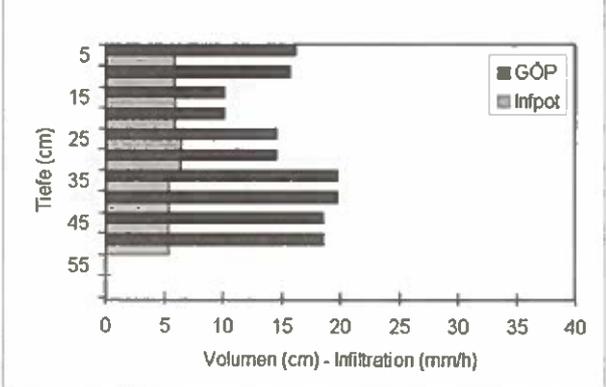
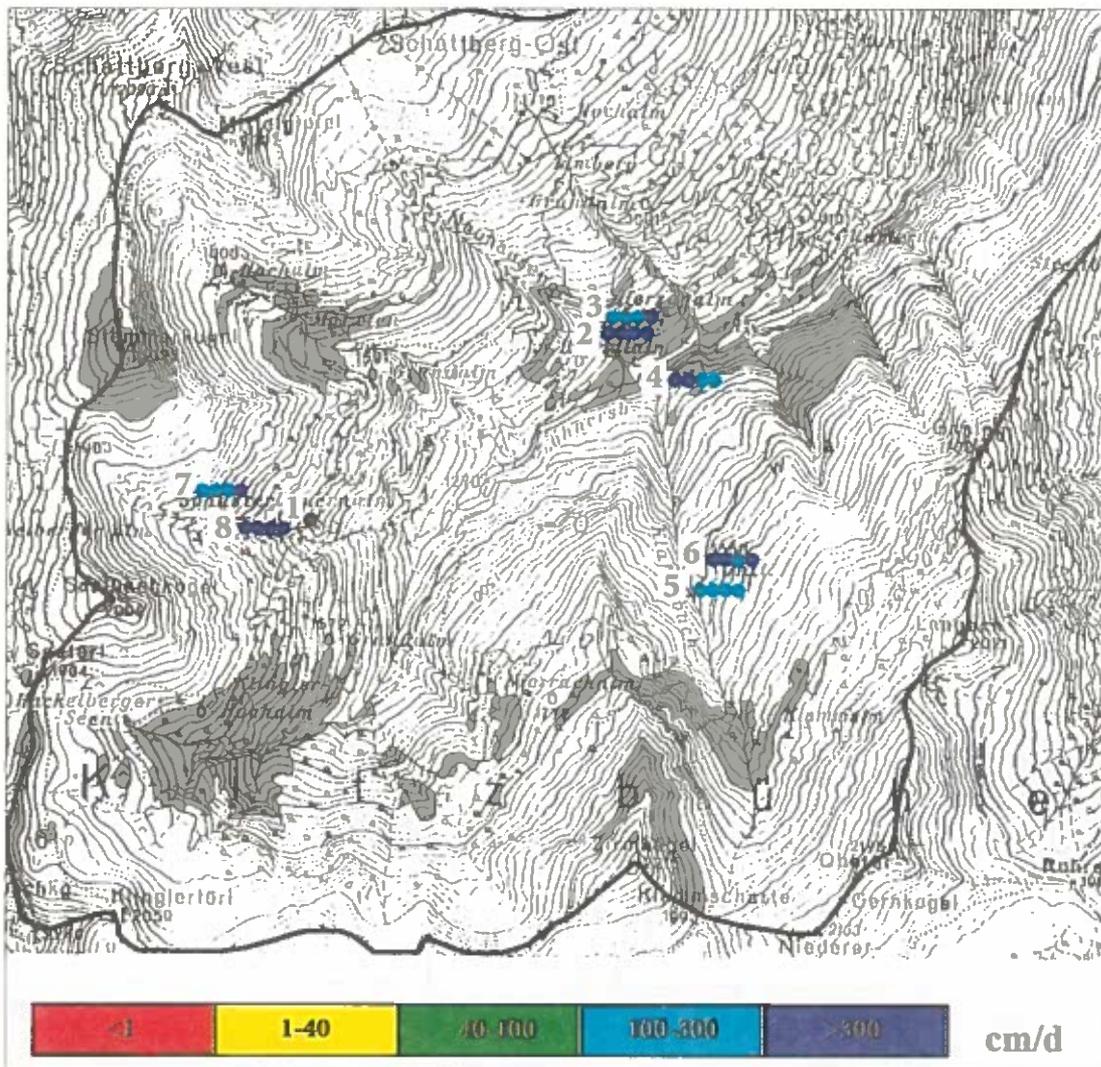


Abb. 17: Gesättigte Wasserleitfähigkeit der Böden an den Beregnungsstandorten

Die Ziffern (1 bis 8) sind die Nummern der Beregnungsflächen; der erste Punkt rechts neben der jeweiligen Ziffer kennzeichnet den Beregnungsstandort und gibt zugleich den K_r -Wert in der obersten Tiefenstufe (0 - 5 cm) wider, die Punkte daneben stehen für die K_r -Werte der weiteren Tiefenstufen (5 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm)



konnte das Retentionsvermögen des Standortes nicht erschöpft werden. Es wurde kein OA und ZA, weder am geöffneten Bodenschlitz noch im Bereich der unterliegenden, offenen Wegböschung beobachtet.

Der leichte Anstieg des Abflußbeiwertes in Abb. 18b hat seine Ursache im direkten wind- bzw. neigungsbedingten Niederschlagseintrag in die Auffangeinheit. Dieser Direkteintrag betrug gerade 0,4% (110 Liter) der im zweiten Versuch aufgebrauchten Regenmenge (24,95 m³).

Bodenphysikalische Charakteristika

Die für diesen Standort ermittelten Laborkennwerte stehen in diametralem Gegensatz zu den bei den Beregnungsversuchen erzielten hohen Versickerungswerten. Der Boden ist einerseits sehr locker aufgebaut, die Lagerungsdichte der untersuchten Schichten lag zwischen 0,56 und 0,65 g/cm³, er verfügt daher über ein sehr hohes Gesamtporenvolumen. Andererseits ist das Profil durch einen sehr geringen Anteil rasch dränender Poren gekennzeichnet (vgl. Abb. 19a). Das GÖP-Volumen beträgt in 0 - 10 cm Tiefe zwischen 8 und 9% vom Gesamtvolumen des Bodenkörpers, in 10 - 20 cm Tiefe ist eine Abnahme auf 6% zu beobachten, darunter steigt es wieder auf den Wert der obersten Bodenschicht an. Noch viel deutlicher ist die Abnahme der langsam dränenden Poren mit zunehmender Tiefe zu sehen. Der GP-Anteil sinkt nämlich von beträchtlichen 20% auf ca. 6% in TS 3. In den tieferliegenden Schichten ist wieder ein deutlicher Anstieg zu beobachten (GP > 11% in TS 4). Sehr hoch ist der Anteil an speicherfähigen Mittelporen, mit einem Maximum von 43 bis 45% in 10 - 20 cm Tiefe. Der Humusanteil von 12 Vol% bzw. über 40 Gew% in TS 1 ist extrem hoch, er nimmt jedoch rasch mit der Tiefe ab.

Die Festsubstanz weist einen mit der Tiefe stark zunehmenden Grobanteil auf, unterhalb der TS 2

konnte bei den Laborbestimmungen fast kein Tonanteil mehr nachgewiesen werden (Tonanteil in 5 - 30 cm Tiefe < 0,5%).

Mit 13 mm/h ist die potentielle Infiltrationsleistung in den obersten Tiefenstufen (0 - 10 cm) sehr gering, sie sinkt in 10 - 20 cm Tiefe sogar auf Werte um 2 mm/h ab (Abb. 19b).

Abb. 18: Abflußkennwerte PF 6 - von Heidelbeere dominierte Schlagfläche am Klammbach

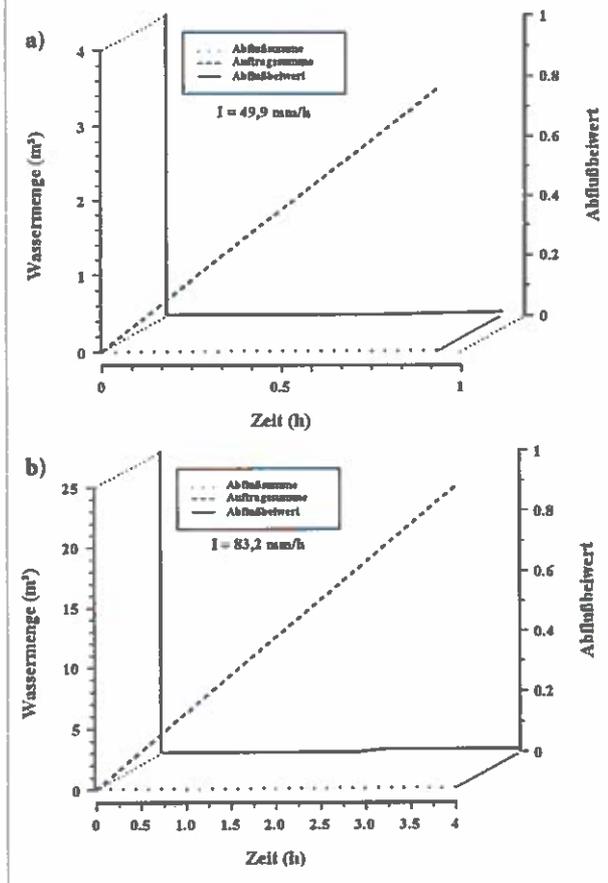


Abb. 19a: PF 6: Volumengerechte Verteilung der Festsubstanz- und Porenanteile

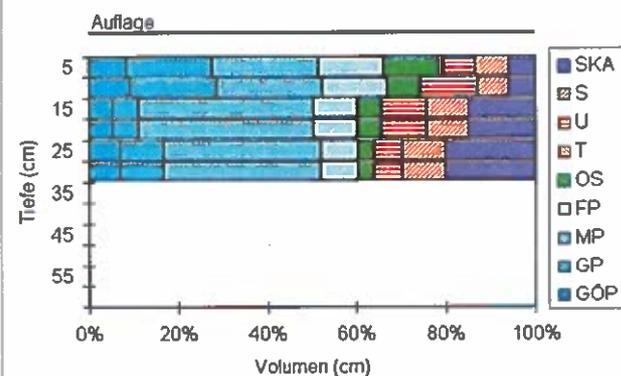
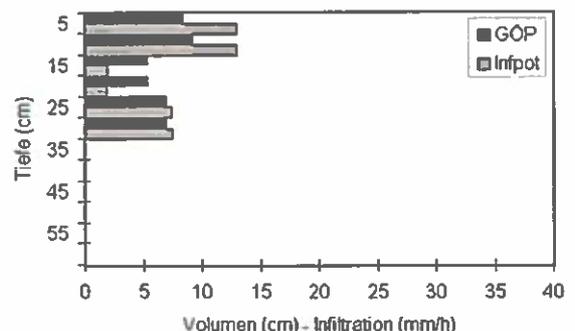


Abb 19b: PF 6: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen



1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is crucial for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the specific procedures and protocols that must be followed to ensure that all records are properly maintained and updated. It details the roles and responsibilities of the staff involved in this process.

8%-Marke in TS 6 ab. Bei volumsgerechter Betrachtung der Humusanteile ergibt sich eine Abnahme von 8% im Oberboden auf unter 3% in 50 - 60 cm Tiefe. Niedrige Lagerungsdichten im Oberboden sind Ausdruck der hohen organischen Anteile ($LD = 0,59 \text{ g/cm}^3$ in TS 1 bis 3). Mit zunehmender Tiefe steigt die LD auf $1,07 \text{ g/cm}^3$ in TS 6 an.

Die Analysen der Korngrößenverteilung brachten folgendes Ergebnis (vgl. Abb. 7 und Abb. 21a): Bis in 20 cm Tiefe herrschen schluffige Sande als Bodenart vor. Mit der Tiefe sinkt der Verwitterungsgrad, der Anteil der gröberen Feinfraktion steigt an, unter 50 cm beträgt der Sandanteil über 90%. Auffallend ist der geringe Anteil der Feinfraktion im gesamten Profil, er steigt zwar mit zunehmender Tiefe von 5 auf > 15%, nimmt jedoch nie mehr als 20% des Gesamtvolumens des Bodenkörpers ein.

Die Werte für die potentielle Infiltration liegen mit 32 mm/h/10cm höher als bei den vorher beschriebenen Standorten. Die Verringerung des rasch dränenden Porenquerschnittes von TS 2 auf TS 3 und die Reduktion des K_f -Wertes von 274 cm/d auf 202 cm/d wirkt sich auch hier in Form einer deutlichen Abnahme der Inf_{pot} auf 14 mm/h/10cm aus. Nach einem geringfügigen Anstieg in den Tiefenstufen 4 und 5 sinkt die rechnerische Infiltrationsleistung unterhalb von 50 cm auf einen Tiefstwert von $7,4 \text{ mm/h/10cm}$ ab (Abb. 21b).

4.4 Rasenblaike

4.4.1 Standort Schusterbauernalm 3 (PF 8)

Seehöhe	1630 m
Exposition und Neigung	S-exponierter Hang, schroff
Relief	Unterhang
Vegetation	Sukzessionsstadium zum Nardetum, Deckungsgrad ca. 50%, Weidebegang (Viehtritte)
Boden	flachgründiger Ranker, sehr hoher Skelettanteil Textur: vorwiegend Sand (vgl. Abb. 7)
Geolog. Besonderheiten	Ausstriche von Hangbewegungsflächen in Fels und aufgelockerten Felspartien mit Anzeichen akuter Bewegungen, frische Anrisse

Abb. 21a:
PF 7: Volumsgerechte Verteilung der Festsubstanz- und Porenanteile

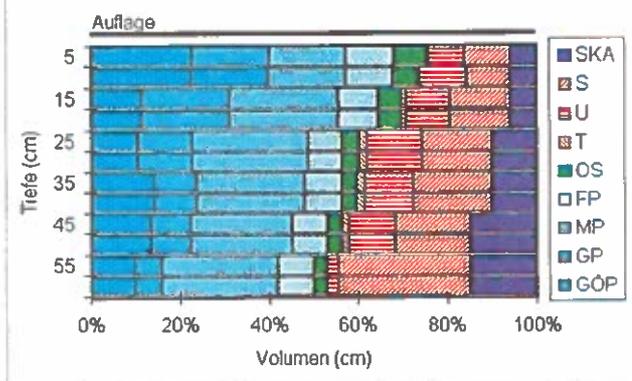
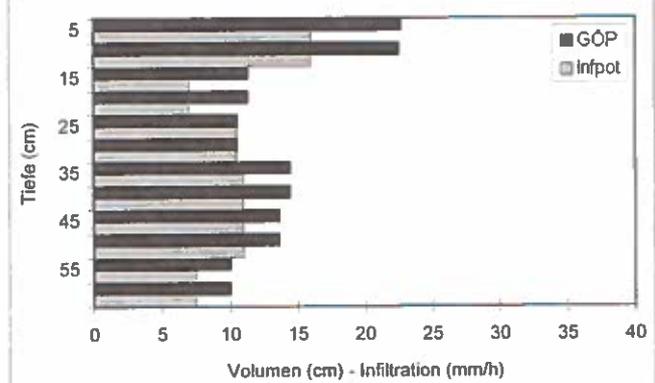


Abb. 21b:
PF 7: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den verschiedenen Tiefenstufen



Ergebnisse der Berechnungen

Diese Fläche reagierte im ersten Versuch ($I = 80,8 \text{ mm/h}$) sofort nach Beregnungsbeginn mit Abflußbildung (Abb. 22a). Nach einer moderaten, 24 Minuten dauernden, Anlaufphase kam es zu einem abrupten Abflußanstieg ($AK_{max} = 0,48$). Der extrem steile Hang drohte abzurutschen. Aufgrund des hohen Porenwasserdruckes kam es im Bereich der Profilwand unterhalb der Auffangrinne in immer kürzeren Abständen zum Aufplatzen von Wasserblasen. Als sich die ersten Blöcke aus dem Verband lösten und in Richtung der im unterliegenden Graben positionierten Auffangbehälter stürzten, wurde der Versuch, 32 min nach Beregnungsbeginn, abgebrochen. Von $3,21 \text{ m}^3$ aufgebrachtem Niederschlag waren immerhin 33,5% ($1,08 \text{ m}^3$) an der Oberfläche abgeflossen. Eine Quantifizierung des im Zwischenflächenbereich verlagerten Wasseranteiles war nicht möglich (Instabilität des Hangfußes, breiige Konsistenz des Abtragsmaterials).

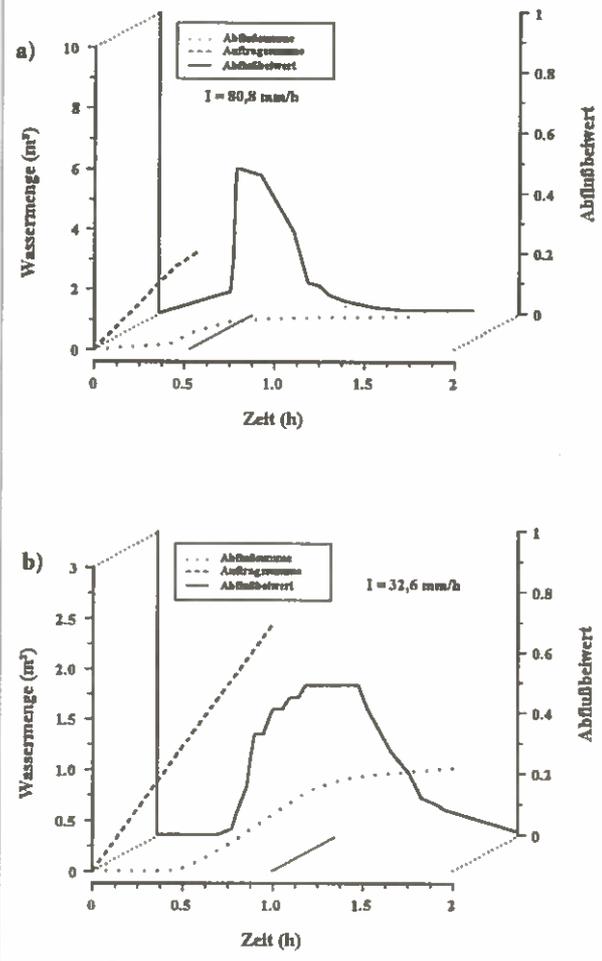
Tags darauf wurde ein zweiter Versuch mit deutlich reduzierter Intensität ($I = 32,6 \text{ mm/h}$) gefahren (Abb. 22b). Nach einer 26-minütigen Anlaufphase stieg der Abfluß rasch an, bis nach weiteren 23 Minuten Abflußkonstanz erreicht war ($AK_{\text{max}} = 0,49$). Die Wasserzufuhr mußte nach einer Stunde gestoppt werden, da ähnliche Anzeichen einer Instabilisierung des Hanges wie am Vortag beobachtet wurden. 41,3% ($1,01 \text{ m}^3$) des Gesamtniederschlages ($2,45 \text{ m}^3$) wurden wieder in den Sammelbehältern aufgefangen. Bemerkenswert ist der hohe Anteil des Nachlaufes, 43,6% des Abflusses oder 18% ($0,44 \text{ m}^3$) der gesamten Regenmenge ($2,45 \text{ m}^3$) wurden erst nach Ende der Beregnung registriert.

Bodenphysikalische Charakteristika

Dieser Standort stellte im Vergleich zu den anderen Probestellen in mehrfacher Hinsicht ein Extrem dar (vgl. Abb. 23a): Das Profil weist das niedrigste Gesamtporenvolumen aller untersuchten Standorte auf. In den obersten beiden Tiefenstufen (0 - 10 cm) liegt der Größtporenanteil mit 17% vom Gesamtvolumen des Bodenkörpers sehr hoch. Mit zunehmender Tiefe wird der dränfähige Porenanteil jedoch immer geringer (15% in TS 3, Reduktion auf 11% in 20-30 cm Tiefe). Der Grob- und Mittelporenanteil bleibt über die ganze Profiltiefe annähernd konstant, nur beim Feinporenanteil ist eine tiefenabhängige Abnahme zu beobachten. Sehr gering ist auch der Anteil der organischen Substanz (6 Gew% bzw. 2,5 Vol% in TS 1), der mit der Tiefe noch stark abnimmt (1,7 Gew% bzw. <1 Vol% in 20-30 cm Tiefe).

Der Feststoffanteil ist gegenüber den Vergleichsstandorten am höchsten. Auch wurde an diesem Profil der höchste Skelettanteil geschätzt (zwischen 20 und 35% des Gesamtvolumens). Die Feinfraktion setzt sich

Abb. 22: Abflußkennwerte PF 8 - Rasenblaike am Schusterbauerngraben



vorwiegend aus Sanden bis lehmigen Sanden zusammen, paradoxerweise nimmt der Sandanteil mit der Tiefe geringfügig ab (vgl. Abb. 7 und Abb. 23a).

Betrachtet man die potentiellen Infiltrationswerte (Abb. 23b), so sind die ermittelten Infiltrationsraten

Abb. 23a: PF 8: Volumsgerechte Verteilung der Festsubstanz- und Porenanteile

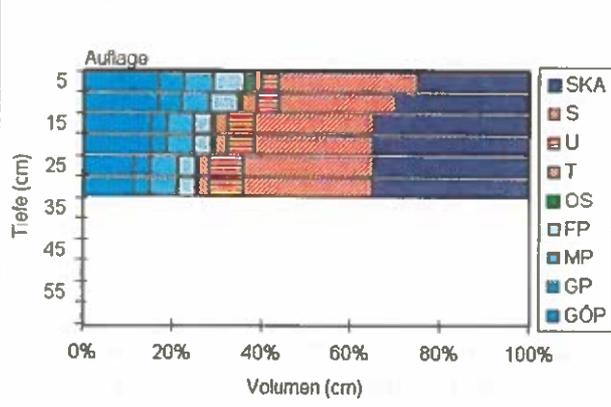
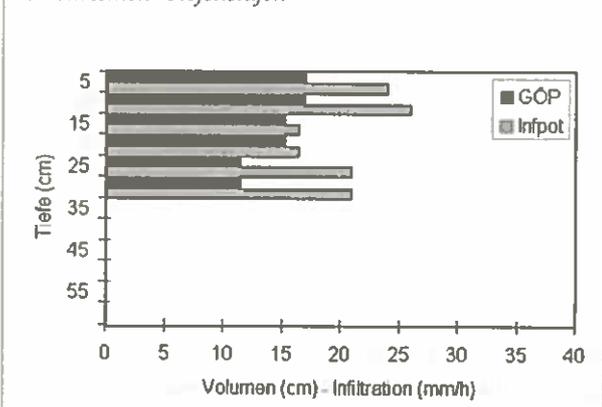


Abb. 23b: PF 8: Größtporenanteile und potentielle Infiltration in den einzelnen Tiefenstufen



höher als z.B. bei den untersuchten Waldstandorten, jedoch niedriger als bei den zwei benachbarten Nardeten auf der Herzogbauernalm. Die Inf_{pot} steigt in der TS 2 von 48 mm/h/10cm geringfügig auf 52 mm/h/10cm an. Durch die Reduktion des Dränporenanteiles in 10 - 20 cm Tiefe und der schlechteren gesättigten Leitfähigkeit (346 cm/d gegenüber 520 cm/d in den höheren Schichten) wird die Einsickerung vermindert. Unterhalb von 20 cm steigt die Infiltrationsleistung wieder an, der K_r -Wert liegt trotz des weiter abnehmenden GÖP-Raumes mit 533 cm/d wesentlich höher als in der Tiefenstufe 3.

5. Diskussion

5.1 Einfluß der Ausgangsfeuchte auf das Abflußverhalten

In der Literatur wird immer wieder auf die Ausgangsfeuchte als maßgebliche Einflußgröße für das Abflußverhalten eines Standortes hingewiesen. NASSIF und WILSON (1975) führten im Labor auf kleiner Versuchsfläche Beregnungsexperimente an unterschiedlich texturierten Böden mit verschiedener Vegetation durch. Dabei brachten feuchte Böden etwas früher und höheren Abfluß als trockene. Mit zunehmendem Humusgehalt wurden diese Unterschiede jedoch deutlich geringer. PERINGER (1993) erzielte z.B. auf extrem trockenen Moderbraunerden in einem Fi-Stangenort wesentlich höhere Abflüsse als auf der benachbarten Probefläche Nr. 6 (podsolige Braunerde, Vaccinio-Piceetum, vgl. Kap. 4.2.2). Nach BOYLE et al. (1989) wirkt die organische Substanz (OS) als physikalischer Puffer, der durch die Aggregation von Bodenteilchen die Infiltrationseigenschaften eines Bodens positiv beeinflusst. Doch andererseits versickert der aufgebrauchte Niederschlag in den mit OS ausgekleideten Poren langsamer, als in vergleichbaren humusfreien Systemen (BURCH et al. 1989, SULLIVAN 1990). Insbesondere nach längeren Austrocknungsphasen ist der Benetzungswiderstand deutlich höher. Benetzungshemmung und der höhere Fließwiderstand bedingen in Aggregaten mit organischer Umhüllung längere Fließstrecken und -zeiten als in nicht organisch umhüllten.

Um den Effekt der Ausgangsfeuchte auf die Abflußdisposition der Versuchsstandorte abzuklären, wurde auf den ersten Probeflächen (PF1 - PF4) an 4 zufällig ausgewählten Punkten der Wasseranteil in den ober-

sten zwei Tiefenstufen vor und nach den Beregnungen gravimetrisch bestimmt. Waren die kleinräumigen Unterschiede in der Ausgangsfeuchte schon beträchtlich, so differierten die Werte für den nach Beregnungsende ermittelten Wasseranteil innerhalb weniger Quadratmeter um mehrere hundert Prozent. Auf PF2 (Herzogbauernalm 1) wurden nach Beaufschlagung mit $I = 91,7$ mm/h über 3 Stunden noch ein vollkommen trockener Zylinder entnommen, die Probe zerbröselte beim Ausheben. Etwa 1 m daneben war der Oberboden dagegen so durchfeuchtet, daß die Probe bei der Entnahme regelrecht zerfloß. Diese großen kleinstandörtlichen Feuchteunterschiede machten die Unterstellung einer mittleren Ausgangsfeuchte auf den Versuchsflächen unmöglich, die Feuchtemessungen wurden daher nicht mehr weiterverfolgt. Diese extremen Feuchteunterschiede konnten durch den Einsatz von TDR-Sonden (Time domain reflectometry - Messung der Bodenfeuchte durch elektromagnetische Wellen in Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante des Wassers und der Festsubstanz des Bodens) bei Beregnungen in der Versuchsaufforstung Haggen (Sellraintal/Tirol) im Sommer 1993 bestätigt werden. Auch diese Messungen zeigten kleinflächig extreme Unterschiede in der Ausgangsfeuchte sowie im Aufsättigungsverhalten der Bodenmatrix während des Beregnungsvorganges (Abb. 24).

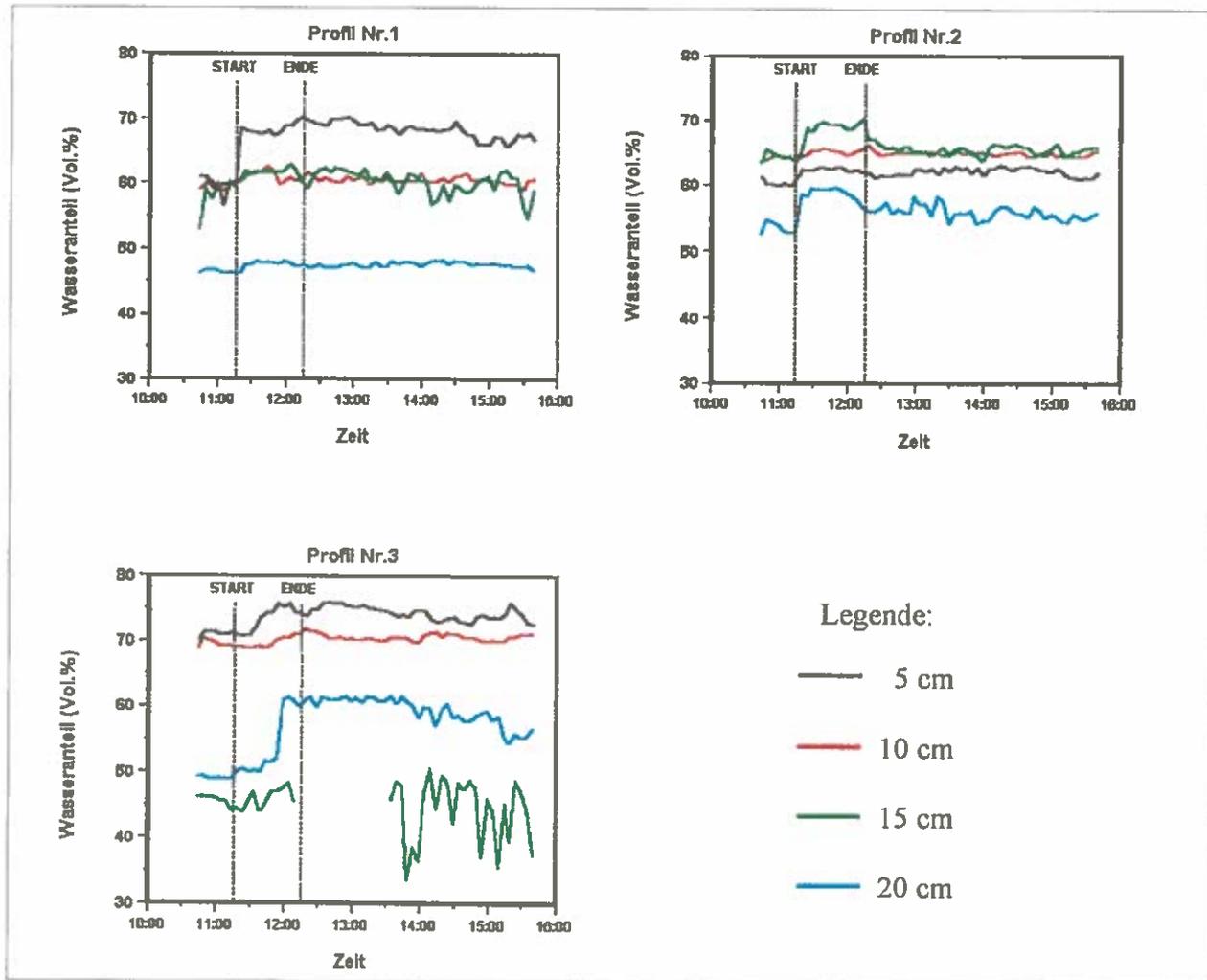
Die Änderung des Wasseranteiles in Abhängigkeit von der Beregnungsdauer wurde an drei nahe zusammenliegenden Bodenprofilen innerhalb der Fläche, in jeweils vier Tiefenstufen, über TDR-Sonden gemessen. Sowohl die Aufsättigungs- als auch die Entwässerungskurven nach Beregnungsende zeigen teilweise starke Schwankungen. Diese können ihre Ursache in ruckartigen Be- und Entwässerungsvorgängen in Makroporen, bzw. vereinzelt in Gefügestörungen durch den Einbau der TDR-Sonden haben. Trotz der räumlichen Nähe, alle Profile liegen innerhalb eines Kreises von 5 m Durchmesser, bestehen große Unterschiede im Aufsättigungsverhalten und in der Höhe des Wasseranteiles nach Beregnungsende.

Man kann also davon ausgehen, daß der größte Anteil des aufgebrauchten Niederschlagswassers über Sekundärporensysteme (Wurzelkanäle, Tierröhren, Kluftsysteme, Schwundrisse, aggregatbedingte Poren, etc.) abfließt und deren Randbereiche intensiv durchfeuchtet werden. Sekundärporenarme Zonen werden nur durch die langsam vordringende Sickerfront mit Wasser versorgt.

Um das unterschiedliche Rezeptionsvermögen der Bodenmatrix der acht Versuchsstandorte im Muster-einzugsgebiet Löhnersbach auszugleichen und eine

Abb. 24:

Zeitlicher Verlauf der Aufsättigung der Bodenmatrix bei einem Beregnungsversuch in der Versuchsaufforstung Haggen (Sellraintal/Tirol)



optimale Durchfeuchtung der Böden zu erreichen, wurde eine sehr lange Versuchsdauer gewählt (bis zu 4 Stunden - vgl. Kap. 4). Dabei wurde der Extremfall - Starkregen auf annähernd wassergesättigten Böden - durchgespielt. Es zeigte sich jedoch, daß auf allen Versuchsflächen nach weniger als einer Stunde Abflußkonstanz erreicht, d.h. das Aufnahmevermögen der Bodenmatrix erschöpft war, bzw. nicht mehr abflußmindernd wirkte.

ENGLER hat schon 1919 bei seinen Versuchen zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Einsickerung in Wald- und Freilandböden in der Schweiz festgestellt, daß die Wassermengen, welche Wald- und Freilandböden im Zustand der natürlichen Feuchte bis zu ihrer Sättigung aufnehmen können, sehr gering sind.

Selbst wenn nach Phasen langer Trockenheit eine Bodengruppe (z.B. Rasenböden) mehr Wasser aufnehmen kann als andere (z.B. Waldböden), so können diese Mengen niemals ausschlaggebend für den

Gebietsabfluß sein, da die rasche Dränung, besonders bei Starkregen, primär über sekundäre Fließwege erfolgt. CZELL (1972) konnte bei ihren umfangreichen Infiltrations- und Abflußmessungen auf Wald- und Weideböden des östlichen Karwendels (Tiroler Kalkalpen) und im Kristallin der Zillertaler Alpen keine Abhängigkeit der Sickerleistung von der Höhe der Feldkapazität (= Ausgangsfeuchte) feststellen, nach ihrer Ansicht übt die Struktur (Lockerheit bzw. Grad der Verdichtung) in Kombination mit der Textur des Bodens einen wesentlich größeren Einfluß auf den Fortschritt der Sickerfront aus. Auch darf die erosionsstabilisierende Wirkung durch die Vorbefeuchtung nicht unterschätzt werden, denn höhere Anfangswassergehalte bedingen eine höhere Erosionsresistenz (GOVERS und LOCH 1993). Bei rascher Aufsättigung trockener Böden kommt es zu Lösch- und inneren Erosionsvorgängen, die Struktur wird verändert, die Stabilität der Bodenaggregate nimmt ab.

Abfluhemmende Wirkungen durch hohe Ausgangsfeuchten sind daher nur auf sekundärporenarmen, bindigen und zur Vernässung neigenden Böden des Untersuchungsgebietes zu erwarten.

5.2 Ergebnisse der Beregnungsversuche

Tab. 3:
Abflußkennwerte der einzelnen Probeflächen in Abhängigkeit von der Auftragsmenge

Fläche	Versuchsnummer	Intensität (mm/h)	ges. Abfluß (%)	AK _(max)
PF 1	1	57,4	0,5	0,01
	2	70,7	2,5	0,04
PF 2	1	49,4	2,2	0,02
	2	70,5	8,3	0,09
	3	91,7	14,7	0,16
PF 3	1	56,1	1,3	0,02
	2	83,0	21,7	0,32
	3	92,3	41,6	0,42
PF 4	1	26,4	6,9	0,07
	2	51,2	13,4	0,13
	3	80,3	14,6	0,15
PF 5	1	27,9	15,9	0,25
	2	51,8	35,7	0,43
	3	57,4	22,0	0,27
	4	78,7	56,7	0,57
	5	87,1	33,0	0,47
PF 6	1	49,9	0,4	0,01
	2	83,2	0,4	0,01
PF 7	1	34,0	0,5	0,01
	2	40,2	4,5	0,07
PF 8	1	32,6	41,3	0,49
	2	80,8	>33,5	0,48

5.2.1 Rasenstandorte

Vergleicht man die auf den Rasenstandorten des Löhnersbaches gemessenen Abflußmengen (vgl. Kap. 4.1) mit den von BUNZA (1978 und 1984) auf Graslandflächen in den Hohen Tauern (Wallack-Haus am Großglockner und im Bereich des Stubner Kogels im Gasteinertal, Sbg.) erzielten Werten, so ist die Abflußdisposition der Rasenstandorte im Löhnersbach wesentlich geringer. SCHAFFHAUSER (1988) erhielt bei der Beaufschlagung von Weideflächen im Einzugsgebiet des Dürnbaches (Oberpinzgau, Sbg.) auf pseudovergleyten Bodenserien mit wechselndem Anteil an *Rhododendron ferrugineum* (90%, 50%, 20%) Abflußkoeffizienten von 0,63 über 0,60 bis 0,48. BUNZA und SCHAUER (1989) faßten die Ergebnisse von über 150 Beregnungsversuchen zusammen und geben für Almweiden AK zwischen 0,20 und 0,70 an.

Die Beregnungen im MEG Löhnersbach ergaben nur für eine einzige Rasenfläche einen hohen Abflußkoeffizienten (AK = 0,42 auf PF3 - Schusterbaueralm bei I = 92,3 mm/h, vgl. Tab. 3). Auf keinem der drei anderen untersuchten Rasenstandorte konnten bei vergleichbaren Intensitäten Abflußwerte über 0,20 ermittelt werden. Alle 4 untersuchten Flächen wurden von BURGSTALLER und SCHIFFER (1993) vegetationskundlich als Nardeten aufgenommen. Unterschiede in der Artenkombination können nicht als Erklärung für das konträre Abflußverhalten der PF3 herangezogen werden, denn bis auf einen untergeordneten, wechselnden Anteil an *Calluna vulgaris* ist der Aufbau der lebenden Vegetationsdecke der vier Versuchsstandorte sehr ähnlich.

Die Bodenart (Textur) kommt auf den untersuchten Standorten als primäres Unterscheidungsmerkmal nicht in Frage: MARKART und KOHL (1993b) bestimmten die Korngrößenverteilung an über 60 Profilen des Einzugsgebietes. Die bearbeiteten Böden wiesen in allen Tiefenstufen eine vorwiegend sandig-lehmige bis lehmig-sandige Bodenart auf. Von den untersuchten Rasenstandorten wurden für PF 1 die höchsten Tonanteile ermittelt (vgl. Abb. 7).

Trotz lehmiger und sandig-lehmiger Bodenart in TS 1 bzw. TS 2 ist die Abflußbereitschaft auf diesem Standort jedoch am geringsten (vgl. Abb. 8). Den höchsten Oberflächenabfluß lieferte statt dessen PF3 mit lehmig-sandiger Textur im Oberboden. BUNZA (1989) erzielte auf dichten Weideböden mit ähnlicher Korngrößenzusammensetzung im Oberboden wie die im Löhnersbach untersuchten Rasenstandorte (uS) Abflußwerte zwischen 31,5 und 91,4% bei Intensitäten zwischen 75 und 90 mm/h. Diese vollkommen konträre Abflußcharakteristik auf Böden vergleichbarer Textur kann mehrere Ursachen haben:

- Neben der effektiven Korngröße wird vor allem die Form der Bodengemengteile abflußbestimmend wirksam. So erfahren z.B. Glimmerplättchen durch das abfließende Wasser eine dachziegelartige Einregelung und eine kohäsive Bindung, sodaß durch die Verringerung des Dränporenquerschnittes die Infiltrationsleistung reduziert und der Abfluß an der Oberfläche gefördert wird (BUNZA 1989). PF 8, eine flachgründige Rasenblaike auf glimmerreichem Substrat, paßt in dieses Muster, sie lieferte die höchsten Abflußmengen aller 8 Versuchsstandorte.
- Die Textur wird durch die Struktur (räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile) überprägt (CZELL 1972). Je lockerer die Bodenstruktur, desto geringer die Lagerungsdichte, umso besser sind die Versickerungsbedingungen. Mit Ausnahme von

PF 8 liegt die Lagerungsdichte der untersuchten Böden in den obersten Tiefenstufen unter $1,2 \text{ g/cm}^3$ (vgl. Tab. 2). Sie ist daher nach KUNTZE et al. (1983) als sehr gering einzustufen und entspricht den in der Literatur für sehr sperrige, lose gelagerte, humusreiche und gekrümelte Böden angegebenen Werten. Nur auf PF 8 (Rasenblaike - Initialboden) wurden im Oberboden eine mittlere Raumdichte ($1,2 - 1,75 \text{ g/cm}^3$) und dementsprechend höhere Abflußwerte festgestellt.

Bei räumlicher (volumsgerechter) Betrachtung der Boden-/Vegetationskomplexe werden weitere abflußbestimmende Faktoren ersichtlich:

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich der schematischen Verteilung der Festsubstanz- und der Porenvolumina von PF 2 und PF 3 (vgl. Abb. 9a und 12a). Diese beiden Flächen liegen nur ca. 20 m übereinander, zeigen aber dennoch, besonders bei hohen Niederschlagsintensitäten, ein vollkommen konträres Abflußverhalten (vgl. Abb. 10 und Abb. 11). Zudem wurden auf dem Standort mit der besseren Dränporenausstattung (PF 3, Braunerde; TS 1: 19,1% GÖP, TS 2: 19,9% GÖP, der Größtporenanteil nimmt mit der Tiefe weiter zu) wesentlich höhere Oberflächenabflüsse gemessen, als auf der tiefergelegenen Fläche PF 2 (TS 1: 14,3% GÖP, TS 2: 16,5% GÖP, der dränsfähige Porenquerschnitt nimmt mit der Tiefe weiter ab).

Als eine der Hauptursachen für das stark unterschiedliche Dränverhalten kann das unterschiedliche Gefüge der Phytomasse der beiden Standorte angeführt werden (vgl. Tab. 2). KLUG-PÖMPEL (1993) hat für die Bestände der Beregnungsflächen den Anteil der ober- und unterirdischen Phytomasse bestimmt. Für PF 3 ergaben diese Bestimmungen gegenüber PF 2 einen höheren Anteil an Nekromasse in der Auflage. Die abgestorbenen, aber immer noch an der Pflanze haftenden Blattscheiden des Bürstlings fallen hier sehr stark ins Gewicht. Sie verlangsamen durch ihre dachziegelartige Anordnung die Einsickerung und erhöhen den Fließweg. Zudem werden erhöhte Benetzungswiderstände, besonders nach Phasen längerer Austrocknung infiltrationshemmend wirksam. Auch in den obersten Schichten des Mineralbodens von PF 3 ist der Humusgehalt wesentlich höher (19,5 Gew% bzw. 6,7 Vol% in TS 1). Daher sind in diesen Bereichen längere Sickerwege und -zeiten zu erwarten (ZHANG und HARTGE 1992).

Die Bodenaggregate im Oberboden der Rasenstandorte weisen einen sehr hohen Stabilitätsgrad auf (vgl. Tab 4), auf allen untersuchten Rasenflächen hielten über 90% der Aggregate einer fünfminütigen dyna-

mischen Beanspruchung durch Wasser im Tauchsiebverfahren stand (Methode nach MURER et al. 1993).

Tab 4:

Stabilität der Bodenaggregate (AS) in den obersten Bodenhorizonten dreier Weiderasen gegenüber der dynamischen Beanspruchung durch Wasser. Angaben in % von 100% stabilen Aggregaten.

PF	AS (in 0 bis 5 cm Tiefe)	AS (in 5 bis 10 cm Tiefe)
2	95,5	92,9
3	93,8	93,5
4	92,5	92,1

Die Stabilität des Gefüges wird maßgeblich bestimmt durch:

- Ein reges Bodenleben; über organische Abbau- und tierische Stoffwechselprodukte werden Bodenkörner zu Aggregaten verfestigt.
 - Stabilisierende Wirkung durch Anlagerung von humoser Substanz an die mineralischen Gemengteile.
 - Ein dichtes, oft nur wenige Zentimeter tief reichendes Wurzelgeflecht, welches vergleichbar der Wirkung eines Haarnetzes den Bodenabtrag verhindert.
- Ein weiteres Indiz für die hohe Stabilität der Bodenaggregate war der geringe Trübungsgrad des an der Oberfläche abgeflossenen Wassers.

5.2.2 Waldstandorte

Die beiden untersuchten Waldstandorte (PF 5 und PF 6) zeigen bei vergleichbaren Niederschlagsintensitäten (87,1 mm/h und 83,2 mm/h) ein vollkommen unterschiedliches Abflußverhalten ($AK = 0,47$ auf PF 5 bzw. $0,04$ auf PF 6 - vgl. Kap. 4.2.1 und 4.2.2, sowie Tab. 3).

Beide Standorte verfügen über eine stark interzeperierende Vegetationsdecke (Vaccinien) mit intensiver Durchwurzelung des Oberbodens (vgl. Standortbeschreibungen Kap. 4.2.1 und 4.2.2). Auf PF 5 könnte man zusätzlich durch die geringere Hangneigung und das bewegte Kleinrelief eine abflußverzögernde Wirkung (höhere Reliefspeicherung) erwarten. Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung auf dieser Fläche war auch die Vegetationsdecke ausreichend durchfeuchtet, d.h. die Benetzungswiderstände in der Mooschicht und im Auflagehumus gering.

Schon bei makroskopischer Betrachtung unterscheiden sich die Böden der zwei Versuchsflächen deutlich. Bei PF 6 handelt es sich um eine podsolige Braunerde mit geringer vertikaler Differenzierung im Profilaufbau. Der Boden im Bereich von PF 5 kann als Semipodsol-Podsol mit häufigen Wechsellagen in der

Profilausbildung auf engstem Raum beschrieben werden. An diesem Standort wurde der Hauptanteil des ZA im Bereich des E/B_{hs}-Horizontes und entlang des darüberliegenden A_h-Horizontes festgestellt.

In diesem Fall ist eine Erklärung des extrem divergierenden Abflußverhaltens der beiden Versuchsstandorte anhand der Labormessungen nur mit Einschränkungen möglich: Auf beiden Standorten nimmt die gesättigte Leitfähigkeit in 10 bis 20 cm Tiefe abrupt ab. Andererseits nimmt jedoch gerade in PF 5 der für die rasche Dränung maßgebliche Sandanteil mit der Tiefe stark zu. Die Bodenart wechselt von schluffigem Sand (uS) in TS 1 über lehmigen Sand in TS 2 zu Sand (S) ab 10 cm Bodentiefe (vgl. Texturdreiecke - Abb. 7), auch der Dränporenanteil nimmt nach der Depression in TS 2 mit der Tiefe deutlich zu (vgl. Abb. 16a). Dagegen liegt der Schluffanteil bei PF 6 in den TS 3 und 4 um 20% höher. Der zunehmende Festsubstanzanteil ab 20 cm Tiefe findet in Profil 5 seinen Ausdruck in einer steigenden Lagerungsdichte (von 0,64 g/cm³ in TS 2 auf 1,03 g/cm³ in TS 5), dagegen bleibt die Dichte bei PF 6 in dieser Tiefe annähernd konstant (Werte zwischen 0,56 und 0,65 g/cm³).

In Kap. 5.1.2 wurde bereits die hemmende Wirkung der organischen Substanz auf die rasche Einsickerung diskutiert. Der Humusgehalt im Bereich des schlecht dränenden B_{hs}-Horizontes von PF 5 liegt deutlich über dem der korrespondierenden Tiefenstufen von PF 6 (vgl. Tab. 2). Als negative Begleiterscheinung zur aggregatstabilisierenden Wirkung der organischen Substanz wird besonders im Oberboden die rasche Dränleistung der Gröbtporen reduziert (ZHANG und HARTGE 1992).

Die reduzierte Dränfähigkeit in dieser Tiefenstufe kommt auch in den ermittelten K_f-Werten zum Ausdruck. So sinkt in PF 5 die gesättigte Leitfähigkeit von 216 cm/d in TS2 auf 144 cm/d in TS 3 ab (vgl. Tab 2). Interessanterweise ergaben die Messungen für Profil Nr. 6 einen noch wesentlich stärkeren Abfall des K_f-Wertes von 389 cm/d in TS2 auf 115 cm/d in TS 3. Dies ohne äußere Anzeichen einer deutlichen Erhöhung der Lagerungsdichte, einer Dichtschlammung, bzw. einer Dränporenabnahme. Setzt man die Dränporenvolumina der einzelnen Tiefenstufen der beiden Versuchsflächen zueinander in Relation, ergibt sich eine interessante Perspektive: Der Gröbtporenanteil von PF 6 liegt in allen Tiefenstufen unter den für PF 5 ermittelten Werten (vgl. Abb. 17 und Abb. 20). Trotzdem werden auf PF5 schon viel früher wesentlich höhere Abflußspenden erreicht. Dafür können neben dem schon diskutierten höheren Humusanteil folgende Faktoren maßgeblich sein:

- Im Waldbereich ist gegenüber Rasenstandorten im intensiv durchwurzelteten Oberboden mit einem höheren Anteil an Sekundärporen zu rechnen (WHIPKEY 1962). Lebende Wurzeln können schrumpfen und so relativ große freie Räume zwischen ihrer Oberfläche bilden (HUCK et al 1970). Aus den Untersuchungen von AIGNER (1991) geht hervor, daß die eigentliche versickerungsfördernde Wirkung der Starkwurzeln erst nach ihrem Absterben zum Tragen kommt. Die Wurzelotmasse enthält verschiedenste abbauresistente Substanzen, zu einem geringen Teil werden auch chemisch bzw. physikalisch stabilisierte Huminstoffe gebildet. Der Wurzelkern wird wesentlich rascher abgebaut als die gegen Zersetzung widerstandskräftigere suberinisierte Epidermis. Auf diese Weise wird die Wurzel zu einem dränfähigen Kanal umgeformt. Aufgrund des höheren Grobwurzelanteiles tritt dieser Kanaleffekt im Waldbereich und unter Zwergsträuchern wesentlich stärker in Erscheinung als unter Rasen.
- Mit zunehmender Bodentiefe nimmt die Anzahl der wurzelbedingten Dränröhren jedoch rasch ab. Dieser Verlust an schnell dränendem Sickerraum kann als weitere Ursache für die gehemmte Tiefensickerung in PF 5 angesehen werden.
- Für die rasche hangparallele Verlagerung des Interflows auf PF 5 können flach streichende Wurzelkanäle im Oberboden mit auslösend gewesen sein. SCHWARZ et al. (1986) quantifizierten bei Beregnungsversuchen in Buchenbeständen des Schönbuch bei Tübingen fast 100% der aufgebrachten Niederschlagsmenge als Interflow. Ein Großteil des Niederschlages war über alte Wurzelkanäle hangparallel abgeflossen. Dabei wurden Verlagerungsgeschwindigkeiten von über 500 m/d errechnet. Die rasche intensitätsabhängige Reaktion der Makroporen auf das Niederschlagsangebot wird auch durch die Untersuchungen von TURTON et al. (1992) bestätigt. Der Zwischenabfluß wird primär von der Niederschlagsmenge, der Ausgangsfeuchte und dem Makroporenanteil bestimmt, TURTON und seine Mitarbeiter konnten 70% des raschen Abflusses (Zeitraum unmittelbar vor und nach der Abflußspitze) im Vorfluter auf hangparallele Wasser-Verlagerungen zurückführen.
- Die detailliert untersuchten Profile könnten für das Abflußverhalten der Gesamtflächen nicht bzw. nur in eingeschränktem Maße repräsentativ sein - der Dränporenanteil wird mit der Labormethodik - Analyse von 3 Bodenzylindern je Tiefenstufe je Standort - auf PF 6 besonders stark unterschätzt.

5.2.3 Zwergstrauchheide - Bereich über der Waldgrenze

Die im Rahmen der vorliegenden Versuchsreihe bearbeitete Zwergstrauchheide (PF 7) zeigte ausgezeichnete Infiltrations- und Retentionseigenschaften. Zwar konnten auf diesem Standort wegen Wassermangels nur Regenereignisse mit einer Maximalniederschlagsmenge von 40 mm/h simuliert werden, doch auch bei 4-stündiger Berechnungsdauer blieb die gemessene Abflußmenge vernachlässigbar gering (vgl. Kap. 4.3 und Tab. 3). Auch aus den Untersuchungen von SCHAFFHAUSER (1982, 1988) wird die abflußhemmende Wirkung der Zwergstrauchheiden ersichtlich: Er stellte bei seinen Messungen auf Weideflächen im Einzugsgebiet des Dürnbaches (Sbg.) und im Stubaital (T) eine deutliche Zunahme des Oberflächenabflusses bei abnehmendem prozentuellen Anteil der Alpenrose fest.

Das gute Retentionsverhalten der Zwergstrauchheiden kann als Summenwirkung einer Reihe von Faktoren gesehen werden:

- Zwergsträucher bringen eine höhere Interzeptionsleistung als Rasenvegetation in vergleichbarer Lage (GATTERMAYR 1976, GUGGENBERGER 1980).
- Wuchsform und räumliche Verteilung bedingen eine größere Reliefspeicherung und dadurch verzögerte Abflußbildung.
- Zwergsträucher (besonders Rhododendren und Vaccinien) sind Rohhumusbildner, für diese Humusform sind hohe Porenvolumina und hohes Speichervermögen, sowie eine dosierte Wasserabgabe an tiefere Bodenschichten kennzeichnend.
- Die obersten Bodenschichten unter Zwergstrauchgesellschaften sind meist intensiv durchwurzelt. Die Grobwurzeln bleiben auch nach dem Absterben mehrere Jahre als dränende Kanäle erhalten. Kennzeichnend für den Oberboden ist weiters eine sehr lockere Lagerung, PF 6 (*Vaccinium myrtillus* auf podsoliger Braunerde) und PF 7 (*Rhododendron ferrugineum* auf podsoliger Braunerde) weisen mit 0,56 bzw. 0,59 g/cm³ (in TS 1 und 2) die niedrigste Lagerungsdichte der untersuchten Flächen auf.
- Vergleicht man die K_f -Werte der untersuchten Standorte, so liegen zwar die Rasenflächen mit Werten zwischen 418 und 677 cm/d im Oberboden deutlich über der für PF7 ermittelten gesättigten Leitfähigkeit (274 cm/d in 0-10 cm Tiefe). Doch mit Ausnahme von PF 7 kann bei allen untersuchten Profilen in der Tiefe von 10 -20 cm bzw. 20-30 cm eine deutliche Abnahme der Leitfähigkeit beobachtet werden (vgl. Tab. 2). Diese Zonen reduzierter Durchlässigkeit können wie Stauhohizonte

die Tiefensickerung limitieren, ein Effekt, der durch zu geringe Makroporenausstattung noch deutlich verstärkt wird.

5.2.4 Rasenblaike

Anhand der Ergebnisse der Beregnungsversuche auf diesem Standort wird die Sensibilität dieses Grabeneinhanges (PF 8) gegenüber hohen Niederschlagsdotationen offensichtlich (vgl. Kap 4.4 und Tab. 3):

- Als erste ursächliche Komponente für die hohen Oberflächenabflußraten muß der zu geringe Deckungsgrad der Vegetation angesehen werden. Nach HIGGINS et al. (1989) kann erst eine Vegetationsbedeckung von 60 - 70% den Oberflächenabfluß kontrollieren. Auf der Versuchsfläche lag der Deckungsgrad zw. 50 und 60%.
- Untersuchungen der Aggregatstabilität (AS) in den obersten Bodenschichten (0 - 10 cm) ergaben mit nur 67,7% in 0 - 5 cm und 63% in 5 - 10 cm Tiefe die niedrigsten Stabilitätswerte aller untersuchten Standorte. Dieser niedrige Stabilitätsgrad äußert sich in negativen Auswirkungen auf das Infiltrationsverhalten des Standortes: Die Bodenpartikel zerfallen bei dynamischer Beanspruchung, z.B. durch den Aufprall der Niederschlagstropfen bei Starkregen, wesentlich rascher als die stabileren Aggregate auf den untersuchten Vergleichsstandorten. Die Aggregate werden regelrecht zerschlagen (splash-erosion effect - nach GHADIRI and PAYNE 1988). Geringe AS verstärkt diese Wirkung, Abtrag von Feinteilchen und Versiegelung der Bodenoberfläche nach deren Sedimentation bzw. Ausfilterung an anderer Stelle sind die Folge.
- Das untersuchte Profil weist das niedrigste Gesamtporenvolumen aller in der vorliegenden Arbeit diskutierten Standorte auf. In Abb. 23 ist auch deutlich die Abnahme des dränfähigen Porenanteiles mit der Bodentiefe zu erkennen. Dadurch wird die vertikale Einsickerung besonders bei hohem Niederschlagsangebot stark gehemmt. Die starke Hangneigung und der gut dränfähige Oberboden ermöglichen einen raschen Abfluß im Zwischenflächenbereich in Hangrichtung. Das schichtförmig angeordnete Ausgangsmaterial der Bodenbildung und hangparallel eingeregelt grobe Gemengteile begünstigen die hangparallele Verlagerung (vgl. BUNZA 1989).
- Durch periodische Starkregenereignisse hat sich der Schusterbauernbach in diesem Bereich immer weiter eingetieft und einen Teil des Hangfußes abgetragen. Der Hangfuß kann seine Stützfunktion also nicht mehr (voll) erfüllen, bei hohem Porenwasser-

gehalt werden die Grenzwerte der Reibung schneller überschritten. Erreicht der Hangwasserspiegel jene kritische Höhe, bei der die böschungsparell treibenden Lockermassen (Strömungsdruck und Eigengewicht) größer werden, als die einer Bewegung entgegenwirkenden Reibungskräfte (Kornreibung, Strukturwiderstand), erfolgt der Hangbruch (STAHR 1991).

Aufgrund des zu geringen Deckungsgrades, der schlechten bodenphysikalischen Voraussetzungen, der zu erwartenden hohen Porenwasserdrücke und des fehlenden Böschungsfußes ist im Bereich dieses Grabeneinhanges und auf vergleichbaren Standorten des Untersuchungsgebietes im Starkregenfall mit hohen Oberflächen- und Zwischenabflüssen, sowie mit einer erhöhten Rutschungsneigung zu rechnen.

Abb 25:
Beregnungsversuch auf einem sehr steilen, rutschungsanfälligen Grabeneinhang im Bereich der Schusterbauernalm.



6. Schlußfolgerungen / Zusammenfassung

Das Infiltrationsverhalten der untersuchten Standorte wird maßgeblich von der Bodenvegetation und der Art bzw. Intensität der Bewirtschaftung beeinflusst:

- Auf reinen Zwergstrauchheiden und Waldstandorten mit Zwergsträuchern als Bodenvegetation (PF 6 und PF 7) werden die besten Ergebnisse (niedrigste Abflußkoeffizienten) erzielt (vgl. Tab. 2). Im Waldbereich war lokal (PF 5) eine rasche hangparallele Verlagerung des Sickerwassers entlang von B_{hs} -Horizonten von Podsolen und über Sekundärporen (Wurzelkanäle) zu beobachten. Dieser Zwischenabfluß kann in gerinnenahen Bereichen (bei entsprechender Dauer und Intensität des Starkregens) abflußerhöhend und rutschungsauslösend wirksam werden.
- Die Abflußdisposition der Rasenstandorte (Nardeten; PF 1 bis PF 4) wechselt kleinflächig stark. Abflußbestimmend auf diesen Flächen ist vor allem der Anteil der Nekromasse in der Auflage und im Oberboden. Ein hoher Totanteil (z.B. anhaftendes unzersetztes totes Blattmaterial) bedingt eine entsprechende Verlängerung des Fließweges des Niederschlages an der Bodenoberfläche und damit eine verzögerte Einsickerung. Eine Ursache dieser Totmasseakkumulation in der Auflage ist in der Extensivierung von Alpflächen - verlangsamt Nährstoffumsetzung infolge nachlassender oder unregelmäßiger Beweidung - zu sehen. Diese labile Übergangsphase wird erst nach der Einwanderung von Zwergsträuchern überwunden.
- Im Vergleich zu anderen Rasenstandorten auf ähnlicher geologischer Grundlage ist die Neigung zur Abflußbildung im Löhnersbach geringer (vgl. BUNZA 1989, SCHAFFHAUSER 1988). Eine Ursache dafür ist in der Korngrößenverteilung zu suchen, im Untersuchungsgebiet dominieren Böden mit sandig-lehmiger bis lehmig sandiger Korngrößenverteilung. Grobtexturierte Böden werden im Belastungsfall naturgemäß weniger verdichtet als solche mit hohem Feinanteil (PROFIT et. al 1993).
- Als besonders kritische Bereiche in bezug auf ihre Abflußdisposition sind die offenen (vegetationslosen) Flächen und solche mit geringem Deckungsgrad der Bodenvegetation anzusehen. Dazu zählen vor allem die offenen Gerinne und die Grabeneinänge. Auf diesen Standorten muß die kinetische Energie der Niederschläge von der Bodenoberfläche direkt aufgenommen werden. Erosion nach

Aggregatzerschlagung und Dichtschlammung der obersten Bodenschicht ist die Folge. Auf diesen Flächen ist daher schon bei sehr geringen Intensitäten mit hohen Oberflächen- und Zwischenabflüssen zu rechnen. Auf PF 8 (Grabeneinhang) flossen bei einer Intensität von $I = 32,6$ mm/h über 40% des Niederschlages an der Oberfläche ab, der ZA war nicht quantifizierbar. Daher ist die Rutschungsanfälligkeit vergleichbarer Grabeneinänge aufgrund der ungünstigen Faktorenkombination (zu geringer Deckungsgrad der Bodenvegetation, fehlender oder teilerodierter Hangfuß, hohe Porendrücke verstärkt durch den mit der Tiefe abnehmenden Dränporenanteil, teilweise hangparallele Einregelung des Ausgangsmaterials) als sehr hoch zu bewerten.

7. Literaturverzeichnis

- AIGNER, J., 1991: *Wurzelraum eines sekundären Fichtenbestandes im tertiären Hügelland Oberösterreichs*, Diplomarbeit - Univ. f. Bodenkultur - Wien, 106 S.
- BLUM, W.E.H., H. SPIEGEL, und W.W. WENZEL, 1989: *Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung, Empfehlungen zu einer Vorgangsweise in Österreich*; Arbeitskreis Bodenzustandsinventur der ÖBG; ed: Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft: 1 - 47.
- BOYLE, M., W.T. FRANKENBERGER, Jr., and L.H. STOLZY, 1989: *The Influence of Organic Matter on Soil Aggregation and Water Infiltration*; Journal of Production Agriculture, Vol.2, No.4: 290 - 299.
- BUNZA, G., 1978: *Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag auf Almflächen des Stubnerkogels im Gasteiner Tal*; in: Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd 2: 315 - 334.
- BUNZA, G., 1984: *Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen*; Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Bern 1982), Bd. 12: 101-109.
- BUNZA, G., 1989: *Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in der alpinen Grasheide der Hohen Tauern an der Großglockner - Hochalpenstraße*; in: Veröffentl. des österr. MaB - Programmes, Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern, Bd. 13: 155-199.
- BUNZA, G., H.E. DEISENHOFER, J. KARL, M. PORZELT und J. RIEDL, 1985: *Der künstliche Starkniederschlag der transportablen Beregnungsanlage nach Karl und Toldrian*; DVWK-Schriften, Verlag Paul Parey - Hamburg und Berlin, Bd. 71: 1 - 35.
- BUNZA, G. und T. SCHAUER, 1989: *Der Einfluß von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der Bayrischen Alpen*; Manuskript - Bayrisches Landesamt f. Wasserwirtschaft, München: 1 - 27.
- BURCH, G.J., I.D. MOORE and J. BURNS, 1989: *Soil Hydrophobic Effects on Infiltration and Catchment Runoff*; Hydrological Processes, Vol.3: 211-222.
- BURGSTALLER, B. und R. SCHIFFER, 1993: *Kartierung der aktuellen Vegetation im Löhmersbachgraben*; Unveröffentl. Bericht der ARGE Pflanzensoziologie - Ökologie, Salzburg.
- CZELL, A., 1972: *Wasserhaushaltmessungen in subalpinen Böden*; Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 98, 1 - 109.
- ENGLER, A., 1919: *Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer*; Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen; Bd. 12: 177 - 216.
- GATTERMAYR, W., 1976: *Vergleichende Messungen und Berechnungen der Verdunstung, der Evapotranspiration und der Interzeption zur Abschätzung des Wasserhaushaltes der Karsthochfläche Dachstein-Oberfeld und Erstellung der Wasserbilanz für den Inneralpinen Pipurger See*; Inauguraldissertation an der Leopold Franzens Univ. Innsbruck: 23 - 37.
- GHADIRI, H. and D. PAYNE, 1988: *The formation and characteristics of splash following raindrop impact on soil*; Journal of Soil Science, Vol. 39: 563- 575.
- GOVERS, G. and R.J. LOCH, 1993: *Effects of Initial Water Content and Soil Mechanical Strength on the Runoff Erosion Resistency of Clay Soils*; Australian Journal of Soil Research, Bd. 31: 549 - 566.
- GUGGENBERGER, H., 1980: *Untersuchungen zum Wasserhaushalt der alpinen Zergstrauchheide am Patscherkofel*, Dissertation an der Leopold-Franzens- Universität Innsbruck: 165 - 200.
- GUTMANN, J., 1948: *Beobachtungs- und Meßmethoden des Wetterdienstes (Anleitung zur Ausführung und Verwertung meteorologischer Beobachtungen)*; Zentalanstalt f. Meteorologie und Geodynamik - Wien, Publikation Nr. 158: 87 - 88.
- HUCK, M.G., B. KLEPPER and H.M. TAYLOR, 1970: *Diurnal Variations in Root Diameter*; Plant Physiology, No.45: 529 - 530.
- KAINZ, M., K. AUERSWALD and R. VÖHRINGER, 1992: *Comparison of German and Swiss Rainfall Simulators - Utility, Labour Demands and Costs*; Z. Pflanzenernähr. Bodenk., (155): 7 - 11.
- KLUG-PÜMPPEL, B., 1993: *Endbericht über die Phytomassebestimmungen an Standorten mit Beregnungsversuchen im Mustereinzugsgebiet Löhmersbach*; Botanisches Institut, Universität für Bodenkultur, Wien: 1 - 27.
- KÖRNER, C., G. WIESER, und H. GUGGENBERGER, 1980: *Der Wasserhaushalt eines alpinen Rasens in den Zentralalpen*; in: Veröffentlichungen des Österr. MaB-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd. 3: 243 - 264.
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN, und G. SCHWERDTFEGER, 1983: *Bodenkunde*, 3. Auflage, Verlag Ulmer - Stuttgart. 408 S.
- MARKART, G., und B. KOHL 1993a: *Die Böden im Einzugsgebiet des Löhmersbaches / Saalbach*; unveröffentlichter Projektbericht an das BMLF, Wien 1993.
- MARKART, G., und B. KOHL, 1993b: *Physikalische Charakteristika der Böden im Mustereinzugsgebiet Löhmersbach/Saalbach*; unveröffentlichter Projektbericht an das BMLF, Wien 1993. 91 S.
- MURER, E.J., A. BAUMGARTEN, G. EDER, M.H. GERZABEK, E. KANDELER und W. RAMPAZZO, 1993: *An improved Sieving Machine for Estimation of Soil Aggregate Stability (SAS)*; Geoderma (56): 539-547.

- NASSIF, S.H. und E.M. WILSON, 1975: *The Influence of Slope and Rain Intensity on Runoff and Infiltration*; Bericht - University of Salford, Lancashire, UK: 539 - 553.
- NEUWINGER-RASCHENDORFER, I. und A. CZELL, 1965: *Böden in den Tiroler Zentralalpen*; Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Ökologische Untersuchungen in der Subalpinen Stufe, Teil 1, 2. Auflage: 371 - 411.
- NÖBL, H., 1988: Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung; Sekt. Sbg., Gebietsbauleitung Unter- und Mittelpinzgau, Technischer Bericht - Löhnersbach.
- PERINGER, P., 1993: *Abschlußbericht der Beregnungen im Löhnersbach 1992* des Inst. für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität f. Bodenkultur, Wien.
- PIRKL, H., 1990: *Geologisch - lithologisch - geomorphologische Kartierung*, 1:10000, ÖAW / GBA, Wien.
- PROFFITT, A.P.B., S. BENDOTTI, M.R. HOWELL and J. EASTHAM, 1993: *The Effect of Sheep Trampling and Grazing on Soil Physical Properties and Pasture Growth for a Red-Brown Earth*; Aust. J. Agric. Res., Vol. 44: 317 - 331
- SCHAFFHAUSER, H., 1982: *Untersuchungen über das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Versuchsflächen*; Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Bd 144: 85 - 101.
- SCHAFFHAUSER, H., 1988: *Beregnungsversuche im Einzugsgebiet des Dürnbaches*; Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Band 161: 147 - 159.
- SCHÖNLAUB, H.P., 1980: *Die Grauwackenzone*; in: Der geologische Aufbau Österreichs/Oberhauser (Hrsg.); Geologische Bundesanstalt, Springer Verlag - Wien - New York: 265 - 289.
- SCHWARZ, O. 1986: *Zum Abflußverhalten von Wildbächen bei künstlicher Beregnung*; in: Das landschaftsökologische Projekt Schönbuch/G.Einsele (Hrsg.); DFG - Forschungsbericht; VCH - Verlagsgesellschaft, Weinheim: 161-179.
- STADLER-EMIG, M., 1988: *Bodenparameter des Wasser- und Bioelementhaushaltes der Axamer Lizum als Beitrag für landschaftsökologische Untersuchungen*, Diplomarbeit an der Leopold Franzensuniversität Innsbruck.
- STAHR, A., 1991: *Bodenphysikalische Ursachen von Waldabbrüchen im Zentralalpinen Raum*; Allg. Forst- und J. Ztg., 162.Jg., (8): 150-154.
- SULLIVAN, L.A., 1990: *Soil Organic Matter, Air Encapsulation and Water-Stable Aggregation*; Journal of Soil Science, Vol. 41: 529- 534.
- TISCHENDORF, W., 1971: *Die Veränderlichkeit der Nährgebiete für den Hochwasserabfluß aus Waldgebieten*; in: Interprävent 1971: Grenzen und Möglichkeiten der Vorbeugung von Unwetterkatastrophen im alpinen Raum: 209 - 214.
- TURTON, D.J., C.T. HAAN and E. L. MILLER, 1992: *Subsurface Flow Responses of a Small Forested Catchment in the Quachita Mountains*; Hydrological Processes, Vol. 6: 111 - 125.
- WALTHER-LIETH, 1960: *Klimadiagramm - Weltatlas*; G.Fischer Verlag - Jena.
- WHIPKEY, R.Z., 1962: *Subsurface Stormflow from Forested Slopes*; American Society of Agricultural Engineers, Drainage Research Committee, Measuring Saturated Hydraulic Conductivity of Soils; Spec. pub., Sp-Sw-0262: 74 - 85.
- WILCOX, B.P. and K.M. WOOD, 1988: *Hydrologic Impacts of Sheep Grazing on Steep Slopes in Semiarid Rangelands*; Journal of Range Management, Vol.41/4: 303-306.
- YOUNGS, E.G., 1991: *Infiltration Measurements - A Review*; Hydrological Processes, (5) 309 - 320.
- ZHANG, H., und K.H. HARTGE, 1992: *Zur Auswirkung organischer Substanz verschiedenen Humifizierungsgrades auf die Aggregatstabilität durch Reduzierung der Benetzbarkeit*; in: Z. Pflanzenern. Bodenk., (155): 143 - 149.

Verfasser: Dipl.-Ing. G. Markart
Mag. B. Kohl
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung
Rennweg 1 - Hofburg
A-6020 Innsbruck

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. Lawineneignisse 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. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1977/78, 1978/79 und 1979/80. 81 Seiten	90.—
1986	16	HAUK, E.; HOLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	90.—
1987	17	MERWALD, I. Lawineneignisse 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. Lawineneignisse 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. Lawineneignisse 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.; MÖLLER, 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 Umgebungüberwachung 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	FÜRST, 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. Lawineneignisse 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	VOSHMIGIR, 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 Achenal. 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.—

