



**BFW-BERICHTE 127/2002**  
Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

---

**Beiträge zur  
Wildbachforschung**

---

*Contributions Relating to  
Torrent Research*

P. ANDRECS; W. BAUER; K. HAGEN;  
B. KOHL; E. LANG; G. MARKART;  
M. PORZELT; TH. SCHAUER

FDK 116.2:424.1:(436)



BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT

*Das Lebensministerium*

**Titeländerung:**

FBVA-Berichte (Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien) wird fortgesetzt als BFW-Berichte (Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald)

Der neue Serientitel wird mit der Nummer 127/2002 fortgesetzt. Die Titeländerung erfolgt aufgrund der Namensänderung der Institution mit dem 1. Juni 2002

**Change of title:**

FBVA-Berichte (Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien) is continued as: BFW-Berichte (Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald).

The new title is therefore issued with number 127/2002 and is the consequence of the change of name of the organization as of June 1st 2002

**Empfohlene Zitierung:**

Beiträge zur Wildbachforschung / P. Andrecs, W. Bauer, K. Hagen, B. Kohl,  
E. Lang, G. Markart, M. Porzelt, Th. Schauer / BFW-Berichte; Schriftenreihe des  
Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Wien, 2002, Nr. 127, 87 S.

ISSN 1013-0713

Copyright 2002 by

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Für den Inhalt verantwortlich :

Direktor Dr. Karl Schieler

Herstellung und Druck :

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Seckendorff-Gudent Weg 8

A-1131 Wien

URL: <http://fbva.forvie.ac.at>

Bestellungen und Tauschverkehr :

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

Bibliothek

Seckendorff-Gudent Weg 8

A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 1216

Fax. + 43-1-878 38 1250

E-mail: [gudrun.schmidberger@fbva.bmlf.gv.at](mailto:gudrun.schmidberger@fbva.bmlf.gv.at)

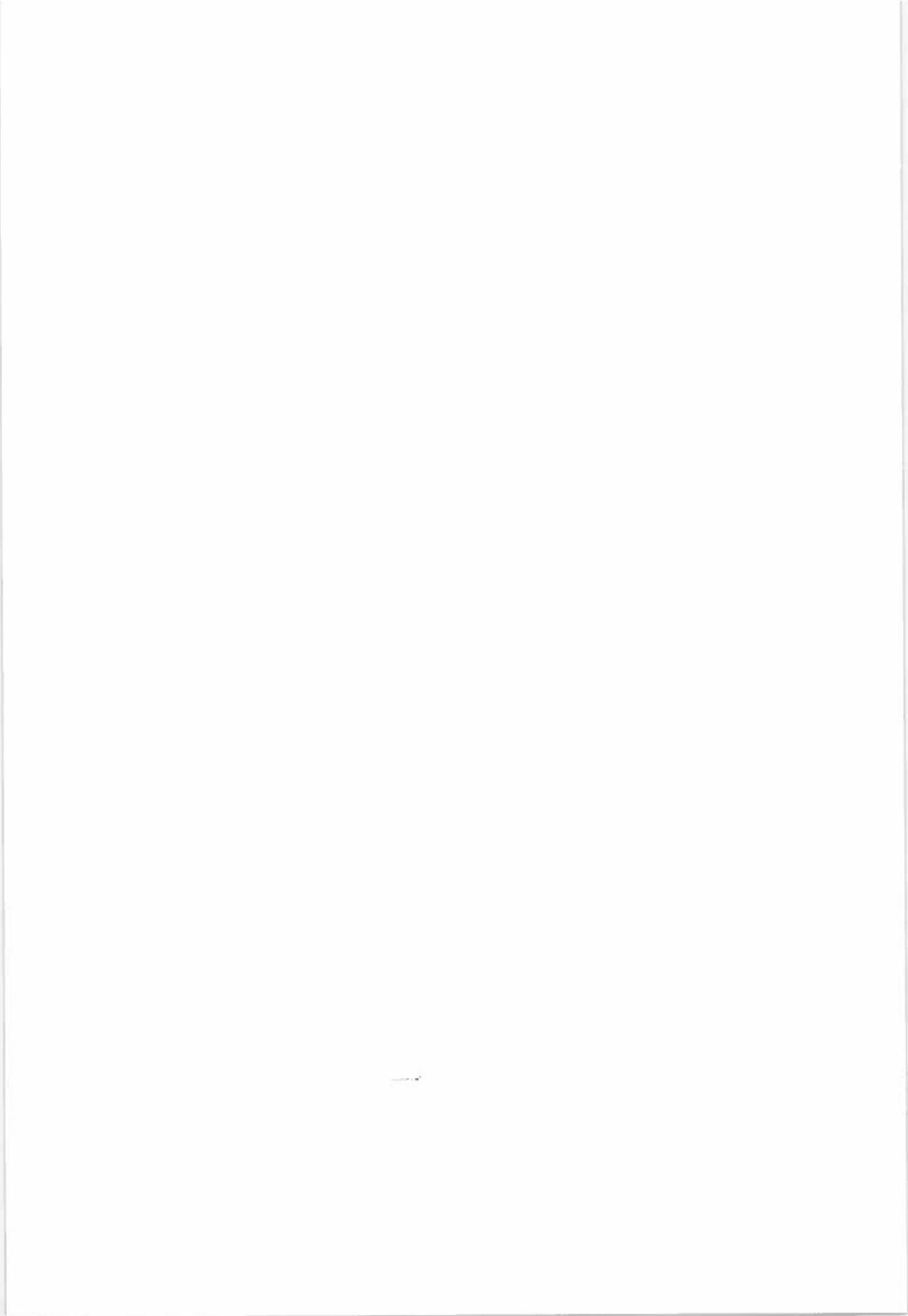
Online Bestellungen: [http://fbva.forvie.ac.at/db/bibliothek\\_publicationen.bestellung](http://fbva.forvie.ac.at/db/bibliothek_publicationen.bestellung)

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

# Inhaltsverzeichnis

## Contens

- B. KOHL, G. MARKART, W. BAUER  
Abflussmenge und Sedimentfracht unterschiedlich genutzter Boden-/Vegetationskomplexe bei Starkregen im SölktaI/Steiermark  
*Runoff and Sediment Load from Differently Managed Soil/Vegetation Units in the Sölk-Valley (Styria) in Case of Heavy Rain* ..... 5
- B. KOHL, G. MARKART, TH. SCHAUER, M. PORZELT  
Vergleich zweier Großregenanlagen zur Abschätzung des Abfluss- und Infiltrationsverhalten von Boden-/Vegetationskomplexen  
*Comparison between two Sprinkling Irrigation Installations for estimation of runoff infiltration characteristics of different soil/vegetation units* ..... 31
- K. HAGEN  
Auswirkungen der Klimaänderung für das watershed management in Wildbacheinzugsgebieten  
*Impact of climatic change on watershed management in Austrian torrent-catchments* ..... 45
- P. ANDRECS, G. MARKART, E. LANG, K. HAGEN, B. KOHL, W. BAUER  
Untersuchung der Rutschungsprozesse vom Mai 1999 im Laternsertal (Vorarlberg)  
*Investigation of the May 1999 Landslide Processes in the Laternser Valley (Vorarlberg)* ..... 55



# Abflussmenge und Sedimentfracht unterschiedlich genutzter Boden-/Vegetationskomplexe bei Starkregen im Sölkta/Steiermark

B. KOHL, G. MARKART, W. BAUER

*Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald*

**Kurzfassung.** Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur sollten Anhaltspunkte über die Abfluss- und Erosionsdisposition verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten im Einzugsgebiet Großsölk gewonnen werden. Dazu wurden im Gebiet sieben ausgewählte Versuchsflächen mit Hilfe einer transportablen Großregenanlage beregnet, die wichtigsten bodenphysikalischen Parameter untersucht, und die Flächen vegetationskundlich aufgenommen.

Die bodenphysikalischen Untersuchungen ergaben im allgemeinen eine geringe bis sehr geringe Erodierbarkeit der Böden der untersuchten Standorte. Der gemessene Bodenabtrag bei simulierten Starkregen hängt unter anderem wesentlich vom Bedeckungsgrad des Pflanzenbewuchses der Bodenoberfläche ab. Aus den durchgeführten Untersuchungen kann abgeleitet werden, daß Bodenabtrag im Gebiet Großsölk nur zu einem geringen Teil aus den Weideflächen zu erwarten ist. Im Waldbereich können Flächen mit offenem freiliegendem Mineralboden und einer Prädisposition für oberflächlichen Abfluss lokal zu erhöhtem Gesamtabtrag des Gebietes beitragen. Ein relativ hoher Anteil an Abtrag ist jedoch auf unbegrünten, nur spärlich bewachsenen Flächen, wie frische Straßenböschungen oder Rutschungen zu erwarten. Ebenso wird aus den Lawinenkegeln ein Großteil des in der Hochlage erodierten Materials im Starkregenfall in den Vorfluter ausgewaschen.

**Schlüsselworte:** Abfluss, Abtrag, Bewirtschaftung, Großregenanlage

**Abstract.** [Runoff and Sediment Load from Differently Managed Soil/Vegetation Units in the Sölk-Valley (Styria) in Case of Heavy Rain.] In the framework of a research-project of the department of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering of the University for Agricultural Sciences, clues should be won about infiltration characteristics and erosion disposition of different soil-/vegetation units in the watershed of Großsölk. On seven different investigated plots heavy rain with an intensity of 100 mm h<sup>-1</sup> was simulated by use of a transportable spray irrigation installation. In addition the most important soil physical parameters were examined and a vegetation survey of the surfaces was made.

The soil physical examinations yielded very low erodibility of the soils of the examined locations in general. However the measured erosion with simulated heavy rain appears to be dependent from the degree of plant cover of the surface among other things essentially. From the enforced examinations it can be derived that the soil erosion is to be expected only to a low part from the pasture-surfaces in the Großsölk area. In the wooded area, surfaces with open lying exposed mineral horizon and a high disposition to surface runoff can locally enhance the total erosion quantity of the watershed. A relatively high share at erosion freights must be expected on only sparsely covered surfaces, such as fresh embankments or land slips. As well, the eroded material of avalanches lying on the avalanche cones may contribute to sediment load in case of heavy rainfall.

**Keywords:** Cultivation, Erosion, Runoff, Spray inigation installation

## 1. Einleitung - Aufgabenstellung

Im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes zum Thema „Water resources management in a changing environment: the impact of sediment on sustainability – WARMICE“, welches das Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur in Kooperation mit der Universität Durham (England) und der Univer-

sität Zaragoza (Spanien) im Einzugsgebiet des Sölk-speicher/Ennstal durchführt, sollten Anhaltspunkte über die Abfluß- und Erosionsdisposition verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten im Einzugsgebiet Großsölk gewonnen werden. Dazu wurden im Gebiet sieben ausgewählte Versuchsflächen mit Hilfe einer transportablen Großregenanlage beregnet. Die Versuchsflächen umfaßten zwei Waldstandorte, einen frischen Fichtenwald mit Feuchtezeigern im Unterwuchs, welche auf potentiellen Oberflächenab-

fluß schließen ließen, und einen steileren Fichtenwald mit einer mehr oder weniger geschlossenen Nadel-Streudecke. Zwei Weideflächen wurden nach unterschiedlicher aktueller Beweidungsintensität ausgesucht, wovon erstere zum Zeitpunkt der Beregnung voll beweidet war und zweitere außerhalb eines Weidezaunes, an der deutlich höheren Bestandesbiomasse ersichtlich, bereits mehrere Wochen außer Weide gestellt war. Ein weiterer Versuchspunkt war ein Lawinenkegel, um den Beitrag derartiger Flächen zum Bodenabtrag bei Starkregen zu quantifizieren. Zwei Flächen im Bereich einer geschütteten Straßenböschung komplettierten die Versuchsanordnung. Die beiden Rohboden-Flächen befanden sich in einem unterschiedlichen Sukzessionsstadium d.h. unterschiedlichem Wiederbesiedlungsgrad.

Ziel der Beregnungsexperimente war erosive Starkniederschläge zu simulieren und den entstehenden Bodenabtrag in zeitlicher Abhängigkeit der Beregnungsdauer zu messen. Zusätzlich erfolgten Freilandansprache und Laboranalysen der wichtigsten bodenphysikalischen Parameter sowie die vegetationskundliche Ansprache der Versuchsflächen, um Aufschlüsse über das Infiltrations- und Erosionspotential der Böden zu erhalten.

Die experimentelle Ermittlung der Abtragsfracht gebietsrepräsentativer Standorte sollte eine Kalibrierung von flächenhaften Modellrechnungen der Erosions- und Sedimentationsraten ermöglichen. Diese Daten sollten zur Verifikation des am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau weiterentwickelten Modells dienen.

## 2. Methodik und Versuchsanordnung

### 2.1 Freiland

#### 2.1.1 Beregnungsversuche und Bodenabtragsmessung

Mit der eingesetzten Großregenanlage werden Flächen im Ausmaß von 5x16 m, das entspricht einer Fläche von 80 m<sup>2</sup>, beregnet. Die Wasserversorgung erfolgt über eine Rosenbauer RK 75 Tragkraftspritze mit angeschlossener Steigleitung aus lokalen Wasserquellen. Die Steuerung der Auftragsmenge erfolgt über den Betriebsdruck, sowie Art und Anzahl der Düsen. Es kommen Flachstrahldüsen der Fa. PIPELIFE in Viertel-, Halb- und Vollkreisausführung zum Einsatz. Die Niederschlagsintensität wird über einen

Wasserzähler mit digitalem Aufnehmer kontrolliert. Um Verluste durch laterale Abdrift, besonders im unteren Bereich zu vermeiden, werden auch die Außenseiten mit einer definierten Niederschlagsmenge versorgt. Der Abfluß wird in kalibrierten Auffangbehältern (300 Liter) gesammelt und gemessen. In fünfminütigen Intervallen werden Proben des abfließenden Wassers zur Messung der Abtragsmenge gezogen. Die Versuchsdauer beträgt mindestens 60 min. Eine exakte Beschreibung der Beregnungsanlage geben MARKART und KOHL (1995).

#### 2.1.2 Bodenfeuchtemessungen

Auf den Versuchsflächen wurden jeweils acht 20 cm lange TDR-Sonden zur Messung der Volumsfeuchte vertikal an der Bodenoberfläche installiert. Auf diese Weise können die Ausgangsfeuchte (Bodenfeuchte vor der Beregnung) und das Aufsättigungsverhalten der obersten Bodenmatrix (0-20 cm) während der Beregnung dokumentiert werden.

Probleme ergeben sich mit dieser Meßmethode einerseits in skelettreichen Böden. Auf solchen Standorten ist der Einbau der Sonden meist nicht, oder nur unter größerer Gefügestörung möglich. Andererseits werden die Messungen in stark humosen Böden ungenauer, da die Dielektrizitätskonstante der organischen Substanz von jener der mineralischen Substanz abweicht.

#### 2.1.3 Bodenansprache und Probenwerbung

Auf allen sieben Versuchsstandorten wurden im Bereich des für die Abflußmessungen geöffneten Schlitzes Proben für die physikalische Analyse geworben. Dabei wurden in Anlehnung an die Richtlinien der Österr. Bodenzustandsinventur (BLUM et al. 1989), nicht von der Auflage aus beginnend sondern von der Oberfläche des Ah-Horizontes, in definierten Tiefenstufen sowohl ungestörte Zylinderproben - jeweils 5 Parallelproben je Tiefenstufe - als auch Lockermaterial entnommen. Die Probenwerbung an der Oberfläche erfolgte in Hinblick auf die Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Wert), der als Indikator für die potentielle Infiltration im Oberboden eine besondere Bedeutung zukommt.

#### 2.1.4 Vegetationsaufnahmen

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen folgt FISCHER (1994), die der Moose FRAHM/FREY (1992). Die Vegetationsaufnahmen wurden in Anlehnung an BRAUN-BLANQUET (1964) nach der Methode von WESTHOFF & VAN DER MAAREL (1978) durchgeführt.

Die Zeigerwertlisten von ELLENBERG (1991) bzw. LANDOLT (1977) dienen als Grundlage zur Berechnung der mittleren ökologischen Zeigerwerte. Zusätzlich zu den von Ellenberg bewerteten ökologischen Faktoren gibt Landolt einen Wert für die Humuszahl und die Dispersität des Bodens an. Diese Dispersitätszahl gibt den Grad der Bodendurchlässigkeit und der Bodendurchlüftung an und ist daher gerade im Zusammenhang mit den Berechnungsversuchen von Interesse. Zur Ermittlung der mittleren Feuchtezahl wurde, aufgrund der größeren Amplitude, auch auf die Zeigerzahlen von Ellenberg zurückgegriffen.

## 2.2 Untersuchungen im Labor

Die Versuchsserie zur Bestimmung bodenphysikalischer Kennwerte für die 7 berechneten Standorte umfaßte die weitgehend ÖNORM konformen Bestimmungen der Korngrößenverteilung, der Lagerungsdichte (LD), der Feststoffdichte (FD), der organischen Substanz (OS), der Aggregatstabilität (SAS) und der gesättigten Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Wert).

Die Korngrößenuntersuchung bezieht sich auf den mineralischen Feinboden und wird modifiziert nach der ÖNORM L 1061 in zwei Schritten durchgeführt. Eine im ersten Schritt durchgeführte Siebung bis zu einer Korngröße von 40 µm wird im zweiten Schritt mit einem kombinierten Sedimentations- und Zentrifugationsverfahren gekoppelt.

Die Lagerungsdichte wurde anhand der ungestört entnommenen Zylinderproben (200 cm<sup>2</sup>) nach ÖN L 1068 bestimmt.

Die Feststoffdichte bzw. Dichte der festen Bodenbestandteile wurde in Anlehnung an das Pyknometer - Verfahren nach SCHLICHTING und BLUME (1966) mit Xylol ermittelt.

Die organische Substanz 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 ist 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.

Die Aggregatstabilität wurde in Anlehnung an die Methode von KEMPER (KEMPER and KOCH 1966) modifiziert nach MURER et al. (1993) an getrockneten Bodenaggregaten von 1 bis 2 mm Größe für die Tiefenstufen 0-5 cm und 5-10 cm ermittelt. Hierbei werden Aggregate, die während eines fünfminütlichen Tauchsiebvorganges nicht zerfallen, als stabil bezeichnet und als Gewichtsprozent der Gesamttaggregatzahl angegeben.

Der  $K_f$ -Wert eines Bodens, die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist eine Konstante für starre, gesättigte Böden mit gegebener geometrischer Konfiguration (JURY et al. 1991). Bestimmt wurde der  $K_f$ -Wert im Labor in einer nach DE BOODT und DE LEENHEER (1965, zit. in: SCHLICHTING und BLUME 1995) von H.P. HOFER konstruierten Apparatur (Abb.1).

Das Gesamtporenvolumen (GPV) ergibt sich nach der Formel:

$$GPV = \left( 1 - \frac{LD}{FD} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Abb.1:

Apparatur zur Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Wert) (Konstruktion: H.P. HOFER)



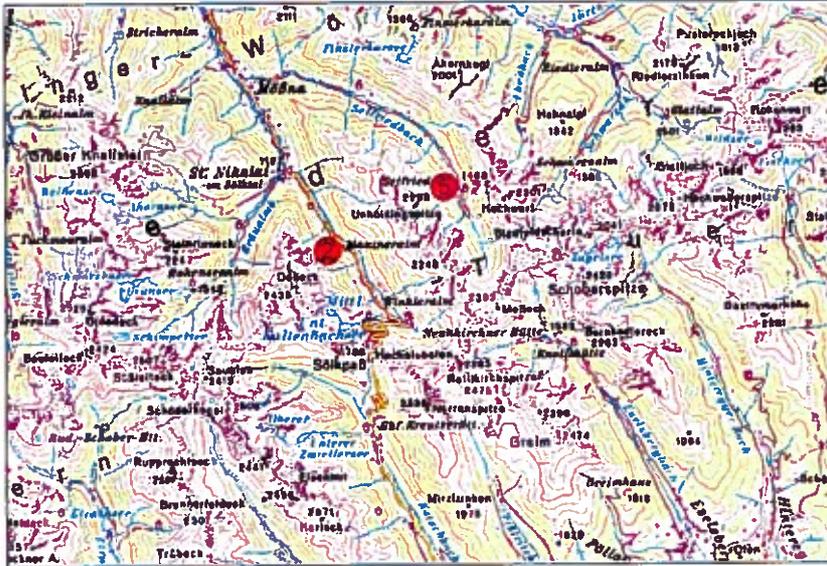


Abb.2:  
Lage der Versuchsflächen an der Großsölk (2 Standorte) und Seifriedbach (5)

### 3. Lage der Versuchsflächen

Das Untersuchungsgebiet ist das Einzugsgebiet des Sölkbaches, einem südlichen Zubringer der oberen Enns. Das Einzugsgebiet Großsölk umfaßt eine Fläche von 140,9 km<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Höhe des Untersuchungsgebietes liegt bei 1680 m SH und erstreckt sich von 900 bis 2600 m. Etwa 37 % des Einzugsgebietes ist mit Wald bedeckt, vornehmlich Fichtenwald (BIERINGER 1984). Die Kulturlächen können in Alpine Weiden (28 %) sowie Weiden und Mähwiesen der Tieflagen (21 %) unterteilt werden. Feldbau erreicht nur einen sehr geringen Flächenanteil.

Im Einzugsgebiet des Seifriedbaches wurden fünf Versuchsstandorte gewählt, zwei Waldstandorte und zwei Weiderasen in unmittelbarer Nähe der Seifriedalm. Direkt am Seifriedbach, nördlich der Seifriedalm liegt die Beregnungsfläche 5, ein abschmelzender Lawinenkegel. Am orographisch linken Ufer des Sölkbaches wurden zu einem späteren Zeitpunkt zwei Blaikenstandorte unterhalb einer geschütteten Forststraße beregnet.

### 4. Ergebnisse der Beregnungen

Im folgenden sind nach einer kurzen Standortbeschreibung die Ergebnisse der Beregnungsversuche und das Aufsättigungsverhalten der Bodenmatrix während der Beregnungen dargestellt.

#### 4.1 Sauerklee Fichtenwald auf pseudovergleyter Moderbraunerde (BF1):

##### Standort

Lage: ca. 500 m südlich der Seifriedalm oberhalb der Forststraße, Exposition: WSW, Neigung: ~ 20°.

Vegetation: Sauerklee-Fichtenwald; Gesellschaft mit Feuchtezeigern in den Tiefenlinien zwischen Wurzeltellern und Blöcken (z.B. *Caltha palustris*); Überschildungsgrad der Baumschicht: 80 %; Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 55 %.

Vegetationsaufnahme: *Picea abies* 4, *Sorbus aucuparia* x, *Oxalis acetosella* 3, *Caltha palustris* 1, *Ranunculus repens* 1, *Lysimachia nummularia* 1, *Agrostis capillaris* x, *Deschampsia cespitosa* x, *Dryopteris remota* x, *Equisetum sylvaticum* x, *Fragaria vesca* x, *Geranium phaeum* x, *Hieracium sylvaticum* x, *Homogyne alpina* x, *Lamium montanum* x, *Mycelis muralis* x, *Senecio ovatus* x, *Taraxacum officinale* agg. x, *Veronica officinalis* x, *Viola biflora* x.

Boden: Pseudovergleyte Moderbraunerde, geringer Grobanteil, bis in 30 cm Tiefe mittlere Durchwurzelung.

##### Beregnung

Aufgrund des großen Puffervermögens des Bodens war nach standardmäßiger einstündiger Beregnung noch kein konstanter Oberflächenabfluß zu verzeichnen. Bei einer Intensität von 97,9 mm/h wurde nach 60 Minuten ein maximaler Abflußkoeffizient von 0,6 gemessen. Der lineare  $AK_{(max)}$  läßt sich für eine längere Versuchsdauer mit etwa 0,65 fest-

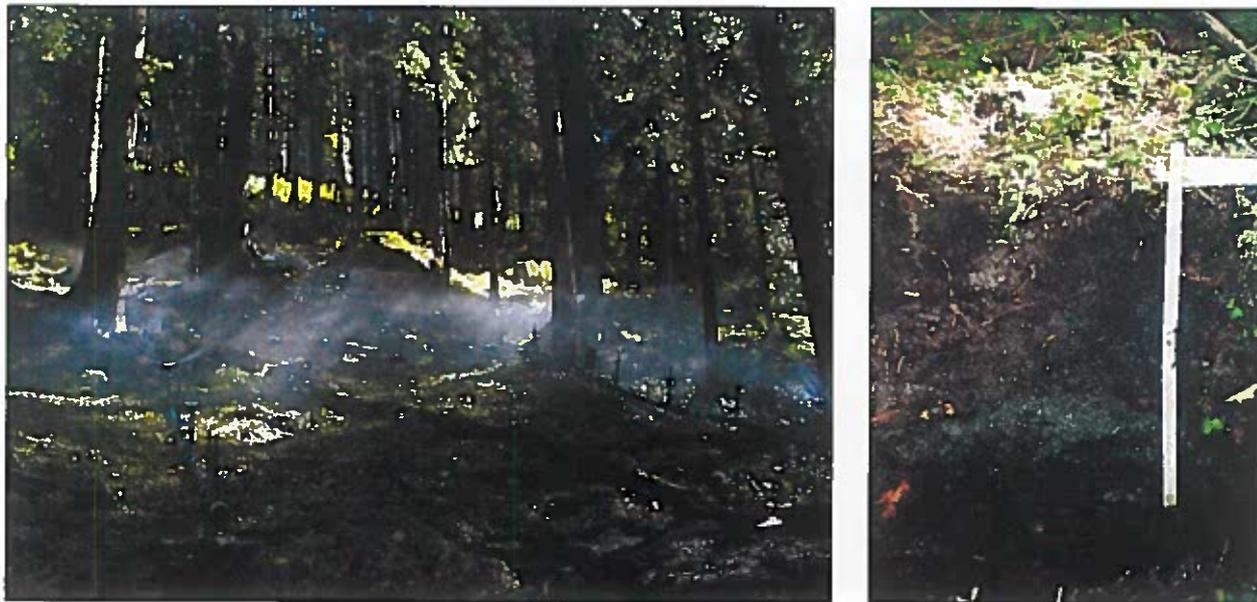


Abb.4.1.1: Beregnungsfläche BF1 - Sauerklee-Fichtenwald Gesellschaft mit Feuchtezeigern; pseudovergleyte Moderbraunerde.

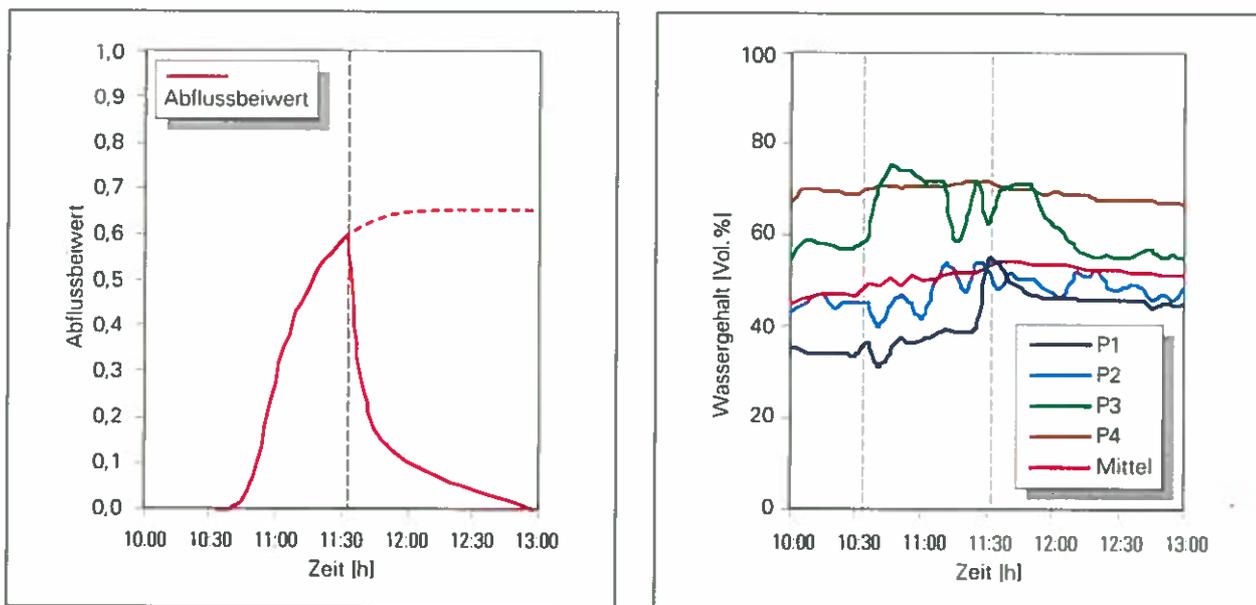


Abb. 4.1.2: Abflussentwicklung und Bodenfeuchteänderung:

Beregnungsversuch BF1:	01. Aug. 2000	Großsölk – Seifriedbach
Intensität: 97,9 mm/h	AK <sub>ges</sub> : 42,3%	AK <sub>vmax</sub> : 65,0%

legen. Insgesamt wurden 42,3 % der Auftragsmenge als Abfluß quantifiziert (Abb.4.1.2 und Tab.4.1).

**Bodenfeuchte**

In der Abbildung 4.1.2 ist auf der rechten Graphik die Änderung des Bodenwassergehalts vor, während und nach dem Versuch dargestellt. Aus Übersichtsgründen werden nur vier Ganglinien der Bodenfeuchte der jeweils acht vertikal implantierten TDR-Sonden (0-20cm) und ein Mittelwert aller Sonden angeführt. Auf den ersten Blick wird das

stark heterogene Aufsättigungsverhalten des Bodens ersichtlich. Der Oberboden war bereits vor Beregnungsbeginn mit 45 bis 70 Vol% in Teilbereichen mit Wasser gesättigt. P4 beispielsweise zeigt keine Änderung im Wassergehalt, der Boden ist voll wassergesättigt, während P3 einen raschen Anstieg verzeichnet und P2 bzw. P1 allmählich die Wassersättigung erreichen. Das an Hand der Laboranalysen berechnete Gesamtporenvolumen stimmt sehr gut mit den TDR-Daten überein (vgl. Abb.5.2).

### Bodenabtrag

Mit der Anlaufzeit des Oberflächenabflusses verzögert sich auch der Beginn des Bodenabtrags. Nach 5 Minuten setzt Oberflächenabfluß ein. Anfänglich nimmt dieser minütlich umgerechnet etwa 3 kg/ha Festsubstanz mit sich. Dieser Wert steigert sich zur Halbzeit des Beregnungsversuches (30 min) auf ca. 4 kg/ha/min und bleibt bis zum Ende annähernd konstant (vgl. Abb. 6.2).

## 4.2 Sauerklee Fichtenwald auf Braunerde (BF2)

### Standort

Lage: ca. 400 m südlich der Seifriedalm unterhalb der Forststraße, Exposition: W, Neigung: ~ 45°.

Vegetation: sehr artenarmer Sauerklee-Fichtenwald; Im Unterwuchs der Fichte dominiert der Sauerklee (*Oxalis acetosella*), die Bodenoberfläche ist zur Hälfte unbewachsen, die Fichtennadelstreu liegt frei; Überschirmungsgrad der Baumschicht: 60 %; Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 50 %, davon 10 % Moosdeckung.

Vegetationsaufnahme: *Picea abies* 4, *Oxalis acetosella* 3, *Mycelis muralis* 1, *Avenella flexuosa* x, *Ajuga pyramidalis* x, *Hieracium sylvaticum* x, *Luzula sylvatica* x, *Senecio ovatus* x, *Sorbus aucuparia* x, *Blepharostoma trichophyllum* x, *Calypogeia mueleriana* x, *Dicranum scoparium* x, *Heterocladium*

*dimorphum* x, *Hypnum cupressiforme* x, *Lophocolea heterophylla* x, *Plagiochila porelloides* x, *Pseudotaxiphyllum elegans* x.

Boden: Podsolige Braunerde, ca. 7 cm Rohhumusaufgabe, sehr skelettreich in 10 – 20 cm Tiefe, schwach durchwurzelt.

### Beregnung

Trotz des hohen Neigungsgrades der Versuchsfläche entwickelt sich im Starkregenversuch kein nennenswerter Oberflächenabfluß. Von einer Auftragsmenge von 98,8 mm Niederschlag wurden lediglich 133 l als Abfluß registriert. Dieser Abfluß kann als jene Wassermenge betrachtet werden, dessen Fließweg im untersten Bereich der Versuchsanordnung nicht ausreicht um eine Versickerungsmöglichkeit zu finden. Auch ein minimaler Anteil an Direkteintrag in die Auffangrinne ist in dieser Abflußmenge enthalten (Abb. 4.2.2).

### Bodenfeuchte

Bei einer durchschnittlichen Ausgangsfeuchte von 13 % im Boden ist an dieser Versuchsfläche von einer mäßigen Feinporenausstattung auszugehen. Der den Beregnungsversuchen vorausgehende Witterungsverlauf (Niederschläge der Vorwoche) ließ eine Bodenfeuchte im Bereich der Feldkapazität und darüber erwarten. Bei einem errechneten Gesamtporenvolumen von 57 % (in der Tiefenstufe 10-

Abb. 4.2.1:

Beregnungsfläche BF2 - Sauerklee-Fichtenwald stark geneigt, geringe Bodendeckung (50%); podsolige Braunerde auf Hangschutt, skelettreich.



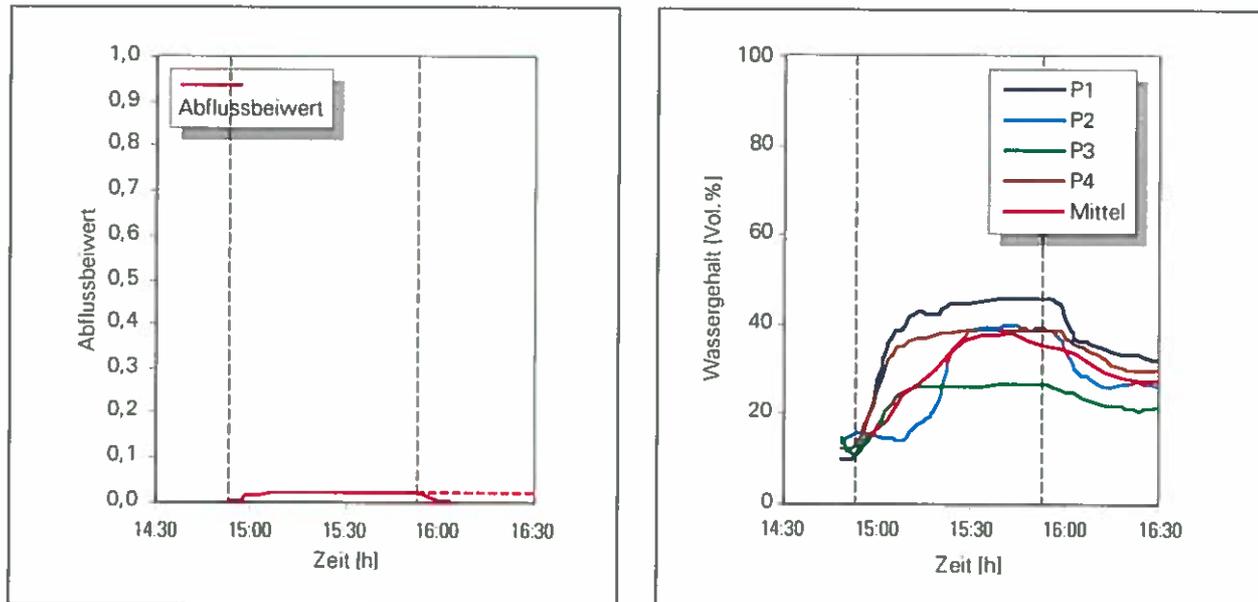


Abb.4.2.2:  
Abflussentwicklung und Bodenfeuchteänderung:

Beregnungsversuch BF2: 01. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach  
Intensität: 99,0 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 1,7%  $AK_{(max)}$ : 1,8%

20 cm) ist zu Beginn der Beregnung ein freier Porenraum von mindestens 44 % gegeben. Die Feuchtemessung während der Beregnung zeigen, daß selbst bei diesem Starkregen der gesamte freie Porenraum nicht ausgeschöpft wird. Die durchschnittliche maximale Feuchte liegt bei etwa 40 Volumsprozent, der verbleibende freie Porenraum besteht aus Gröb- und Sekundärporen.

#### Bodenabtrag

Aufgrund des extrem guten Infiltrationsverhaltens des Bodens dieser Versuchsfläche kommt es auch im Falle eines Starkregens mit einer Intensität von 100 mm/h zu keinem nennenswerten Bodenabtrag (vgl. Abb. 6.2).

#### 4.3 Borstgrasrasen, mittel bis stark beweidet (BF3)

##### Standort

Lage: ca. 300 m südlich der Seifriedalm unterhalb der Forststraße, Exposition: W, Neigung: 10-15°.  
Vegetation: Borstgrasrasen (*Nardetum*); Die Fläche zeigt ein wechselndes Mosaik von Buckeln und Senken und einen dementsprechenden Wechsel von Trocken- und Feuchtezeigern (z.B. *Carex nigra* in den Senken und *Thymus pulegioides* an den Kuppen). Ein hoher Anteil an Milchkrautern ist festzustellen (z.B. *Leontodon hispidus*);

Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 95 %, hiervon nimmt die Moosschicht einen Deckungsgrad von 5 % ein.

Vegetationsaufnahme: *Nardus stricta* 4, *Leontodon hispidus* 2b, *Euphrasia rostkoviana* agg. 2m, *Agrostis capillaris* 1, *Carex nigra* 1, *Potentilla erecta* 1, *Trifolium repens* 1, *Achillea millefolium* agg. x, *Alchemilla vulgaris* agg. x, *Carex leporina* x, *Carlina acaulis* x, *Cirsium palustre* x, *Deschampsia cespitosa* x, *Hieracium lactucella* x, *Hieracium pilosella* x, *Hypericum perforatum* x, *Leontodon autumnalis* x, *Parnassia palustris* x, *Plantago lanceolata* x, *Polygala vulgaris* x, *Prunella vulgaris* x, *Ranunculus acris* x, *Ranunculus repens* x, *Taraxacum officinale* agg. x, *Thymus pulegioides* x, *Vaccinium vitis-idaea* x, *Veronica officinalis* x, *Viola biflora* x.

Boden: Rasenbraunerde (podsolig, leicht pseudo-vergleyt), hoher Grobanteil in 7-11 cm Tiefe, sehr stark durchwurzelter Ah-Horizont.

##### Beregnung

Bereits vier Minuten nach Beregnungsbeginn setzt Oberflächenabfluß ein und erreicht sehr schnell einen konstanten Wert. Über 90 Prozent der aufgetragenen Niederschlagsmenge kann nicht in den Boden infiltrieren und wird oberflächlich abgeleitet. In den durch Viehtritt verdichteten Tiefenlinien des Mikroreliefs sammelt sich das abfließende Wasser (vgl. Abb. 4.3.1). Gleich der Anlaufzeit ist auch der Nachlauf zu Beregnungsende sehr kurz (Abb. 4.3.2).



Abb.4.3.1:  
Beregnungsfläche BF3 – Nardetum, mittlere Beweidungsintensität, hoher Oberflächenabfluss; podsolige Rasenbraunerde

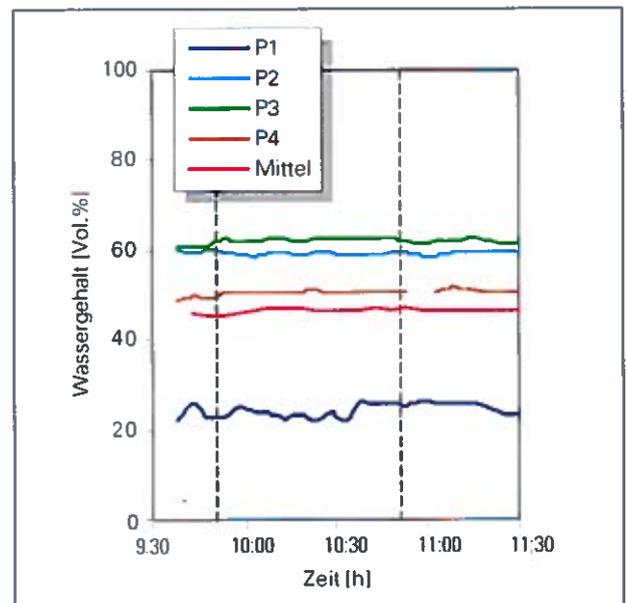
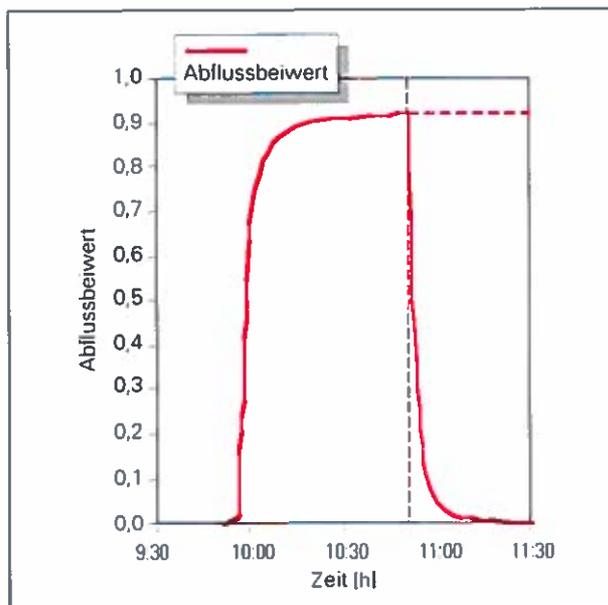


Abb.4.3.2:  
Abflussentwicklung und Bodenfeuchteänderung:

Beregnungsversuch BF3: 02. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach  
Intensität: 98,1 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 84,1%  $AK_{(max)}$ : 92,2%

### Bodenfeuchte

Der Oberboden des Profils BF3 ist, wie die bodenphysikalischen Untersuchungen zeigen, im Vergleich zu den anderen Versuchsstandorten mit einem hohen Gesamtporenvolumen (70 Volumsprozent in 5-10 cm Tiefe) ausgestattet. Auch ist eine Lagerungsdichte von  $0,44 \text{ g/cm}^3$  in 0-5 cm Tiefe bzw.  $0,75$  in 5-10 cm Tiefe als sehr gering einzustufen (KUNTZE et al. 1994). Derartige Lagerungsdichten entsprechen sehr sperrigen, lose gelagerten, humusreichen, gekrümelten Böden. Wie jedoch die Feuchte-

messungen im Freiland zeigen, kann ein potentieller Puffer im Porenraum im Falle des Starkniederschlags nicht ausgenutzt werden. Keine der acht implantierten Feuchtesensoren spricht auf die zugeführte Wassermenge an, das Feuchteregime des Bodens bleibt vor, während und nach der Beregnung in etwa konstant (Abb.4.3.2). Dies ist ein Ausdruck dafür, daß der Niederschlag bereits am Übergang zwischen Pflanzendecke und Boden an der Versickerung gehindert wird. Gerade Borstgrasrasen neigen aufgrund der Wuchsform des Borstgrases (*Nardus*

*stricta*) zur Ausbildung einer Strohdach ähnlichen Schicht, die ein Durchdringen im Starkregenfall hemmt („Strohdacheffekt“; MARKART und KOHL 1995, MARKART et al. 1996, 1997). Diejenige Wassermenge, welche dennoch versickert (~ 8 %) wird über das hier nur in geringen Maße vorhandene Sekundärporensystem (z.B. Mausgänge) und nicht über die Bodenmatrix abgeleitet.

#### Bodenabtrag

Trotz des hohen oberflächlichen Abflusses und der relativ hohen Fließgeschwindigkeit, sie liegt hier nach einer maximalen Fließstrecke von 16 m im Bereich von dm/sec, wird nur sehr wenig Material von der Bodenoberfläche abgetragen. Hochgerechnet befinden sich nur etwa 0,5 kg pro Hektar und Minute im abfließenden Regenwasser. Ein wesentlicher Grund hierfür ist im hohen Deckungsgrad der Vegetation zu sehen bzw. in der geringen Bodenverwundung durch das Weidevieh. Die beobachtete Weideintensität war zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung gering.

#### 4.4 Borstgrasrasen, mäßig beweidet (BF4)

##### Standort

Lage: unmittelbar neben BF3 unterhalb des Weidezaunes gelegen, Exposition: NW, Neigung: 10°. Vegetation: Borstgrasrasen (*Nardetum*); Die Arten garnitur dieser Beregnungsfläche ist jener von BF3 ähnlich. Die geringere Beweidungsintensität

äußert sich in einer größeren durchschnittlichen Bestandeshöhe (Krautschicht ca. 25 cm) und einem höheren Deckungsgrad. Die Fläche ist annähernd geschlossen bewachsen, nur etwa 2 % liegt als offener Boden vor. Zu den Elementen der Borstgrasrasen gesellen sich auch hier etliche Feuchtezeiger (z.B. *Juncus effusus*, *Carex nigra* u.a.). Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 98 %, davon deckt die Moosschicht 5 %.

Vegetationsaufnahme: *Nardus stricta* 4, *Agrostis capillaris* 2a, *Carex leporina* 1, *Juncus effusus* 1, *Potentilla erecta* 1, *Ranunculus acris* 1, *Trifolium repens* 1, *Viola biflora* 1, *Achillea millefolium* agg. x, *Alchemilla vulgaris* agg. x, *Carex nigra* x, *Cirsium arvense* x, *Cynosurus cristatus* x, *Gnaphalium sylvaticum* x, *Hieracium lactucella* x, *Hieracium pilosella* x, *Homogyne alpina* x, *Hypericum perforatum* x, *Leontodon hispidus* x, *Lysimachia nemorum* x, *Phleum hirsutum* x, *Plantago lanceolata* x, *Prunella vulgaris* x, *Ranunculus repens* x, *Rumex alpestris* x, *Thymus pulegioides* x, *Vaccinium myrtillus* x, *Veronica chamaedrys* x, *Veronica officinalis* x.

Boden: Podsolige Rasenbraunerde, mäßiger Grobanteil, stark durchwurzelter Ah-Horizont.

##### Beregnung (Abb.4.4.1, Tab.4.1)

Die Anlaufzeit ab welcher Oberflächenabfluß an der Unterkante der Beregnungsfläche auftrat und gemessen werden konnte, war mit 6 Minuten etwas länger als an der Vergleichsfläche BF3 (4 min). Diese geringfügige Verzögerung ist auf eine höhere

Abb.4.4.1:

Beregnungsfläche BF4 – *Nardetum*, mäßig beweidet; Rasenbraunerde



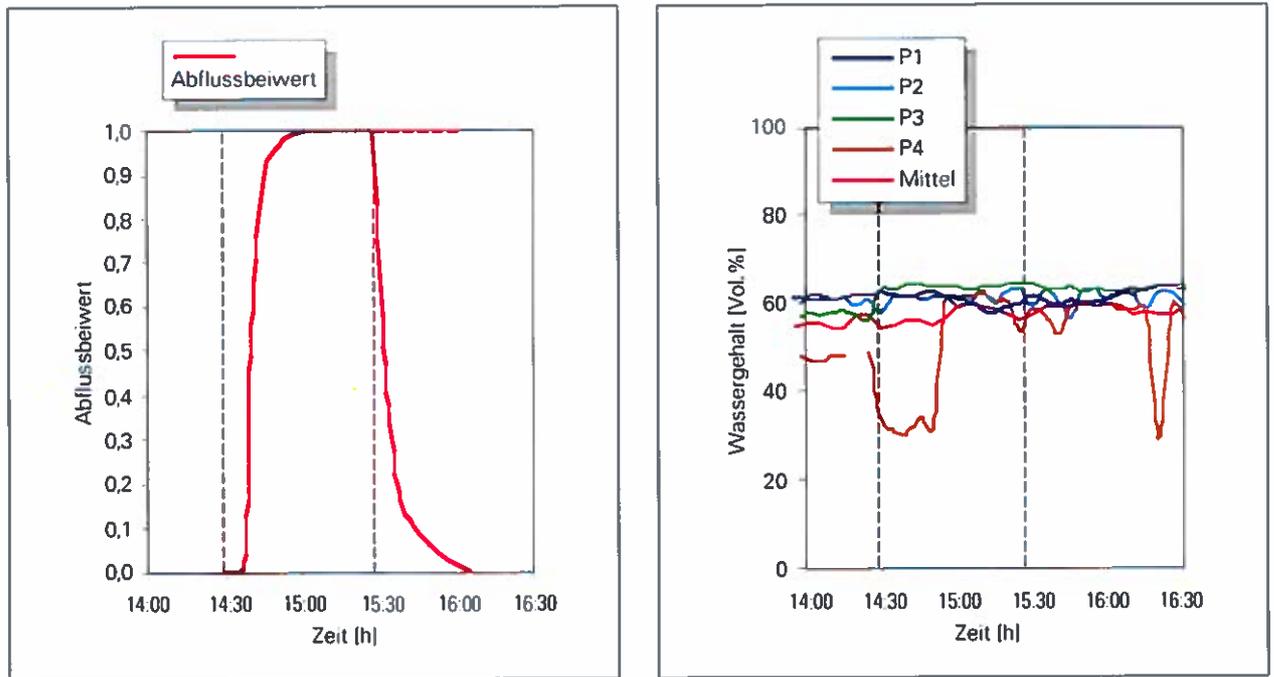


Abb.4.4.2:  
Abflussentwicklung und Bodenfeuchteänderung:

Beregnungsversuch BF4: 02. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach  
Intensität: 99,1 mm/h  $AK_{(ges)}: 97,7\%$   $AK_{(max)}: 100\%$

Rauhigkeit der Vegetation, größere Bestandeshöhe, höhere Biomasse, zurückzuführen. Der Anstieg des Oberflächenabflusses ist extrem stark, der  $AK_{(max)}$  erreicht nach 20 Minuten den Höchstwert von 100 %. Ab diesem Zeitpunkt fließt das gesamte aufgebraute Niederschlagswasser in die Auffangeinheit ab. Der Gesamtabfluß betrug 7520 Liter bzw. 97,7 Prozent. Die Interzeption des Pflanzenbestandes und die Speicherung im Kleinrelief können als Puffer der restlichen 2,3 % (177 l) betrachtet werden, da, wie die Bodenfeuchtemessungen zeigten, sich die Infiltrationsrate in den Boden als vernachlässigbar gering erwies.

#### Bodenfeuchte

Die durchgeführten Bodenfeuchtemessungen bestätigen die zuvor angestellten Überlegungen. Wie schon an der Versuchsfläche BF3 zeigen auch hier die meisten TDR-Sonden keine Änderung des Bodenwasseranteils an, obwohl noch freier Porenraum zur Verfügung stehen müßte. Das errechnete Gesamtporenvolumen beträgt an der Bodenoberfläche (0-5 cm) aufgrund des hohen Anteils an organischer Substanz 78 Volumsprozent, für die Tiefenstufe 5-10 cm 72 %. Das Porenvolumen nimmt üblicherweise mit der Bodentiefe ab. Ab 15 cm Tiefe war jedoch wegen des Skelettanteils eine volumsgerechte Zylinderentnahme und somit die labortechnische Ermittlung des Porenraumes nicht mehr möglich.

Die vertikal implantierten TDR-Sonden messen über die Sondenlänge integrierend den Bodenwasseranteil der obersten 20 cm Boden. Der Vergleich des Gesamtporenvolumens aus Laboranalysen mit den Werten der TDR-Feuchtemessung ergibt einen freien Porenraum von annähernd 10 Prozent. An den Versuchsflächen BF3 und BF4 wurden im Vergleich zu den anderen Flächen in 10 –20 cm Tiefe die niedrigsten  $K_f$ -Werte (gesättigte Leitfähigkeit; Abb. 5.5) ermittelt. Sie liegen jedoch in einem Bereich der als mittlere Leitfähigkeit eingestuft werden muß und können daher nur mit Einschränkungen als Erklärung für das gehemmte Infiltrationsverhalten bei Starkregen betrachtet werden („Mauer Effekt“; TISCHENDORF 1971). Vielmehr ist, wie bereits bei BF3 erläutert die Vegetationsdecke selbst im Starkregenfall als undurchlässige Schicht anzusehen. Der Boden verfügt aufgrund seines hohen Schluffgehalts über ein großes Wasserspeicherpotential, was sich auch in einer hohen Ausgangsfeuchte von etwa 60 % bemerkbar macht und durch das Vorhandensein von Feuchtezeigern wie *Juncus effusus* und *Carex nigra* bestätigt wird. Im Falle von Starkregenereignissen jedoch kommt auch hier wiederum der „Stroh-dacheffekt“ zum Tragen, wobei die infolge der geringeren Beweidungsintensität vermehrt akkumulierte Totmasse (Borstgrasstreue) den infiltrationshemmenden Effekt noch verstärkt. Diese Ergebnisse bestätigen andere Beob-

achtungen, wonach der Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzung von Almflächen in vielen Gebieten der Alpen kurzfristig zu einer Zunahme von Oberflächenabfluß und Bodenerosion führt (NEWSELY 2000). Erst das Einwandern von Phanerophyten und Zwergsträuchern mindert die negativen Auswirkungen dieser Übergangsphase.

**Bodenabtrag**

Der Abtrag liegt zwar um das Doppelte höher als an der intensiver beweideten Fläche BF3, er ist mit etwa 1 kg pro Hektar und Minute aber immer noch als gering einzustufen. Auch hier ist wiederum im hohen Deckungsgrad der Vegetation (98 %) bzw. der geringen Bodenverwundung durch das Weidevieh der Grund für den relativ geringen Abtrag, trotz extrem hohen Abflusses, zu sehen.

**4.5 Waldsimen-Wiese auf einem Lawinenkegel (BF5)**

**Standort**

Lage: ca. 1 km nördlich der Seifriedalm, 10 Höhenmeter oberhalb des orographisch rechten Ufers des Seifriedbaches; Exposition: SSW, Neigung: 15°. Vegetation: Waldsimen-Wiese (*Scirpetum sylvatici*); Zum Zeitpunkt der Beregnung, Anfang August ist ein Drittel der Fläche eisbedeckt, der übrige Teil, gerade erst eisfrei geworden, von einer mehrere Zentimeter dicken Sedimentschicht bedeckt. Die vorhandene Pflanzendecke wurde durch das von

der Lawine erodierte und abgelagerte Material begraben. Zwei Monate später, zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahme, zeigt sich die Fläche in sattem Grün, annähernd die Hälfte des Lawinenkegels wird vor allem von üppig wachsenden Simsen, Binsen und Schachtelhalmen eingenommen. Sehr viele Feuchte- und Nässezeiger dominieren den Bestand. Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 45 %, die Moosschicht nimmt einen Deckungsgrad von etwa 20 % ein.

Vegetationsaufnahme: *Scirpus sylvaticus* 2a, *Juncus filiformis* 2a, *Equisetum palustre* 1, *Achillea millefolium* agg. x, *Agrostis capillaris* x, *Alchemilla vulgaris* agg. x, *Calamagrostis epigejos* x, *Caltha palustris* x, *Cardamine amara* x, *Carex leporina* x, *Deschampsia cespitosa* x, *Equisetum arvense* x, *Galeopsis speciosa* x, *Holcus lanatus* x, *Juncus bufonius* x, *Mentha longifolia* x, *Molinia caerulea* x, *Myosotis palustris* agg. x, *Oxyria digyna* x, *Phleum pratense* x, *Potentilla erecta* x, *Ranunculus repens* x, *Rumex alpinus* x, *Senecio ovatus* x, *Tussilago farfara* x, *Bryum bicolor* 1, *Bryum argenteum* x, *Oligotrichum hercynicum* x, *Paraleucobryum longifolium* x.

Boden: hochorganischer Auftragsboden, begrabener Of-Horizont, mäßiger Grobanteil, stark durchwurzelt.

**Beregnung (Abb. 4.5.1 und Abb. 4.5.2)**

Aufgrund der permanenten Wasserversorgung der Fläche durch das abschmelzende Eis des Lawinenkegels war der Boden zum Beregnungszeitpunkt

Abb.4.5.1:

Beregnungsfläche BF5 – Lawinenfächer, Waldsimen-Wiese; hochorganischer Auftragsboden.



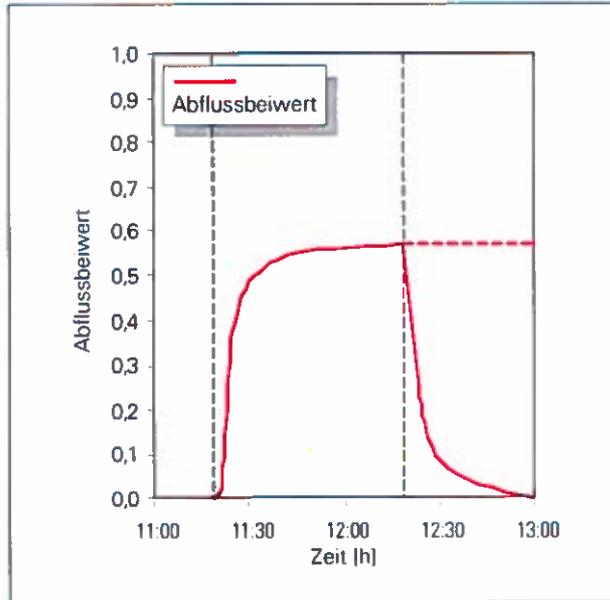


Abb. 4.5.2:  
Abflussentwicklung;  
Ableitung des Abflusses in eine Regenrinne:



Beregnungsversuch BF5:	03. Aug. 2000	Großsolk – Seifriedbach
Intensität: 99,0 mm/h	AK <sub>(ges)</sub> : 54,5%	AK <sub>(max)</sub> : 57,3%

annähernd gesättigt. Daher wurde auf den Einsatz des Bodenfeuchtemessgerätes verzichtet. Ein geringer, aber permanenter lateraler Fluß in der Bodenmatrix (Interflow) war bereits vor dem Beregnungsexperiment erkennbar. Das berechnete Bodenporenvolumen von ca. 70 % in den obersten Tiefenstufen war zum größten Teil vorverfüllt. Bereits zwei Minuten nach dem Versuchsstart stieg die Abflußkurve stark an, bei 57 % erreichte der Abfluß seinen Scheitelwert. Trotz der extrem hohen Vorfeuchte kann fast die Hälfte des aufgetragenen Niederschlags in tiefere Schichten versickern bzw. werden im Interflow abgeleitet. Im obersten Drittel der Versuchsfläche floß das Wasser entlang der vorgeformten Schmelzwege im Eiskegel ab. Die zusätzliche Abflußmenge, die aus der Abschmelzrate des Lawinenkegels resultiert, konnte nicht exakt quantifiziert werden. Ab Erreichen der 0°C – Isothermie kommt es zu Wasserfilmfließen in der Schneedecke. Weiters kommt es nach Abbau eines Eiskelettes in der Schneedecke zum besonders effektiven DARCY-Fließen mit hohen Schneeschmelzraten (HERMANN und KUHN 1990), die bei reiner Schneeschmelze selten 3 mm/h überschreiten (HERRMANN et al. 1989). In diesem Bereich bzw. etwas höher kann auch der Beitrag zum Abfluß angesehen werden, ein verglichen mit der simulierten Niederschlagsintensität von 100 mm/h jedoch geringer Anteil. Ähnliche Ergebnisse finden auch KOHL et al. (2001).

#### Bodenabtrag

Im Vergleich zu den bisher besprochenen Versuchsfächen liegt die gemessene Abtragsrate dieser Meßfläche deutlich höher. Vom oberflächlich freiliegenden Ablagerungsmaterial werden etwa 17 kg/ha und Minute ausgewaschen. In der ersten halben Stunde des Beregnungsexperimentes lag der Wert für den Abtrag bei annähernd konstanten 14 kg/ha/min und stieg dann, vermutlich aufgrund weiterer Materialfreisetzung aus dem Lawinenschnee, auf einen konstanten Wert von ca. 20 kg/ha/min an (vgl. Abb. 6.2).

#### 4.6 Blaike, Forststraßenschüttung (BF6)

##### Standort

Lage: linksufrig des Sölbaches, unterhalb einer Forststraße, im Einhang zum Gerinne eines kleinen Zubringers zum Sölbach; Exposition: ENE, Neigung: 35°.

Vegetation: Die geschüttete Straßenböschung befindet sich im Zustand beginnender Wiederbesiedelung, es wurden 21 Arten krautiger Pflanzen und zwei Straucharten (Himbeere und Grünerle) aufgenommen. Deckungsgrad an der Bodenoberfläche ist noch sehr gering: 20 %, viele Moose stellen als Rohbodenpioniere den Hauptanteil der Bodendeckung dar. Die krautigen Pflanzen selbst

kommen auf einen Deckungsgrad von höchstens 10 Prozent, den Hauptanteil trägt die Weiß-Pestwurz (*Petasites albus*).

Vegetationsaufnahme: *Rubus idaeus* x, *Alnus viridis* x, *Petasites albus* 1, *Calamagrostis varia* x, *Cardamine amara* x, *Cardamine flexuosa* x, *Carex leporina* x, *Deschampsia cespitosa* x, *Epilobium collinum* x, *Festuca rubra* agg. x, *Hieracium sylvaticum* x, *Luzula luzuloides* x, *Oxalis acetosella* x, *Phleum pratense* x, *Poa annua* x, *Prenanthes purpurea* x, *Sagina procumbens* x, *Saxifraga stellaris* x, *Stellaria media* x, *Trifolium pratense* x, *Tussilago farfara* x, *Vaccinium myrtillus* x, *Dryopteris carthusiana* x, *Oligotrichum hercynicum* 1, *Pogonatum urnigerum* 1, *Blasia pusilla* x, *Dicranum scoparium* x, *Ditrichum heteromallum* x, *Pellia neesiana* x, *Plagiothecium undulatum* x, *Pohlia annotina* agg. x, *Polytrichum formosum* x, *Rhytidiadelphus triquetrus* x.

Boden: Schüttungsboden

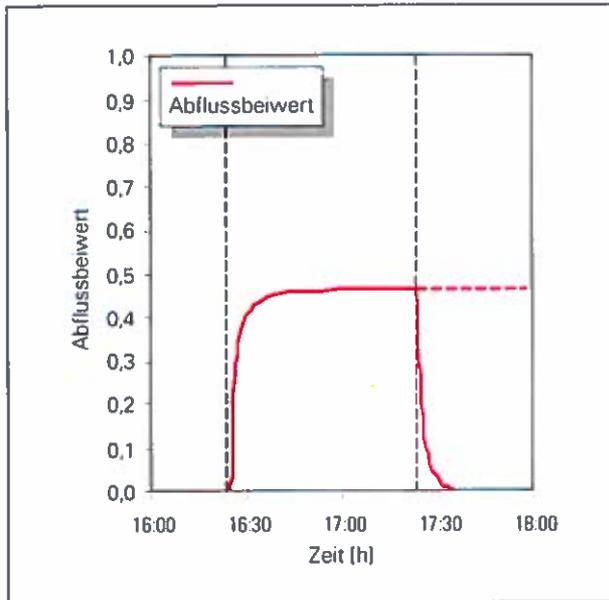
### Beregnung

Nach einer extrem kurzen Anlaufzeit von nur einer Minute, die geringe Vegetationsbedeckung kann den entstehenden Oberflächenabfluß nur sehr begrenzt abbremsen, stieg der  $AK_{(max)}$  im Laufe von etwa 6 Minuten auf einen Wert von 0,43 an. Nach etwa 20 Minuten mußte der Versuch abgebrochen werden, da der Abfluß die Auffangfolie unterspülte und Erdreich in die Auffangrinne abbrach (vgl. Abb. 4.6.2 rechts). Die Abtragsmessung unter diesen Voraussetzungen wäre nicht mehr repräsentativ gewesen. Nach etwa einer halbstündigen Pause zur Reparatur und Befestigung der Auffangeinheit wurde der Versuch erneut gestartet, die Probefläche war demzufolge bereits mit ca. 25 mm Niederschlag vordotiert. Auch im zweiten Versuchsanlauf erfolgte die Abflußbildung extrem schnell, nach bereits drei Minuten war der Scheitelpunkt erreicht. Der maximale Oberflächenabfluß lag bei 47 Prozent. Aus bodenphysikalischer Sicht stellt diese Versuchsfläche den Extrem-

Abb.4.6.1:

Beregnungsfläche BF6 – Blaike; Schüttungsboden





**Abb.4.6.2:**  
Abflussentwicklung, Ableitung des Abflusses in eine Regenrinne:

Beregnungsversuch BF6:	26. Sep. 2000	Großsölk – Sölkbach
Intensität: 94,9 mm/h	AK <sub>(ges)</sub> : 42,7 %	AK <sub>(max)</sub> : 46,6 %

wert aller Standorte dar. Der Boden ist bis an die Oberfläche sehr dicht gelagert (hohe Lagerungsdichte:  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ; vgl. Tab. 5.2), der Gehalt an organischer Substanz ist mit einem Prozent verschwindend gering, die  $K_f$ -Werte der Oberfläche sind als zwar mittel Leitfähig einzustufen liegen aber unter jenen der Vergleichsflächen. Auch die Aggregatstabilität der Tiefenstufe 0-5 cm liegt mit 26 % stabiler Aggregate deutlich niedriger. Für tiefere Stufen war eine Beprobung dieses Standorts wegen des hohen Skelettanteils nicht durchführbar. Der Einsatz des TDR-Feuchtemessgerätes war aus dem selben Grund unmöglich. Bereits an der Bodenoberfläche wurde ein Grobanteil von ca. 60 % geschätzt, das ermittelte Gesamtporenvolumen beträgt hier ca. 30 % des Feinbodens.

#### Bodenabtrag

Den Bodenabtrag betreffend stellt diese Versuchsfläche den Maximalwert aller Standorte dar. Im simulierten Starkregen einer Intensität von  $100 \text{ mm/h}$  wird umgerechnet ca.  $200 \text{ kg}$  Boden pro Hektar und Minute abgetragen. Bei entsprechenden Witterungsbedingungen, Vorregen längerer Dauer, sind im Falle eines fünf minütlichen Starkniederschlags Bodenabträge aus ähnlichen Straßenböschungen in der Größenordnung einer Tonne pro Hektar zu erwarten. Bei Bodenabträgen von über  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  wird die Erosionsgefährdung nach KUNTZE (1994) als sehr hoch eingestuft. Nachdem im

Einzugsgebiet Großsölk jährlich Dutzende solcher kurzer Starkregenereignisse wahrscheinlich sind, ist auch die Erosionsgefährdung solcher gering bewachsener, geschütteter Straßenböschungen als sehr hoch einzuschätzen.

#### 4.7 Blaike, Forststraßenschüttung (BF7)

##### Standort

Lage: Zehn Meter anschließend an die Versuchsfläche BF6, unterhalb einer Forststraße, im Einhang zum Gerinne eines kleinen Zubringers zum Sölkbach; Exposition: ENE, Neigung:  $35^\circ$ .

Vegetation: Diese Straßenböschung befindet sich bereits in einem fortgeschritteneren Zustand der Wiederbesiedelung, es wurden 16 krautige Pflanzen und eine strauchige Pflanze aufgenommen. Hinzu kommen die ersten Keimlinge und Jungpflanzen der Fichte (*Picea abies*). Der Deckungsgrad an der Bodenoberfläche ist bereits beträchtlich höher als an der Versuchsfläche BF6 die krautige Arten erreichen eine Bodendeckung von 50 Prozent, die Mooschicht gar 65 %. Nur mehr ein Viertel der Bodenoberfläche ist als offener Boden anzusprechen.

Vegetationsaufnahme: *Salix sp.* x, *Picea abies* x, *Petasites albus* 1, *Calamagrostis varia* 1, *Picea abies* K 1, *Agrostis capillaris* x, *Avenella flexuosa* x, *Carex leporina* x, *Deschampsia cespitosa* x, *Epilobium*

*collinum* x, *Festuca rubra* agg. x, *Gnaphalium sylvaticum* x, *Hieracium sylvaticum* x, *Larix decidua* K x, *Luzula luzuloides* x, *Poa annua* x, *Prenanthes purpurea* x, *Saxifraga stellaris* x, *Pogonatum urnigerum* 3, *Dicranella heteromalla* 2, *Polytrichum formosum* x, *Pellia neesiana* x, *Oligotrichum hercynicum* x, *Cephalozia bicuspidata* x, *Ditrichum heteromallum* x, *Calypogeia muelleriana* x, *Racomitrium fasciculare* x, *Pogonatum aloides* x.

Boden: Schüttungsboden auf Braunerdebasis

### Beregnung

Nachdem diese Versuchsfläche der standardmäßigen Versuchsdurchführung unterzogen worden war (Beregnung mit einer Intensität von ca. 100 mm/h eine Stunde lang), folgten zwei weitere Experimente mit niedrigeren Intensitäten. Zwischen den Versuchen lag jeweils eine halbstündige Unterbrechung zum Umbau der Beregnungsanlage, die Düsenanzahl wurde entsprechend der geringeren Intensität reduziert. Während der halbstündigen Beregnung mit 50 bzw. 30 mm/h wurde der konstante Abfluß an-

nähernd erreicht, d.h. die Konzentrationszeit (Zeit bis zur Entstehung des konstanten Abflusses) betrug etwa 30 Minuten (vgl. Abb. 4.7.2). Die gemessenen Anlaufzeiten lagen zwischen 3 und 5 Minuten, eine deutliche Verzögerung gegenüber der benachbarten Versuchsfläche BF6 war feststellbar. Während bei BF6 die Konzentrationszeit bis zum Erreichen des Scheitelpunktes extrem kurz war (nach bereits drei Minuten), lag dieser Wert bei BF7, wie bereits erwähnt, bei etwa 30 Minuten (vgl. Tab.4.1). Der maximale Oberflächenabfluß während des simulierten 100 mm/h Starkregens lag bei 60 Prozent. Die oftmals kolportierte irrierte Meinung, ein Boden mit einer Infiltrationskapazität von 40 mm/h bei einem Starkregen von 100 mm/h, müsse bei einer Niederschlagsintensität von 40 mm/h den gesamten Niederschlag ohne Abflußbildung aufnehmen, konnte durch die nachfolgenden Experimente eindrucksvoll widerlegt werden. Selbst bei einer Regenintensität von 30 mm/h wurde annähernd die Hälfte des Wassers an der Oberfläche abgeleitet ( $AK_{(max)}$  45,2 %).

Abb.4.7.1:

Beregnungsfläche BF7 –Blaike; Schüttungsboden (auf Braunerdebasis).



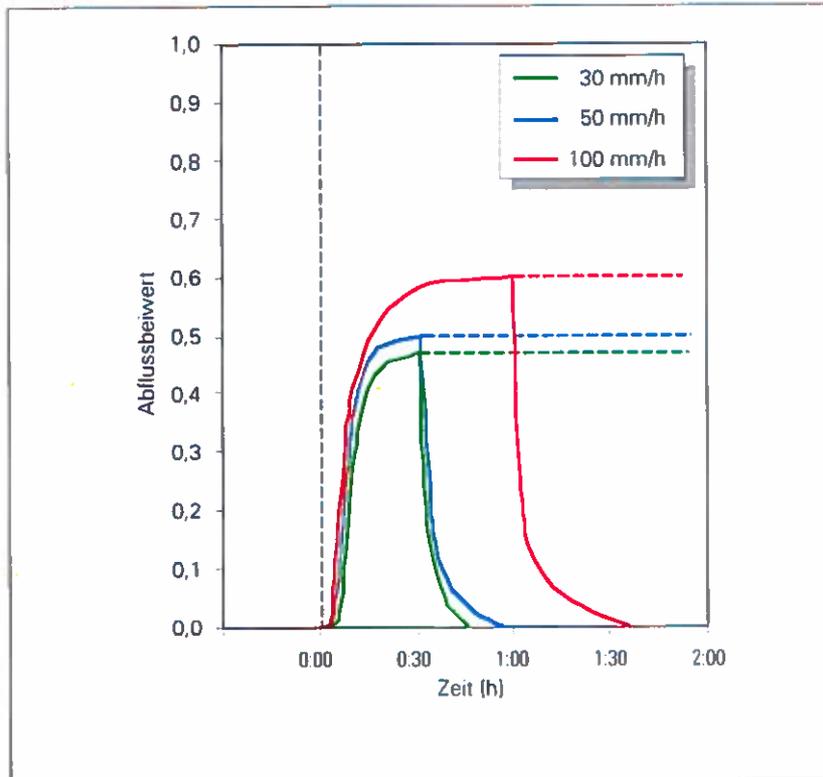


Abb.4.7.2:  
Abflussentwicklung bei drei unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten auf BF7

Berechnungsversuche BF7:	27. Sep. 2000	Großsölk – Sölbach
Intensität: 95,5 mm/h	AK <sub>(ges)</sub> : 51,3%	AK <sub>(max)</sub> : 59,9%
Intensität: 51,7 mm/h	AK <sub>(ges)</sub> : 42,3%	AK <sub>(max)</sub> : 49,6%
Intensität: 31,4 mm/h	AK <sub>(ges)</sub> : 35,9%	AK <sub>(max)</sub> : 45,2%

Tab.4.1  
Ergebnisse der Berechnungsversuche Großsölk (August - September 2000)

Fläche Nr.	Datum	Fläche [m <sup>2</sup> ]	I [mm/h]	Dauer [min]	N [mm]	N [m <sup>3</sup> ]	AK		AZ [min]	Dauer bis zum Abfluss [min]			
							(ges)	(max)		100 l	300 l	1000 l	AK <sub>(max)</sub>
1	01.8.	80	97,9	60	97,9	7,8	42,3	58,3	5	19	25	40	51
2	01.8.	80	99,0	60	99,0	7,9	1,7	1,8	3	45	-	-	6
3	02.8.	80	98,1	60	98,1	7,8	84,1	92,2	4	7	10	17	14
4	02.8.	80	99,1	58	96,2	7,7	97,7	100	7	10	12	18	22
5	03.8.	70	99,0	60	99,0	6,9	54,5	57,3	1	6	9	21	19
6	26.9.	80	94,9	60	94,9	7,6	42,5	46,6	1	3	7	21	48
7	27.9.	80	95,5	60	95,5	7,6	51,9	59,9	3	7	12	23	29
7_2	27.9.	80	51,7	30	25,9	2,1	42,3	49,6	3	9	16	-	14
7_3	27.9.	80	31,4	30	15,7	1,3	35,9	45,2	5	14	25	-	23

**Erklärung der Begriffe und Abkürzungen:**

I [mm/h]	=	Intensität des Niederschlages in mm/h
Dauer [min]	=	Dauer des Berechnungsversuches in Minuten
N [mm]	=	Aufgebrachte Gesamtniederschlagsmenge in mm
N [m <sup>3</sup> ]	=	Aufgebrachte Gesamtniederschlagsmenge in m <sup>3</sup> bei einer berechneten Fläche von 80 m <sup>2</sup>
AZ [min]	=	Anlaufzeit in Minuten, Zeitpunkt des ersten Oberflächenabflusses
AK <sub>(ges)</sub>	=	Abflusskoeffizient (Abflussbeiwert); Verhältnis des gesamten Oberflächenabflusses zur aufgebrachten Niederschlagsmenge
AK <sub>(max)</sub>	=	Maximaler Abflusskoeffizient (Verhältnis Spitzenabfluss zur Auftragsmenge zum Zeitpunkt der Abflussspitze)

### Bodenabtrag

Trotz der deutlich höheren maximalen Abflußspende der Fläche BF7, die einen bereits fortgeschritteneren Wiederbesiedlungsgrad aufweist, beobachtet man im Starkregenexperiment einen wesentlich geringeren Bodenabtrag. Dieser liegt mit einem Fünfminutenwert von etwa 10 kg/ha im Bereich zwischen jenen Werten, die für die Weidefläche BF4 und den Waldstandort BF1 gemessen wurden. Der Wert von etwa 2 kg · ha<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> stellt, verglichen mit der benachbarten Fläche BF6, eine Reduktion des Bodenabtrags um zwei Zehnerpotenzen dar (vgl. Abb. 6.2). Die abtragsmindernde Funktion der Moosschicht kommt in diesem Falle besonders deutlich zur Geltung.

Tab.5.1

Tabellarische Auflistung der wichtigsten bodenphysikalischen Kennwerte der Versuchsflächen Großsölk (August - September 2000)

<b>Organische Substanz [Gew.%]</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5		31,37	31,56	27,65	23,26	15,52	1,06	2,3
5-10		23,29	12,09	8,69	19,78	12,65		0,6
10-20		12,27	3,89	8,76	12,09	4,95		
<b>Lagerungsdichte [g/cm<sup>3</sup>]</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5		0,34	0,41	0,44	0,32	0,69	1,83	1,44
5-10		0,54	1,04	0,75	0,63	0,71		
10-20		0,8						
<b>Feststoffdichte [g/cm<sup>3</sup>]</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5		2,01	2,06	2,07	2,2	2,39	2,72	2,64
5-10		2,15	2,42	2,54	2,26	2,39		2,72
10-20		2,51	2,66	2,57	2,44	2,64		
<b>Gesamtporenvolumen [Vol.%]</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5		82,91	79,83	78,72	85,29	71,26	31,65	45,59
5-10		74,75	57,13	70,41	72,33	70,56		
10-20		67,98						
<b>Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5		774	1879	135	171	506	231	1326
5-10		236	47	31	28	191		
10-20		596						
<b>Korngrößenverteilung [Gew.%]</b>								
Anteil [%]	TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
Sand		56,2	67,1	30,5	59,2	72,5	74,9	74,4
Schluff	0-5	39,7	30,8	64,0	37,7	25,3	22,9	23,3
Ton		4,1	2,1	5,5	3,1	2,2	2,2	2,3
Sand		71,5	68,2	71,5	63,8	61,7		62,1
Schluff	5-10	26,9	27,6	25,9	34,3	35,2		32,7
Ton		1,6	4,2	2,6	1,9	3,1		5,2
Sand		91,0	79,0	77,0	68,2	81,8		
Schluff	10-20	8,5	18,5	19,9	29,6	17,2		
Ton		0,5	2,5	3,1	2,2	1,0		
<b>Bodenart</b>								
TS		BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-10		u S	u S	sU	u S	S	S	S
10-20		S	S	S	u S	u S		IS
20-40		S	S	S	S	S		

## 5. Bodenphysikalische Charakteristika der Versuchsfelder

Eine tabellarische Auflistung der wichtigsten bodenphysikalischen Kennwerte findet sich in Tabelle 5.1.

### 5.1 Korngrößenverteilung

Wie aus Abb. 5.1 ersichtlich, streuen die Tongehalte der beobachteten Standorte nur in einem geringen Bereich. Die Böden sind vorwiegend sandig bis schluffig-sandig, mit stark wechselndem Skelettanteil. Die Schluffgehalte streuen beträchtlich, zwischen 17 und 40 Prozent. Abweichend davon findet sich in BF1 eine Sandschicht in 10 bis 20 cm Bodentiefe, sowie eine sehr schluffreiche Probe im obersten Bodenhorizont des Profils BF3.

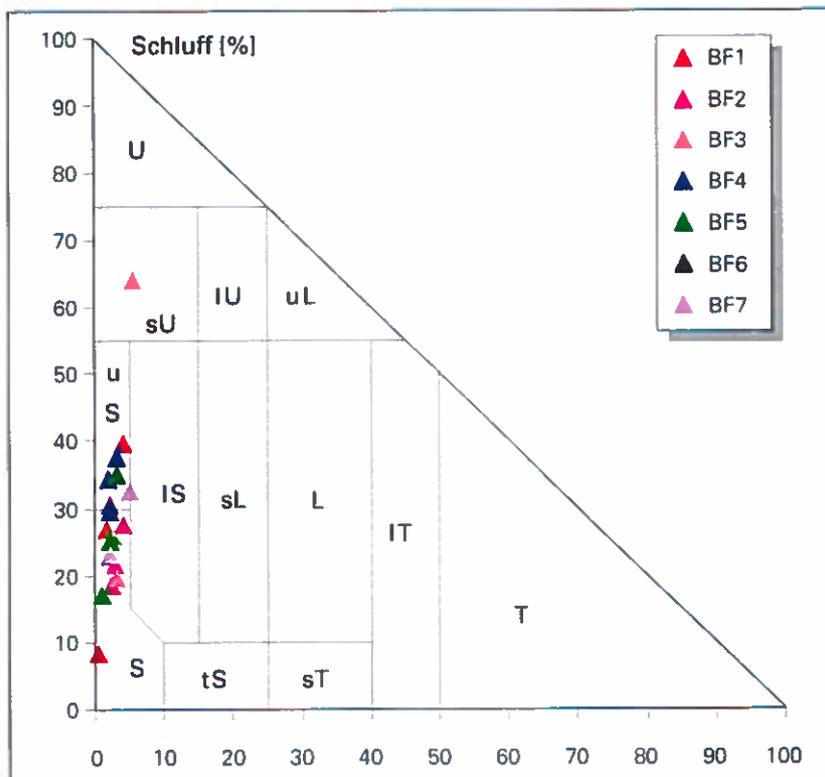


Abb. 5.1: Bodenart an den untersuchten Standorten (östr. Texturdreieck)

### 5.2 Lagerungsdichte (Abb. 5.2)

Die Lagerungsdichte drückt das Verhältnis der Masse der getrockneten Festsubstanz zum gesamten Volumen des Bodens, einschließlich der mit Luft gefüllten Poren aus (HILLEL 1971).

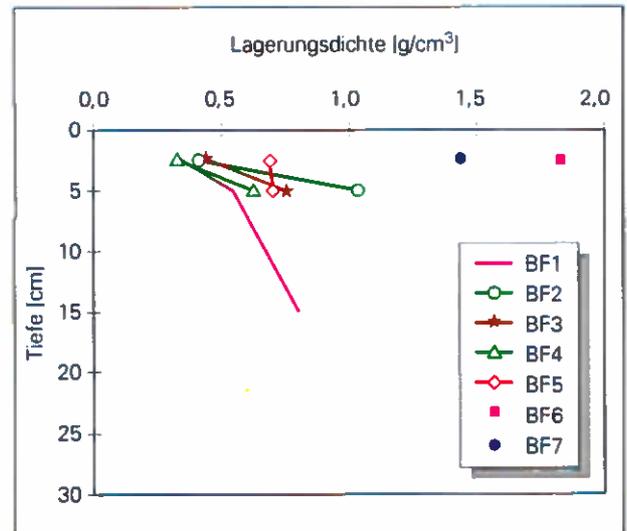


Abb. 5.2: Lagerungsdichte in den obersten Tiefenstufen der Böden der 7 Versuchsfelder

Nach der gängigen Einteilung von KUNTZE et al. (1994, vgl. Tab. 5.2) sind Werte der Lagerungsdichte unter  $1,20 \text{ g/cm}^3$  als sehr gering zu bezeichnen. Bei der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Standorte haben wir es mit solchen Böden zu tun. Mit der Bodentiefe nimmt die Lagerungsdichte aufgrund abnehmender Bioturbation und organischer Substanz zu. Allerdings geht aus Abbildung 5.2 deutlich hervor, daß die beiden berechneten Flächen im Bereich der geschütteten Straßenböschung (BF6 und BF7) im Oberboden wesentlich höhere Werte der Lagerungsdichte aufweisen. Während die wenig stabilisierte Fläche BF6 bezüglich der Lagerungsdichte noch im hohen Bereich liegt, ist der entsprechende Wert der Fläche BF7, die einen bereits fortgeschrittenen Wiederbesiedlungsgrad aufweist, als mittel bzw. gering einzustufen ( $1,44 \text{ g/cm}^3$ ).

### 5.3 Porenvolumen (Abb. 5.3)

Das Gesamtporenvolumen (GPV) wird, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, aus dem Verhältnis von Lagerungsdichte und Feststoffdichte berechnet. Humus- und Tongehalt beeinflussen wegen der

Tab.5.2:  
Einteilung der Lagerungsdichte nach KUNTZE et al. (1994)

Bezeichnung	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Beispiele
sehr gering	< 1,20	sehr sperrig/lose gelagerter, humusreicher, gekrümmelter Boden
gering	1,20 – 1,40	sperrig/lose gelagerte Feinpolyeder, -prismen
mittel	1,40 – 1,75	offene/lose gelagerte Prismen, Polyeder
hoch	1,75 – 1,95	geschlossen/mittel – fest gelagerte Grobpolyeder, -prismen
sehr hoch	> 1,95	geschlossen/mittel – sehr fest gelagerte Grobprismen, kohaerent

besonders von diesen Bestandteilen abhängigen Gefügebildung das Porenvolumen am stärksten. Nach KUNTZE (1994) werden selbst in extrem verdichteten Böden selten Porenvolumina < 30 % festgestellt. Meist haben Mineralböden zwischen 40 und 50 %, Moorböden sogar 85 bis 97 % Porenvolumen. Eine relative Verdichtung liegt nach KUNTZE bereits vor, wenn der umgebende Profilbereich eine Abweichung im Porenvolumen von 3 % aufweist.

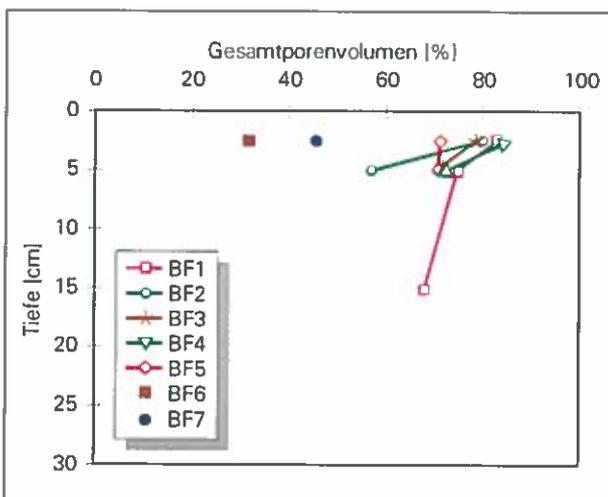


Abb.5.3:  
Gesamtporenvolumen in den obersten Tiefenstufen der Böden der 7 Versuchsflächen

In der gegenständlichen Untersuchung zeigen sich Wald- und Weidestandorte in der obersten Tiefenstufe mit sehr hohen Gesamtporenvolumina ausgestattet (70 – 85 %).

Die Reduktion des Porenraumes in der Tiefenstufe 5 – 10 cm kann, wie viele vergleichbare Untersuchungen belegen (MARKART und KOHL 1995, MARKART et al. 1996, 1997) auch hier auf den Weideeinfluß zurückgeführt werden. Die extrem starke Verringerung im Bereich der Waldfläche BF2 ist

jedoch als Ausreißer zu betrachten und kann nicht in dieser Hinsicht interpretiert werden. Aufgrund der Steilheit des Geländes wird diese Fläche vom Weidevieh gänzlich gemieden. Das Porenvolumen konnte hier nur anhand einer einzigen Zylinderprobe ermittelt werden, im Normalfall sind zumindest fünf Vergleichsproben zur Berechnung eines Mittelwertes heranzuziehen. Der extrem hohe Anteil an Grobskelett dieser Bodenschicht verhinderte eine weitere Probenwerbung (vgl. Abb.4.2.1). Auch in jener einzelnen Zylinderprobe dürfte sich viel Skelett befunden haben, daher der im Vergleich zu den anderen Standorten hohe Wert der Lagerungsdichte bzw. relativ geringe Porenraum. Den geringsten Porenraum weist das Rohbodenprofil BF6 auf (30 % GPV), die benachbarte Fläche BF7 ist bereits deutlich aufgelockert mit einem Porenvolumen von 45 %.

#### 5.4 Organische Substanz (Abb.5.4)

Zur organischen Substanz im Boden gehören alle im Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren organische Umwandlungsprodukte (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1992). Die Angabe erfolgt als Gehalt an organischer Substanz in Gewichtsprozent humoser Trockenmasse bezogen auf die Gesamtbodenmasse.

Nach KUNTZE et al. (1994) besteht die organische Substanz in Mineralböden im Mittel aus 85 % toter organischer Substanz (= Humus), 10 % Pflanzenwurzeln und 5 % Edaphon (Bodenflora und -fauna). Die gemessenen Glühverluste lassen sich in Anlehnung an die Bewertung der Humusgehalte nach SCHLICHTING und BLUME (1995) interpretieren (vgl. Tab. 5.4). Vom Kollektiv der berechneten Versuchsflächen heben sich BF6 und BF7, die geschütteten Rohböden der Straßenböschung mit ihrem geringen Gehalt an organischer Substanz deutlich ab. Sie sind als schwach humos bis sehr schwach humos anzusehen.

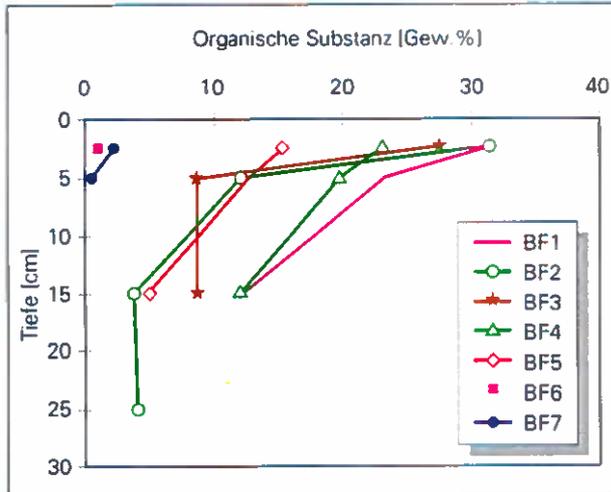


Abb.5.4:  
Gehalt an organischer Substanz in den obersten Tiefenstufen der Böden der 7 Versuchsfächen

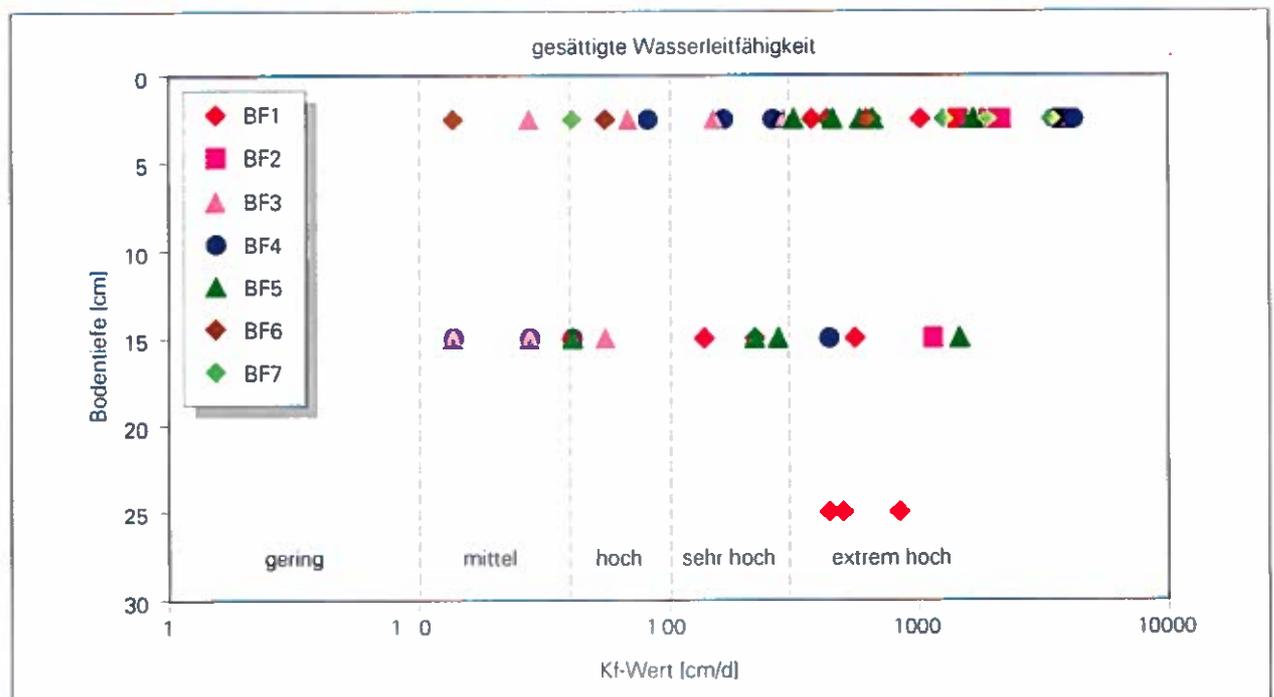
Tab.5.4:  
Bewertung der Humusgehalte nach SCHLICHTING und BLUME (1995)

% Humus	Bezeichnung
< 1	stellenweise humos bzw. sehr schwach humos
1-2	schwach humos
2-4	mittel humos
4-8	stark humos
8-15	sehr stark humos
15-30	extrem humos
> 30	organische Lagen

### 5.5 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (Kf-Werte, Abb.5.4)

Die hydraulische Wasserleitfähigkeit ist von der Anzahl, der Größe und der Form der wasserleitenden Poren (= leitender Querschnitt) abhängig (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1992, KUNTZE et al. 1994). Zwar herrschen in der Natur nur selten gesättigte Bedingungen vor, zudem ist die im Labor bestimmte gesättigte Leitfähigkeit von der Länge und dem Querschnitt der untersuchten Stechprobenzylinder abhängig (HARTGE 1961, 1963, 1964; HARTGE und HORN 1991), insbesondere weil im Gelände im gewachsenen Boden blind endende Poren häufig bei der Entnahme von Stechzylindern für den Wasserdurchtritt geöffnet werden (HARTGE 1963). Im Labor gemessene  $K_f$ -Werte stellen aber dennoch ein einfaches Mittel zur Bestimmung von Relativwerten der raschen Wasserbewegung dar, die angeführten Einschränkungen sind jedoch bei der Anwendung der Laborergebnisse in der Praxis zu berücksichtigen. Die Einteilung der Meßergebnisse erfolgt nach KUNTZE et al. (1994) bzw. nach HARTGE und BALLY (1967), deren Skala eine differenziertere Einteilung stark leitfähiger Böden ermöglicht (vgl. Tab 5.5). Aus Gründen der Praxishöhe werden die  $K_f$ -Werte im folgenden nicht gemäß ÖN in m/sec sondern in cm/d angegeben.

Abb. 5.5:  
Gesättigte Wasserleitfähigkeit in den obersten Tiefenstufen der Böden der 7 Versuchsfächen



In Abb. 5.5 ist die an Stechzylinderproben ermittelte gesättigte Wasserleitfähigkeit für die Berechnungsflächen dargestellt.

Die Böden aller untersuchten Standorte sind nach der Einteilung von KUNTZE et al. (1994) größtenteils als stark bis extrem stark leitfähig zu bezeichnen und liegen nach HARTGE und BALLY (1967) im stark bis sehr stark leitfähigen Bereich (vgl. Abb. 5.5 und Tab 5.5). Hiervon weichen die beweideten Standorte BF3 und BF4 ab, die im Bereich der Tiefenstufe 10-20 cm die geringsten Dränleistungen aller Flächen aufweisen. Mit Werten zwischen 10 und 40 Zentimeter pro Tag sind jedoch auch die Standorte BF3 und BF4 als mittel leitfähig einzustufen. Der Oberboden des Rohbodenstandorts BF6 weist nur mittlere  $K_f$  Werte auf. Gerade an diesem Standort war die Werbung von Zylinderproben in ungestörtem Zustand auf Grund des hohen Skelettanteils enorm schwierig. Störungen in der Lagerung des Skeletts können hier neue Fließwege eröffnen und im Labor zu erhöhten Meßwerten führen. Eine Beprobung in tieferen Schichten war aus diesen Gründen nicht möglich.

Die Waldfläche BF1 zeigt eine oftmals beobachtete Depression der Leitfähigkeit in 10 – 20 cm Tiefe, der ein Anstieg in tieferliegenden Schichten folgt, der sogenannte „Flaschenhals - Effekt“ (MARKART et al. 1996). Diese Reduktion ist, wie beispielsweise auch hier am Waldstandort auf den Weidegang zurückzuführen. Auf den Weidestandorten sind demzufolge in 20 – 30 cm Tiefe wieder hohe bis sehr hohe  $K_f$  Werte zu erwarten.

### 5.6 Aggregatstabilität (SAS, Tab.5.6)

Die Aggregatstabilität (SAS), an luftgetrockneten Bodenaggregaten (1 - 2 mm Ø) der Böden bestimmt, liegt durchwegs bei etwa 90%. Der Stabilitätsgrad der

Aggregate ist daher als sehr hoch zu bewerten. Hohe Stabilität weisen Aggregate der Flächen BF1 und BF7 in 0 bis 5 cm Tiefe auf. An letzterer Fläche sinkt die Aggregatstabilität zur nächsten Tiefenstufe beträchtlich ab. Die Stabilität der Aggregate der Rohbodenfläche BF6 ist bereits im obersten Bodenbereich als gering zu bewerten.

Tab.5.6:  
Aggregatstabilität (SAS) nach KANDELER et al. (1993)

Anteil stabiler Aggregate [%]							
TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	73,25	87,71	91,87	88,21	93,40	26,29	75,22
5-10	85,68	92,47	96,95	91,65	93,58		15,26

## 6. Ergebnisse der Bodenabtragsmessungen

Beurteilt man die Erodierbarkeit (k-Faktor) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit (nach SCHLICHTING und BLUME 1995), so ist die Erodierbarkeit als sehr niedrig bzw. niedrig anzusehen (vgl. Abb.6.1). Lediglich BF7 zeigt sich in 5 – 10 cm Tiefe als mäßig hoch bis hoch erodierbar, darüber jedoch ist der k-Faktor wiederum sehr niedrig. Im Vergleich weist BF6 in der obersten Tiefenstufe mit knapp unter 0,2 den höchsten Erodierbarkeitsfaktor auf, dieser ist jedoch nach der oben erwähnten Einteilung als niedrig einzustufen. Unter 5 cm Tiefe war eine ungestörte Beprobung dieses Standortes nicht möglich, ein Anstieg der Erodierbarkeit ähnlich der benachbarten Berechnungsfläche BF7 ist jedoch auch hier zu erwarten.

Sandige Textur, höhere Gehalte an organischer Substanz, die hohe Aggregatstabilität und die hohen

Tab.5.5:  
Einteilung der gesättigten Wasserleitfähigkeit nach HARTGE und BAILLY (1967) bzw. Klassifizierung der Durchlässigkeit der Böden des Untersuchungsgebietes nach KUNTZE et al. (1994).

HARTGE und BAILLY 1967			KUNTZE et al. 1994	
Bezeichnung	$K_f$ -Wert (m/sec)	$K_f$ -Wert (cm/d)	$K_f$ -Wert (cm/d)	Bezeichnung
extrem stark	> 9,9 *E-02	> 8640		
sehr stark	1,0 - 9,9 *E-02	864 - 8640	> 300	extrem hoch
stark	1,0 - 9,9 *E-03	86,4 - 864	100 - 300	sehr hoch
mittel	1,0 - 9,9 *E-04	8,64 - 86,4	40 - 100	hoch
schwach	1,0 - 9,9 *E-05	0,86 - 8,64	10 - 40	mittel
sehr schwach	1,0 - 9,9 *E-06	0,08 - 0,86	1 - 10	gering
extrem schwach	< 1,0 *E-06	< 0,08	< 1	sehr gering

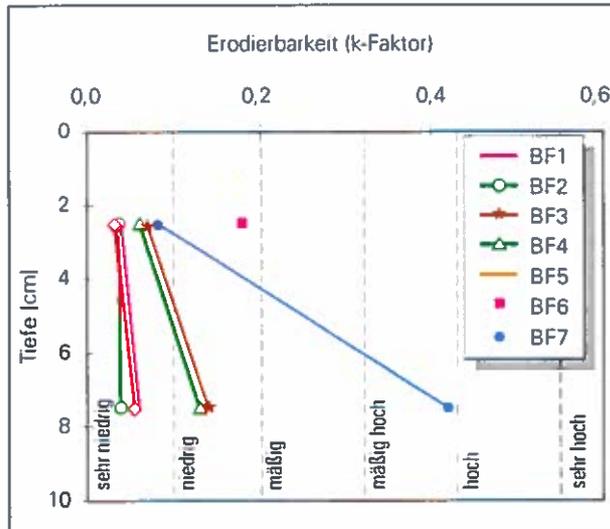


Abb. 6.1: Erodierbarkeit (k-Faktor) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit (nach SCHLICHTING und BLUME 1995)

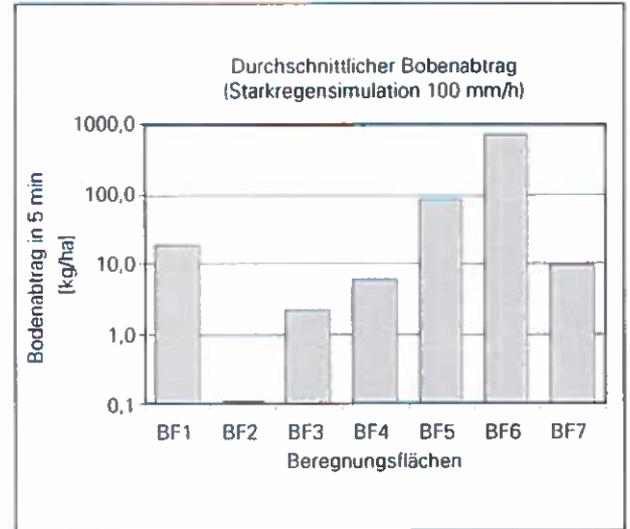


Abb. 6.3: Durchschnittlicher Bodenabtrag bezogen auf 5 Minuten Intervalle

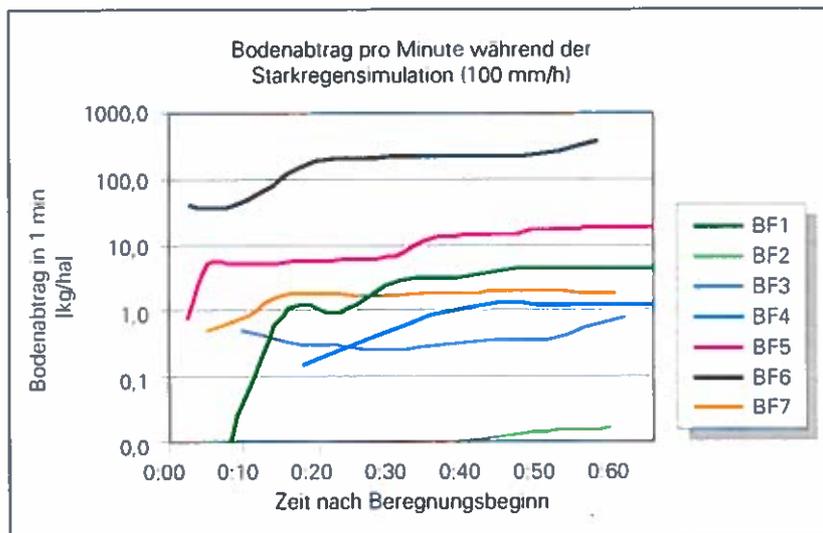


Abb. 6.2: Zeitlicher Verlauf des minutlichen Bodenabtrags während der Starkregensimulation

$K_f$ -Werte bieten an und für sich gute Voraussetzungen für geringe Erodierbarkeit (vgl. Abb. 5.1, 5.4, 5.5).

Die in den Beregnungsexperiment ermittelten Abtragsfrachten werden jedoch von den anhand von Labordaten bestimmten k-Faktoren nicht bzw. nur eingeschränkt bestätigt. In Abbildung 6.2 ist der zeitliche Verlauf des Bodenabtrags während der Niederschlagsimulation dargestellt. Abbildung 6.3 gibt den durchschnittlichen Bodenabtragswert bei einem fünfminütigen Starkregen für die 7 Versuchsflächen wieder. Während BF2 auf Grund der hohen Infiltrationskapazität erwartungsgemäß einen vernachlässigbaren Abtrag liefert, ist auf den untersuchten

Weiderasen trotz der extrem hohen Abflußwerte ( $AK_{(max)} > 90\%$ ; vgl. Tab. 4.1) nur geringer Bodenabtrag festzustellen. Das durch Schneeschurf und Lawine erodierte, im schmelzenden Lawinenkegel frei werdende Abtragsmaterial bildet den Hauptbestandteil des Abtrags auf Beregnungsfläche 5. Die Abtragsrate liegt an dieser Fläche im Bereich zwischen 5 und 20 kg pro Hektar und Minute. Die teilweise offene Straßenböschung (BF6) weist die höchste Bodenerosion auf. KUNTZE et al. (1994) gibt die Schwelle der Bodenabträge, ab welcher die Erosionsgefährdung

als sehr hoch einzustufen ist, und Erosionsschutzmaßnahmen erforderlich wären, mit 30 t pro Hektar und Jahr an. Rechnerisch würden 30 fünfminütige Starkregenereignisse (100 mm/h) pro Jahr zu etwa diesem Abtrag führen, was keiner unrealistischen Vorstellung entspricht. Trotz der deutlich höheren maximalen Abflußspende der Fläche BF7, die einen bereits fortgeschrittenen Wiederbesiedlungsgrad aufweist, beobachtet man an diesem Standort im Starkregenexperiment einen wesentlich geringeren Bodenabtrag. Dieser liegt mit einem Fünfminutenwert von etwa 10 kg/ha im Bereich zwischen jenen Werten, die für die Weidefläche BF4 und den Waldstandort BF1 gemessen wurden. Der Wert von etwa

$2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  stellt, verglichen mit der benachbarten Fläche BF6, eine Reduktion des Bodenabtrags um zwei Zehnerpotenzen dar. Die abtragsmindernde Funktion der Mooschicht kommt in diesem Falle besonders deutlich zur Geltung.

## 7. Zusammenhang Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Vegetationsbedeckung

In Abbildung 7.1 sind zusammenfassend die in der Starkregensimulation ermittelten Abflußbeiwerte und die dazugehörigen Bodenabträge gegenübergestellt. Augenfällig ist die Beregnungsfläche 2, auf der ein vernachlässigbarer Oberflächenabfluß zu eben solchen Abtragsraten führt. Bei weiterer Betrachtung fallen die beiden untersuchten Weiderasen (BF3 und BF4) auf. Im Starkregenfall führt hier extrem hoher Abfluß an der Bodenoberfläche nur relativ geringe Abtragsfrachten mit sich.

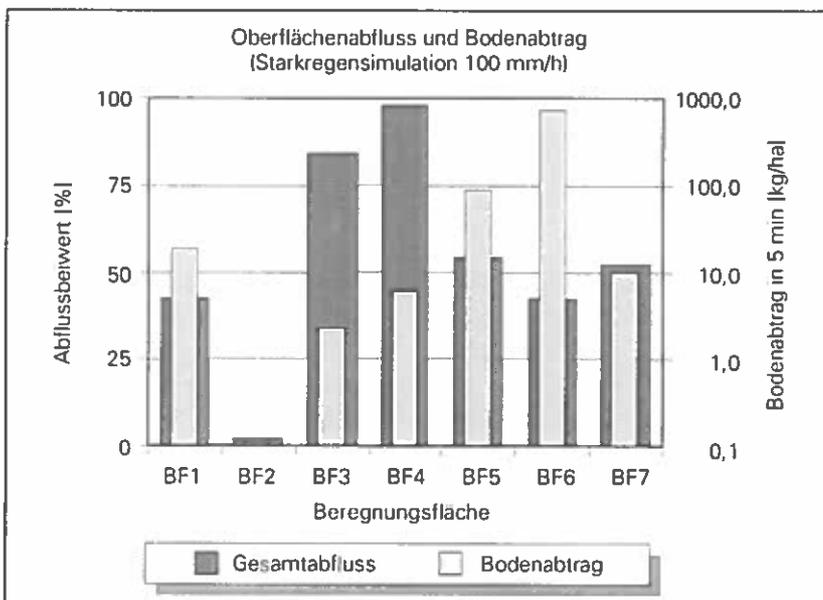


Abb. 7.1:  
Gegenüberstellung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag

Aus Tabelle 7.1 ist zu entnehmen, daß gerade diese beiden Flächen den höchsten Deckungsgrad der Bodenvegetation und somit dadurch einen sehr hohen Erosionsschutz aufweisen. Gerade das Borstgras (*Nardus stricta*) ist immer wieder durch seine dichte Wuchsform und seine Akkumulation toter Blattscheiden ein Garant für hohe Abflußbeiwerte (Strohdacheffekt, Benetzungswiderstände). Dieses

Weideunkraut bietet im Gegenzug jedoch dem Boden einen sehr hohen Stabilitätsgrad und kann ihn auf kurze Distanz vor der erosiven Kraft des Wassers schützen.

Die zwei untersuchten Waldflächen (BF1 und BF2) unterscheiden sich zwar im Deckungsgrad der Vegetation nur unwesentlich, weisen jedoch erhebliche Unterschiede im Abfluß- und Abtragsverhalten auf. Die große Differenz der Infiltrationskapazität läßt sich auf den ersten Blick auch nicht anhand der bodenphysikalischen Daten erklären, BF1 besitzt beispielsweise sogar ein höheres Gesamtporenvolumen im Oberboden. Die Analyse der Bodenfeuchtemessung während der Beregnungsexperimente (TDR-Daten) liefert eine plausible Erklärung: Bei ähnlichen Witterungsbedingungen im Vorfeld der Versuche (die Experimente wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt) liegt die Ausgangsfeuchte des Bodens an BF1 bei ca. 40 % hingegen an BF2 nur bei etwa 10 %. Während des Versuchs steigt die Bodenfeuchte beider Flächen auf einen mittleren Wert um 50 Volumsprozents an. Daraus läßt sich ableiten, daß BF1 im Vergleich zu

BF2 eine wesentlich bessere Dränporenausstattung aufweist. Etwa die Hälfte der Bodenoberfläche beider Standorte ist nicht durch eine Pflanzendecke vor Erosion geschützt. Diese Barflächen setzen sich jedoch an BF2 aus einer reinen Fichtennadel-Streuauflage zusammen, wogegen BF1 großflächig freiliegenden mineralischen Oberboden aufweist. Daraus begründet sich das deutlich höhere Erosionspotential der Waldfläche BF1. Obwohl mit vorliegender Versuchsanordnung die Wirkung des Waldes auf das Abtragsgeschehen nicht exakt nachvollziehbar ist - der Baumbestand kann nicht mit in den Beregnungsversuch einbezogen werden - sind die natürlichen und

im Wald simulierten Verhältnisse doch recht gut vergleichbar. Die Interzeption eines Fichtenwaldes im Starkregenereignis liegt bei 4 - 5 mm, 4 - 5 % der simulierten Niederschlagsintensität. Die kinetische Energie eines Starkregens wird im Bestand gebrochen und ist an der Bodenvegetation mit jener des simulierten Starkregens vergleichbar. Es ist daher anzunehmen, daß auf nicht mit Wald bestockten

Tab.7.1:  
Deckungsgrade der Vegetation und Barflächen – nicht vegetationsbedeckte Stellen an der Bodenoberfläche

Deckungsgrade der Vegetation [%]							
Schicht	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
Baumschicht	80	60	-	-	-	-	-
Strauchschicht	1	-	-	-	-	1	1
Krautschicht	40	40	95	98	40	10	50
Mooschicht	5	10	5	5	20	20	75
Gesamtdeckung	90	80	95	98	45	20	75
Barflecken	55	50	5	2	55	80	25

Flächen der Bodenabtrag eher unterschätzt wird, als daß Waldflächen überschätzt werden.

Der berechnete Lawinenkegel weist im Vergleich dazu bei fehlender Baumschicht ähnliche Deckungswerte der Vegetation auf. Die Mooschicht ist aber deutlich ausgeprägter. Es wurden an dieser Fläche eine 10 % höhere Gesamtabflußmenge registriert, der Abfluß im Gleichgewicht ist mit 57 % annähernd gleich hoch (vgl. Tab.4.1). Die deutlich höhere Abtragsrate wird jedoch am Lawinenkegel durch Sedimentabtrag aus dem abgelagerten Lawinenschnee freigesetzt.

Die geringe Vegetationsbedeckung bedingt die sehr hohe Abtragsfracht der Berechnungsfläche 6, der geschütteten Böschung eines Forstwegs. Mit fortlaufender Sukzession besiedeln mehr und mehr Pionierpflanzen, vor allem Moose derartige Standorte. Die abtragsmindernde Funktion einer solchen Mooschicht kommt in der Regensimulation am benachbarten Standort BF7 besonders deutlich zur Geltung, eine Reduktion des Bodenabtrags im Bereich zweier Zehner Potenzen war meßbar.

Aus diesen Untersuchungen kann abgeleitet werden, daß der Bodenabtrag im Gebiet Großsölk nur zu einem geringen Teil aus den Weideflächen zu erwarten ist. Im Waldbereich können Flächen mit offenem freiliegendem Mineralboden und einer Prädisposition für oberflächlichen Abfluß (anhand von Zeigerpflanzen und ihren ökologischen Zeigerzahlen erkennbar; KOHL 2000) mit den Weideflächen vergleichbare Mengen zum Gesamtabtrag des Gebietes beitragen. Ein relativ hoher Anteil an Abtragsfrachten ist jedoch auf unbegrüntem, nur spärlich bewachsenen Flächen, wie frische Straßenböschungen oder Rutschungen zu erwarten. Ebenso wird aus den Lawinenkegeln ein Großteil des in der Hochlage erodierten Materials im Starkregenfall in den Vorfluter verfrachtet.

## 8. Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur sollten Anhaltspunkte über die Abfluß- und Erosionsdisposition verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten im Einzugsgebiet Großsölk gewonnen werden. Dazu wurden im Gebiet sieben ausge-

wählte Versuchsflächen mit Hilfe einer transportablen Großregenanlage beregnet, alle wichtigen bodenphysikalischen Parameter untersucht und die Flächen vegetationskundlich aufgenommen.

Das Untersuchungsareal liegt im Kristallin des Mittelostalpin. Es dominieren Braunerden bis pseudovergleyte Braunerden, die durch eine sandige bis schluffig-sandige Textur gekennzeichnet sind. Die Lagerungsdichte der humusreichen Böden ist sehr gering bis gering, wobei die Rohböden der untersuchten Straßenböschung mit einem sehr geringen Gehalt an organischer Substanz von 1 bis 2 % die höchsten Werte der Lagerungsdichte aufweisen. Die Aggregatstabilität (SAS) liegt durchwegs im Bereich von etwa 90 %. Der Stabilitätsgrad der Aggregate ist daher im allgemeinen als sehr hoch zu bewerten. Hohe Stabilität weisen Aggregate der Flächen BF1 und BF7 in 0 bis 5 cm Tiefe auf (SAS ~ 75 %). An letzterer Fläche sinkt die Aggregatstabilität zur nächsten Tiefenstufe beträchtlich ab. Die Stabilität der Aggregate der Rohbodenfläche BF6 ist bereits im obersten Bodenbereich als gering zu bewerten. Auch den Ergebnissen der  $K_f$ -Wert-Bestimmung zufolge ist der Großteil der Böden gut strukturiert. Die Wasserdurchlässigkeit der untersuchten Proben variiert in Anlehnung an die Einteilung von HARTGE und BAILLY (1967) zwischen extrem stark bis schwach, mit einem Durchschnitt im Bereich starker Permeabilität ( $770 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Beurteilt man die Erodierbarkeit ( $k$ -Faktor) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit, so ist der größte Teil der Proben als sehr niedrig bzw. niedrig erodierbar anzusehen. Die in den Beregnungsexperiment ermittelten Abtragsfrachten werden jedoch von den  $k$ -Faktoren nicht bzw. nur eingeschränkt bestätigt.

Die höchsten Oberflächenabflüsse wurden an den Weidestandorten gemessen. Die Ausbildung einer

Weidestausohle in Kombination mit dem Strohdacheffekt bzw. der benetzungshemmenden Wirkung des Borstgrases ist für die sehr hohen Abflüsse dieser Standorte verantwortlich. Waldstandorte auf lockerer Braunerde liefern nur vernachlässigbar geringen Abfluß. Es wurde jedoch auch unter Wald hoher Oberflächenabfluß gemessen. Pseudovergleitung des Bodens sowie feuchteliebende Pflanzenarten, meist mit hohem Anteil offenem freiliegendem Mineralboden zeigt die Prädisposition solcher Waldstandorte für oberflächlichen Abfluß an. Offene Systeme, z.B. Straßenböschungen, Blaiken oder Lawinenkegel liegen in einer ähnlichen Abflußklasse (ca. 50 % Abfluß).

Wald- wie auch Weidestandorte lieferten im Beregnungsexperiment Abtragsfrachten kleiner als 10 kg pro Hektar und Minute. Trotz des hohen Oberflächenabflusses erodiert auf den Weideflächen im Starkregenfall weniger Material als am schlechteren Waldstandort. Als sehr kritisch bezüglich des Bodenabtrags sind offene Systeme zu betrachten. Aus Lawinenkegeln wird durch Starkregenereignisse sehr viel Erosionsmaterial freigesetzt. Die Erosionsgefährdung auf Straßenböschungen oder Blaiken aus Rutschungen oder Anbrüchen ist als sehr hoch einzustufen. Als wesentlicher Erosionsschutz kann die Vegetationsbedeckung angesehen werden. Ein hoher Deckungsgrad der Vegetation, vor allem der Mooschicht wirkt auf offenen Systemen stabilisierend und führt zu einer wesentlichen Reduktion des Bodenabtrags.

## 9. Literatur

- BIERINGER, B. (1984): *Der Wald im Naturpark, in: Führer durch den heimischen Wald - Die Bedeutung des Waldes im Naturpark Sölktales, Gröbming.*
- BLUM, W.E.H., H. SPIEGEL, und W.W. WENZEL (1989): *Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung, Arbeitskreis Bodenzustandsinventur der ÖBG, ed.: Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft; pp 1 - 47.*
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): „*Pflanzensoziologie*“, Springer - Verlag, Wien, New York, 3. Auflage; 865 S.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. und D. PAULISSEN (1991): „*Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*.“ Scripta Geobotanica, Verlag Erich Goltze KG, Göttingen, Vol. 18; 248 S.
- FISCHER M.A., ADLER W. und OSWALD K. (1994): *Exkursionsflora von Österreich*, Ulmer - Verlag, Stuttgart; 1180 Seiten.
- FRAHM, J.P. und W. FREY (1992): *Moosflora*, Ulmer - Verlag, Stuttgart, 3. Auflage; 528 S.
- HARTGE, K.H. und E. BAILLY (1967): *Beziehungen zwischen Staunissemerkmalen, Wasserleitfähigkeit und Porenkontinuität in Löß-Parabraunerden im südlichen Niedersachsen*, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 116: 10-24.
- HARTGE, K.H., 1961: *Die Erfassung der Kontinuität der groben Poren aus ihrem Anteil im Boden und dem Permeabilitätskoeffizienten*, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 94: 147-154.
- HARTGE, K.H., 1963: *Bodenkundliche Auswertungsmöglichkeiten der Permeabilitätswerte bei Messung an Stechzylinderproben*, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 103:197-209.
- 1964: *Volumen und Größenverteilung der Hohlräume in Braunerden und Podsolon aus Sand*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 106: 1-12.
- HERRMANN, A. und M. KUHN (1990): *Schnee und Eis*. In: BAUMGARTNER, A. und H.J. LIEBSCHER (Hsg.): *Lehrbuch der Hydrologie, Bd.1, Allgemeine Hydrologie - Quantitative Hydrologie*, Berlin, Stuttgart, 271 - 312.
- HERRMANN, A., J. KOLL, C. LEIBUNDGUT, P. MALOSZEWSKI, R. RAU, W. RAUERT, M. SCHONIGER und W. STICHL (1989): *Wasserrumsatz in einem kleinen Einzugsgebiet im paläozoischen Mittelgebirge (Lange Branke, Oberharz)*. Landschaftsökologie und Umweltforschung 17, Braunschweig.
- HILLEL, D., 1971: *Soil and water: Physical principles and processes*. Academic press, New York.
- JURY, W.A., W.R. GARDNER and W.H. GARDNER (1991): *Soil Physics*, Fifth edition, John Wiley & Sons, New York.
- KEMPER, W.D. and E.J. KOCH, 1966: *Aggregate stability of soils from western portions of the United States and Canada*, U.S. Dep. Agric. Techn. Bull., 1355.
- KOHL B. (2000): *Vegetation als Indikator für die Abflußbildung*. Beitrag Symposium Interpraevent; Villach, Juni 2000, Tagungspublikation, 2: 41-51.
- KOHL B., M. FUCHS, G. MARKART and G. PATZELT (2000): *Heavy rain on snow cover*. Annals of Glaciology 32:10-07.
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN und G. SCHWERDTFEGER (1994): *Bodenkunde*, 5. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- LANDOLT, E. (1977): „*Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*.“ Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Stiftung Rübel, Zürich, 64; 208 S.
- MARKART, G. und B. KOHL (1995): *Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten, Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach in Salzburg*, Berichte der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 89.
- MARKART, G., B. KOHL und P. ZANETTI (1996a): *Einfluß von Bewirtschaftung, Vegetation und Boden auf das Abflußverhalten von Wildbucheinzugsgebieten - Ergebnisse von Abflußmessungen in ausgewählten Teileinzugsgebieten des Finsingtales (Zillertal/Tirol)*; Beitrag Symposium Interpraevent; Garmisch Partenkirchen, Juni 1996, Tagungsband 1, 135 - 144.

- MARKART, G., B. KOHL, K. KOHL und P. ZANETTI (1996b): *Integrationsmelioration „Vorderes Zillertal“ - Einfluß von Boden, Vegetation und rezenter Bewirtschaftung auf den Abfluß bei Starkregen*. Unveröffentlichter Bericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien.
- MARKART, G., B. KOHL und P. ZANETTI (1997): *Oberflächenabfluß bei Starkregen - Abflußbildung auf Wald-, Weide- und Feuchtflächen (am Beispiel des oberen Einzugsgebietes der Schesa - Bürserberg, Vorarlberg)*; Cblt. ges. Forstw., 112. Jg., Heft 2/3.
- MURER, E.J., A. BAUMGARTEN, G. EDER, M.H. GERZABEK, E. KANDELER und W. RAMPAZZO, 1993: *An improving sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS)*, Geoderma, 56: 539-547.
- NEWESELY CH., TASSER E., SPADINGER P. und A. CERNUSCA (2000): *Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems, Basic and Applied Ecology*, Urban & Fischer Verlag, 1(2000): 61-67
- SCHEFFER, F und P. SCHACHTSCHABEL, 1992: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 13. durchgesehene Aufl. von P. SCHACHTSCHABEL, H.P. BLUME, G. BRÜMMER, K.H. HARTGE und U. SCHWERTMANN-Enke, Stuttgart.
- SCHLICHTING, E. und H.P. BLUME (1966): *Bodenkundliches Praktikum*, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- 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.
- WESTHOFF, V. und E. van der MAAREL (1973): *The Braun-Blanquet approach*, in: R.H. WHITTAKER (ed), *Ordination and classification of communities*. Handbook of Vegetation Science 5: 617-726.

## 10. Dank

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten hatten niemals von den Autoren alleine bewältigt werden können.

Die Berechnungen und Laboruntersuchungen konnten im Rahmen des Projektes 8.13 der Forstlichen Bundesversuchsanstalt durchgeführt werden. Der Aufwand an Reisekosten, Nächtigungskosten und Tagesdiäten wurde dankenswerter Weise vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur im Rahmen eines EU-Forschungsprojekts zum Thema „Water resources management in a changing environment: the impact of sediment on sustainability WARMICE“, übernommen. Für den unbürokratischen Projektablauf und die gute Zusammenarbeit sorgten o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans Peter Nachtnebel, Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Michael Habersack und Dipl.-Ing. Josef Schneider.

Ein ganz besonderer Dank gilt der tatkräftigen Unterstützung von H. Badura, B. Gamerith, G. Koboltschnig und P. Santner ohne deren aufopfernden Einsatz die Durchführung und der plangemäße Abschluß der Feldarbeiten nicht möglich gewesen wäre.

Wir sagen allen herzlich „Danke“ für die gewährte Hilfe.

Innsbruck, im März 2001

Die Autoren

Verfasser: Mag. Bernhard Kohl  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Rennweg 1 - Hofburg  
 A-6020 Innsbruck  
 E-mail: bernhard.kohl@uibk.ac.at

Dr. Gerhard Markart  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Rennweg 1 - Hofburg  
 A-6020 Innsbruck  
 E-mail: gerhard.markart@uibk.ac.at

Wolfgang Bauer  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Rennweg 1 - Hofburg  
 A-6020 Innsbruck  
 E-mail: gw.bauer@uibk.ac.at

## Vergleich zweier Großregenanlagen zur Abschätzung des Abfluss- und Infiltrationsverhalten von unterschiedlichen Boden-/Vegetationskomplexen

B. KOHL<sup>1)</sup>, G. MARKART<sup>1)</sup>, TH. SCHAUER<sup>2)</sup>, M. PORZELT<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald

<sup>2)</sup>Abteilung Gewässerentwicklung, Wasserbau, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

**Kurzfassung.** Zum Vergleich der Beregnungsanlagen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) und des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (BFW) wurden im Bereich Enningalm bei Garmisch-Partenkirchen (Plattenkalk, Aptychenkalke) und im Flysch bei Unterammergau (Schleifmühl – Kuhalm) an neun Versuchsflächen Beregnungsexperimente durchgeführt.

Im Prinzip zeigt sich eine gute Vergleichbarkeit der mit den beiden Anlagen erzielten Messwerte, wobei die vom LfW erzielten Werte durchwegs unter denen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung der BFW liegen. Abweichungen wurden primär auf übersteilten Grabeneinhängen und Standorten mit hoher Energie des Kleinreliefs beobachtet.

Basierend auf den Werten aus den beiden angeführten Versuchsgebieten und Resultaten weiterer Vergleichsberegnungen (Silikatische Grundlage) werden die in der Datenbank der BFW gespeicherten Resultate von Beregnungen (> 400 des LfW, > 250 des BFW) überprüft und extreme Abweichungen korrigiert.

**Schlüsselworte:** Beregnungsversuch, Großregenanlage, Abfluss, Infiltration

**Abstract.** [Comparison between two Sprinkling Irrigation Installations for estimation of runoff infiltration characteristics of different soil/vegetation units.] Rain simulation experiments were enforced on nine locations to the comparison of two spray irrigation installations for large plots, one of the LfW and a second of the AIATR/BFW. The locations were Garmisch-Partenkirchen (Plattenkalk, Aptychenkalke) and Unterammergau, Schleifmühl/Kuhalm (Flysch).

In the principle, a good comparability of the achieved measurements appears. However the measurements achieved by the LfW are all lower than those of the BFW. Higher deviations were observed primarily on grave hillsides and locations with high energy of the relief.

Based on the measurements from the two quoted experimental sites and results of further comparisons (Silicate) the rain simulation data in the data base of the BFW (more than 400 experiments of the LfW, and more than 250 of the BFW) will be checked and extreme deviations corrected.

**Keywords:** Sprinkling irrigation, simulation of heavy rain, runoff, infiltration

### 1. Ausgangslage

Im Rahmen des Projektes „Einzugsgebiete in alpinen Regionen – Neue Planungsinstrumente für das Naturraum-Management EGAR“ wurde mehrfach angeregt zur Erfassung und Bewertung von Gefährdungsbereichen unterschiedlichen Boden/Vegetationseinheiten Abflussbeiwerte auf der Basis von Orthophotos und Luftbildern zuzuordnen.

Die Zuordnung von Abflussbeiwerten erfolgt normalerweise basierend auf folgenden Grundlagen:

- Ergebnisse von Beregnungsversuchen
- Erhebung bodenphysikalische Kennwerte
- Ausscheidung hydrologischer Vegetationseinheiten
- Übersichtskartierung der Bodenverhältnisse (Gründigkeit, Dichte, Skelett, Humusgehalt, etc.)
- Referenzdaten aus der Beregnungsdatenbank (über 250 Beregnungen des BFW, über 400 Beregnungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft)
- Feldbeobachtungen während der Außenaufnahmen (z.B. kartographische Erfassung von Art und Intensität der Nutzung, Spuren rezenter Planien, morphologische Besonderheiten, etc.)

Der Großteil dieser Informationen steht bei der Zuordnung der Abflussbeiwerte anhand von Luftbildern/Orthophotos nicht zur Verfügung. Primär ist man bei dieser Arbeit auf Vergleichsdaten aus der Berechnungsdatenbank angewiesen.

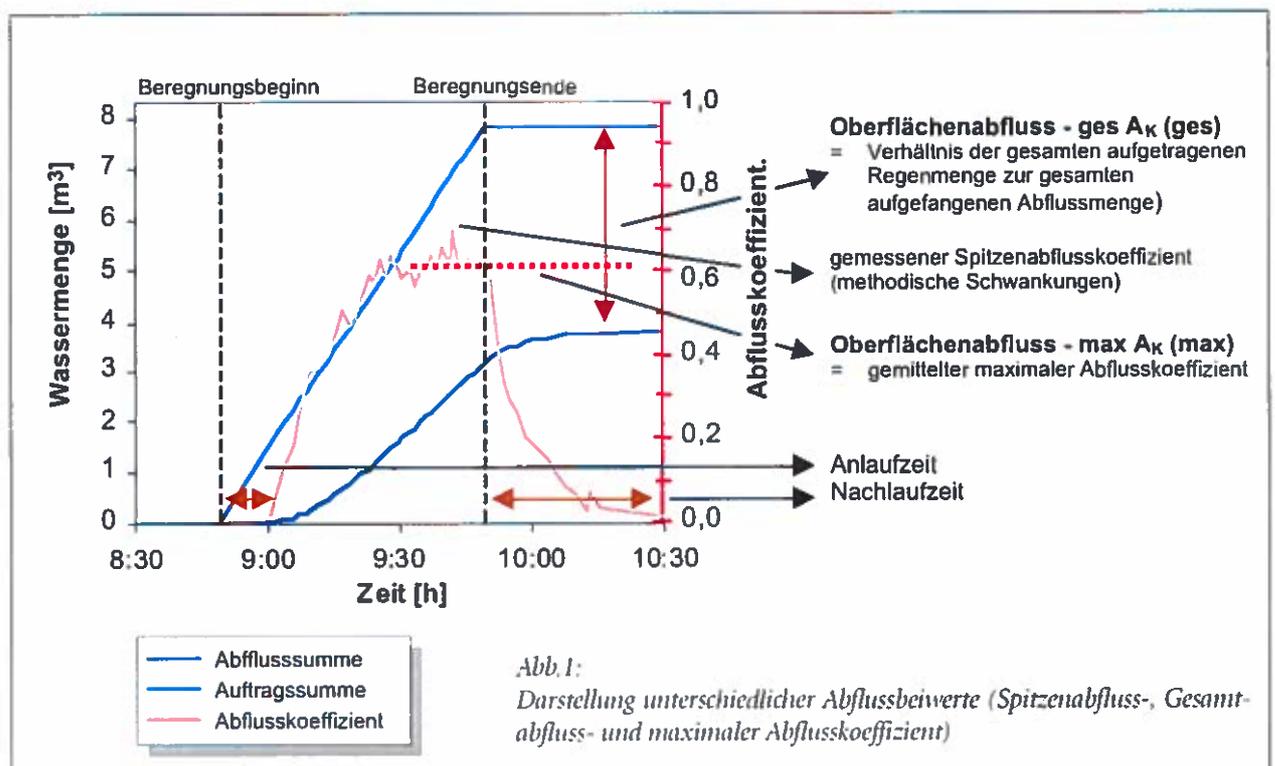
Wie jedoch die ersten Auswertungen der BFW-Berechnungsdatenbank und Nachberechnungen des BFW auf Testflächen in Meran 2000 zeigen, ergeben sich infolge unterschiedlicher Versuchsmethodik auf vergleichbaren Standorten beim LfW und dem BFW Differenzen in den Abflussbeiwerten.

Aufgrund der an und für sich schon hohen Unsicherheiten der Luftbildauswertung (keine direkt gemessenen Abflussbeiwerte aus dem Untersuchungsgebiet), war ein Abgleich der beiden Berechnungsanlagen auf den wichtigsten Boden-/Vegetationsformationen des Tirolerisch-Bayrischen Raumes zur Erstellung von Korrekturfaktoren dringend notwendig. Dadurch wird einerseits eine Objektivierung der Messmethodik ermöglicht, andererseits jedoch erst die besonders für das Projekt EGAR und eventuelle Nachfolgeprojekte elementare Anwendung der Datenbank ermöglicht (Objektivierung der Messwerte). Ohne Nützung dieser Korrekturmöglichkeit wird die Verwendung der Datenbank selbst für Spezialisten schwieriger, für zukünftige praktische Anwendungen ergeben sich beträchtliche Unschärfen in den Aussagen.

## 2. Methodischer Ansatz

Bereits seit dem Jahre 1972 ist am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft eine transportable Erosions- und Abfluss-Messanlage nach KARL und TOLDRIAN (1973) in Verwendung. An der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, am Institut für Lawinen- und Wildbachforschung in Innsbruck wurde nach dem bayerischen Vorbild 1990 damit begonnen durch Berechnungsexperimente Abflusskoeffizienten zu ermitteln. Mittels künstlichem Starkregen, bei welchem die Verdunstung vom Boden und der Vegetation annähernd gleich Null gesetzt werden kann, wird jener Teil des Niederschlages, welcher als oberirdischer Abfluss ( $A_o$ ) abrinnt, gemessen. Gegebenenfalls wird auch der Zwischenabfluss (Interflow, oberflächennaher Abfluss) quantifiziert. Als Interflow wird jener Teil des Abflusses bezeichnet, der dem Vorfluter unterirdisch mit nur geringer Verzögerung nach dem Niederschlag zufließt.

Beide Anlagen zielen darauf ab die Abflussganglinie verschiedener Boden-/Vegetationskomplexe bei definierten Starkniederschlagsereignissen zu erheben. In Abb. 1. ist eine typische Ganglinie eines Berechnungsexperiments dargestellt. Nach einer bestimmten Anlaufzeit, welche im Wesentlichen von der Vorbefeuchtung zu Beginn des Versuches



abhängig ist, steigt der Abfluss bis zum Erreichen der Abflusskonstanz an. Der  $A_K(\max)$  ist jener Wert, bei dem sich Infiltration und Abfluss im Gleichgewicht befinden, er beschreibt also einen konstanten Systemzustand. Im Unterschied dazu beinhaltet der Gesamtabflussbeiwert  $A_K(\text{ges})$ , als Verhältniszahl von Auftragsmenge zu Abflussmenge, auch die ganze Anlaufzeit, und ist somit wesentlich von den Vorbedingungen abhängig.

### 3. Bearbeitung:

Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LFW) in Absprache mit den Mitarbeitern des BFW. Die Lage der Versuchsflächen ist in Abb. 2 ersichtlich. Zum Vergleich der Beregnungsanlagen wurden im Bereich Enningalm bei Garmisch-Partenkirchen (Plattenkalk, Aptychenkalke) und im Flysch bei Unterammergau (Schleifmühl – Kühalm) die Beregnungsexperimente alternierend an neun Versuchsflächen durchgeführt. Die Abfolge, welche Anlage den Standort zuerst beaufschlagte erfolgte abwechselnd.

Bei den ausgewählten Standorten handelt es sich größtenteils um Fichtenwaldstandorte (7) mit unterschiedlichem Anteil an Hochstaudenunterwuchs, einem Standort mit Alpen-Dost-Hochstaudenflur und einer Versuchsfläche mit Pionierrasencharakter. Ein Waldstandort wies als Fichtenstangenholz nur

sehr spärlichen Unterwuchs auf. Vegetationsaufnahmen mit Deckungsgraden der unterschiedlichen Vegetationsschichten sind im Anhang in Tab. 4 aufgelistet. Auch findet sich im Anhang (Tab. 3) eine Beschreibung der wichtigsten Standortsmerkmale der Beregnungsflächen. In beiden Untersuchungsgebieten sind auf Grund der bindigen Textur der Böden vorwiegend Pseudogleye, Hangpseudogleye bzw. pseudovergleyte Braunerden anzutreffen. Die Hangneigungen der Versuchsflächen liegt zwischen 29 und 75 Prozent. Weideeinfluss war an allen Untersuchungsstandorten festzustellen, wenngleich mancherorts die Beweidung nicht rezenter Natur ist, aktuell somit kein Weidebegang stattfindet, ein Einfluss jedoch noch immer erkennbar ist.

Die wesentlichen Merkmale der beiden Beregnungsanlagen werden in Tab. 1 aufgezeigt. Eine detaillierte Beschreibung der Anlage des LFW findet man bei BUNZA et al. (1985), jene für die Anlage des BFW geben MARKART und KOHL (1995) bzw. findet sich bei MARKART (2000). In der Bauart sehr ähnlich, unterscheiden sich die Messsysteme vor allem anhand der überregneten Fläche und der Art der Auffangeinheit, in welcher der Oberflächenabfluss gesammelt wird.

Als Parzellengröße wurde für beide Anlagen ihre jeweilige Standardgröße (100 m<sup>2</sup> LFW bzw. 80 m<sup>2</sup> BFW) gewählt, obschon beide Messeinrichtung in Länge wie Breite variierbar sind. Für alle Beregnungsversuche wurde eine Intensität von 100 mm/h angestrebt und eine Niederschlagsdauer von einer Stunde gewählt. Um den Arbeitsaufwand

Tab. 1  
Merkmale der beiden verwendeten Großregenanlagen (wesentlichste Unterschiede)

Merkmale	Beregnungsanlage 1 (LFW)	Beregnungsanlage 2 (FBVA)
Messfläche (Standard)	Länge 20 m, Breite 5 m	Länge 16 m, Breite 5 m
Beregnete Fläche	Innenberegnung, wenn nötig seitliche Abschirmung mit Blechen	Beiderseitige Mitberegnung der Außenflächen
Intensitätsbereich	20 – 100 mm/h	30 – 150 mm/h
Intensitätssteuerung	über die Anzahl druckregulierter Düsen mit definiertem Ausstoß, Kontrolle über geeichten Wasserzähler (analog, bzw. analog und digital BFW)	
Dusentyp	PERROT, Halbkreisdüsen druckbegrenzt Wurfweite: 5 m bei 2,5 bar Wurfhöhe ~ 2 m	RAINBIRD, Viertel-, Halb- und Vollkreisdüsen druckbegrenzt Wurfweite: 4,9 m bei 2,1 bar Wurfhöhe ~ 1 m
Rohrsystem	Stahlrohre mit Kardangelen-Kupplungen und Stützfüßen, nach oben offene U-Form	PVC-Rohre (2") mit Schraubkupplung, nach unten offene U-Form
Auffangeinheit	Spatenbleche leiten das Wasser in in den Boden eingesenkte Blechtrichter, Fließweg unberegnet ca. 1 m	Bodenschlitz unmittelbar an der Beregnungsunterkante, Ausleitfolie 10 cm unter der Bodenoberfläche
Abflussmessung	Ablesung an kalibrierten 300 l Auffangbehältern	Ablesung an kalibrierten 500 l Auffangbehältern

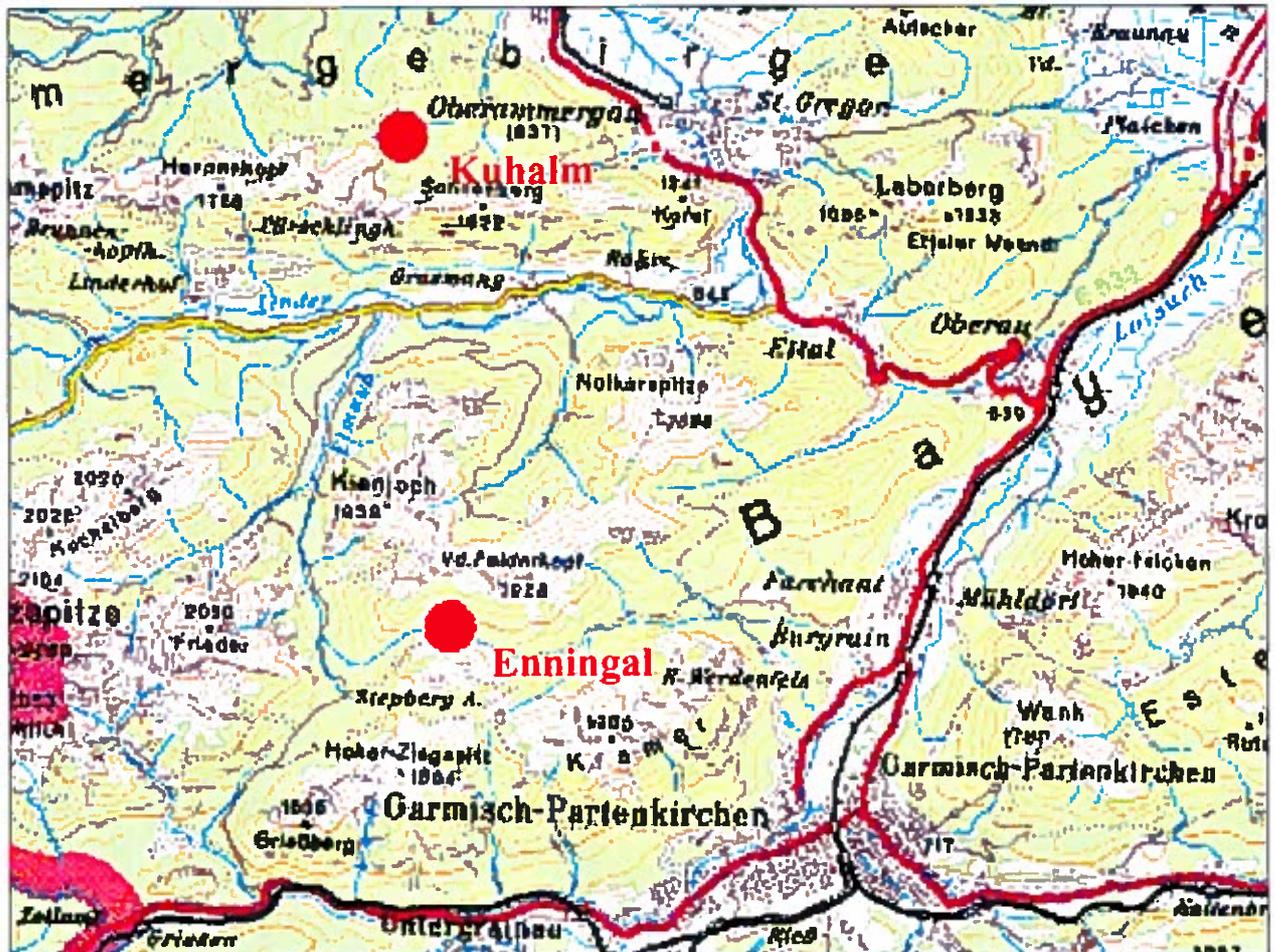


Abb.2

Lage der Beregnungsflächen: Bereich Enningalm bei Garmisch-Partenkirchen (Plattenkalk, Aptychenkalke) und im Fylsch bei Unterammerrgau (Schleifmühl – Kuhalm)

etwas zu verringern wurden das benötigte Wasser für beide Beregnungsanlagen mit der Motor-Pumpe des LfW aus nahegelegenen Bächen entnommen (15 KW, 4-Takt,  $Q_{\min}$  15 m<sup>3</sup>/h bei 75 m WS, mit einstufiger Zentrifugalpumpe). Am BFW wird normalerweise mit einer Rosenbauer RK75 Tragspritzpumpe gearbeitet.

Zusätzlich wurde während jeweils eines Experimentes die Bodenfeuchte des Standorts mittels TDR-Sonden im Oberboden (0 - 20 mm) gemessen.

#### 4. Ergebnisse

In Tab. 2 sind die Ergebnisse der Beregnungsexperimente sowie jene der durchgeführten Bodenfeuchtemessungen während der Beregnungsversuche angeführt. Im Prinzip zeigt sich eine gute Vergleichbarkeit der mit den beiden Anlagen erzielten Mess-

werte, wobei die vom LfW erzielten Messwerte durchwegs unter denen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW liegen. Durchschnittlich wurde an allen Versuchsflächen ein Gesamtabflusskoeffizient von 45 Prozent gemessen. Der geringste oberirdische Abfluss bildete sich im Fichtenstangenholzbestand mit 6,9 bzw. 13,8 Prozent (Fläche S-2), wohingegen der Spitzenwert des Gesamtabflusses mit 59,5 respektive 90,4 Prozent an der Oberfläche einer Hochstaudenflur über einem extrem bindigen Pseudogley-Boden zu finden war (E-4). Wie bereits einleitend erwähnt, ist jedoch der Gesamtabfluss einer Starkregensimulation für Vergleichszwecke nur eingeschränkt verwendbar, da dieser auch die gesamte Anlaufzeit beinhaltet, welche in hohem Maße von den Anfangsbedingungen der Versuchsdurchführung abhängig ist. Interzeptions- und Retentionspeicher müssen zuerst aufgefüllt werden bevor sich Abflusskonstanz, d.h. ein konstantes Verhältnis zwischen Infiltration und oberirdischem Abfluss einstellen kann. Abb. 6.1 und



Tab.2:

Ergebnisse der Beregnungsversuche und Bodenfeuchtemessungen

Beregnungsfläche	E-1		E-2		E-3		E-4		E-5		E-6		S-1		S-2		S-3		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Beregnungstermin	1.	2.	2.	1.	2.	1.	1.	2.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
Intensität (mm/h)	100	96	96	94	100	89	98	95	90	92	98	97	98	100	99	98	92	93	95
Auftragsmenge (m <sup>2</sup> )	10	7,7	9,6	7,5	10	7,2	9,8	7,6	9	7,4	9,8	7,8	10	7,9	9,8	7,3	9,3	7,6	
Dauer (h)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Anlaufzeit ta (min)	4	5	7	5	8	11	5	3	6	6	16	6	10	6	7	5	5	4	
A <sub>0</sub> ges. (%)	59,3	78,7	20,4	26,8	20,7	20,8	59,5	90,4	49,1	86,1	34,5	48,4	30,3	74,8	6,9	13,8	24,7	75,6	
A <sub>0</sub> max. (%)	67,3	93,3	25	34,8	25,7	29,4	70,8	100	62,5	100	54,8	63	51,4	87,9	7,2	15,8	27,8	90,1	
A <sub>0</sub> max. (%) (für I = 100 mm/h)	63,5	93,7	26	37,1	23,9	32,9	67,9	100	57	100	50	63,2	49,7	88	7,3	17,3	29,9*	90,6	
Vorbefeuchtung	hh	hh	hh	h	hh	h	hh	hh	hh	h	hh	hh	hh	hh	hh	hh	hh	hh	
Wassergehalt TDR (Vol%)																			
• vor der Beregnung (15 min)		73,3		63,6		49				-									
• Sättigung		73,8		68,2		68,1				-									
• nach der Beregnung (15 min)		73,8		68		65,4				-									

Beregnungsflächen E-1 bis E-6 Garmisch/Partenkirchen, Enningalm  
 Beregnungsflächen S-1 bis S-3 Unterammergau, Schleifmühle, Kuhalm  
 Beregnungsanlage 1 Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
 Beregnungsanlage 2 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 A<sub>0</sub> ges. (%) Gesamtabfluss (Niederschlagsmenge / Abflussmenge)  
 A<sub>0</sub> max. (%) Maximalabfluss bei Abflusskonstanz  
 A<sub>0</sub> max. (%) (für I = 100 mm/h) Maximalabfluss bei Abflusskonstanz interpoliert für eine Niederschlagsintensität von 100 mm/h  
 Vorbefeuchtung hh sehr hohe Vorfeuchte  
 Vorbefeuchtung h hohe Vorfeuchte  
 Wassergehalt TDR (Vol%) Bodenfeuchtemessungen nur an vier Standorten während der Beregnungsexperimente mit der Anlage 2  
 \* beim Beregnungsexperiment S-3 der Anlage1 gingen nach okularer Schätzung etwa 50% des Abflusses seitlich verloren; zum Vergleich wird daher ein 50 % höherer Wert herangezogen

oberirdischen Abfluss. Im Vergleich der damals verwendeten Berechnungsanlagen hatte dadurch weder die unterschiedliche Breite, noch die seitliche Mitberechnung bzw. Nicht-Mitberechnung einen Einfluss auf das Messergebnis. Vergleichsdaten der Großregenanlage mit einem Kleinflächenregner, 1992 im Löhnersbach (Salzburg) erhoben, ließen keinen Zusammenhang der Ergebnisse erkennen (MARKART & KOHL, 1995). Durch die kleinflächige Heterogenität augenscheinlich homogener Boden-/Vegetationskomplexe streuten die Abflusskoeffizienten der Kleinregenanlage (4 m<sup>2</sup>) in einem sehr weiten Bereich.

In der vorliegenden Arbeit zeigt sich im Prinzip eine gute Vergleichbarkeit der mit den beiden Anlagen erhobenen Messwerte. Jedoch liegen die vom LfW erzielten Abflusskoeffizienten allesamt unter denen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW, im Durchschnitt um 12 Prozentpunkte (vgl. Abb. 4).

## 5. Diskussion

Im Prinzip zeigt sich eine gute Vergleichbarkeit der mit den beiden Anlagen erzielten Messwerte, wobei die vom LfW erzielten Messwerte durchschnittlich um 12 Prozent unter jenen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW liegen. An übersteilten Grabeneinhängen und Standorten mit hoher Energie des Kleinreliefs wurden mit der BFW-Anlage deutlich höhere Abflusswerte gemessen.

Die Hangneigung kann nicht als Erklärung für diese Unterschiede herangezogen werden. Wie die Neigung auch für die Abflussmenge einen untergeordneten Parameter darstellt (KOLLA 1986, MARKART & KOHL 1995), so zeigt sich auch hier kein Zusammenhang mit den erhobenen Abflusswerten oder den Differenzen der beiden Anlagen.

Die Ursache für die Unterschiede in der Abflussmessung ist viel mehr in der technischen Konzeption der Anlagen zu finden. Zum Einen beaufschlagt die Anlage des LfW rein die zu untersuchende Messparzelle, dagegen beregnet die Anlage des BFW auch die Seitenränder des Hangsegments mit. Was im ersteren Fall trotz seitlicher Leitbleche zu lateralen Verlusten führen kann, bringt im anderen Fall z.B. in einem leicht konkaven Gelände, oder durch Fließwege die nicht der Falllinie folgen (z.B. Viehgangln) zusätzlichen seitlichen Eintrag. Dementsprechend

nähern sich die Abflusskoeffizienten des bayerischen Messverfahrens von unten dem Abflussverhalten bei natürlichen Starkregen an, wohingegen die Werte des BFW die natürlichen Verhältnisse leicht überschätzen.

Auch die unterschiedliche Auffangmethode führt zu einem ähnlichen Ergebnis. Nach dem System des LfW legt der oberirdische Abfluss nach dem Fließen über die überregnete Fläche noch eine Wegstrecke von etwa einem Meter über nicht beregnetes Terrain zurück. Dies kann die im Auffangbehälter registrierte Abflussmenge reduzieren. Die Abflussmessung an einer Profilkante direkt an die überregnete Fläche, wie dies bei der zweiten Anlage der Fall ist, führt wiederum zu etwas höheren Werten. Der Fließweg, den ein Wassertropfen zurücklegen muss bis er die Möglichkeit zur Versickerung findet, wird hier an der Profilkante abgeschnitten und somit ein geringer Direkteintrag mitgemessen. Bei einer gesamten Fließstrecke von 16 m und einem als Beispiel angenommenen Fließweg von 0,5 m für die potentielle Versickerungsmöglichkeit würde der Abfluss um maximal 4 % überschätzt. Der Fehlerwert einer Kleinregenanlage (z.B. 2 x 2 m) läge hier bei 25 %.

Neben der überregneten Fläche und der Fließlänge unterscheidet sich bei den beiden Berechnungsanlagen der Abfluss auch in der Qualität. Während die LfW-Anlage durch die Leitbleche und den Auffangtrichter fast ausschließlich reinen Oberflächenabfluss misst, wird bei der BFW-Anlage über die in die Bodenmatrix eingebettete Auffangfolie (10 cm Tiefe), wenn vorhanden, auch eine Abfluss-Komponente miterfasst, die zum rasch fließenden Interflow gezählt werden kann. Auch hier wiederum nähert sich das bayerischen Messverfahren von unten, die Messungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt von oben dem „tatsächlichen“ Abflusswert.

## 6. Hinweise zur Umsetzung

Aus der Abb. 5 geht deutlich hervor dass die erhobenen Messwerte zwar sehr gut korrelieren, die Abflusskoeffizienten des BFW aber jeweils eine Abflussklasse höher liegen.

Bei der Beurteilung des Infiltrationsverhaltens unterschiedlicher Boden-/Vegetationseinheiten und der Zuordnung derselben zu Abflussklassen zur Abschätzung und Ermittlung von Gebietsabflüssen können solche Unterschiede zu erheblich anderen

Ergebnisse führen. Demzufolge sollte bei der Zuordnung zu Abflussklassen speziell bei Standorten im Bereich der Klassenschwellen für die bayerischen Werte eine Korrektur in die nächst höhere Stufe, wie für die österreichischen Werte eine Zuordnung in die tiefere Stufe erfolgen.

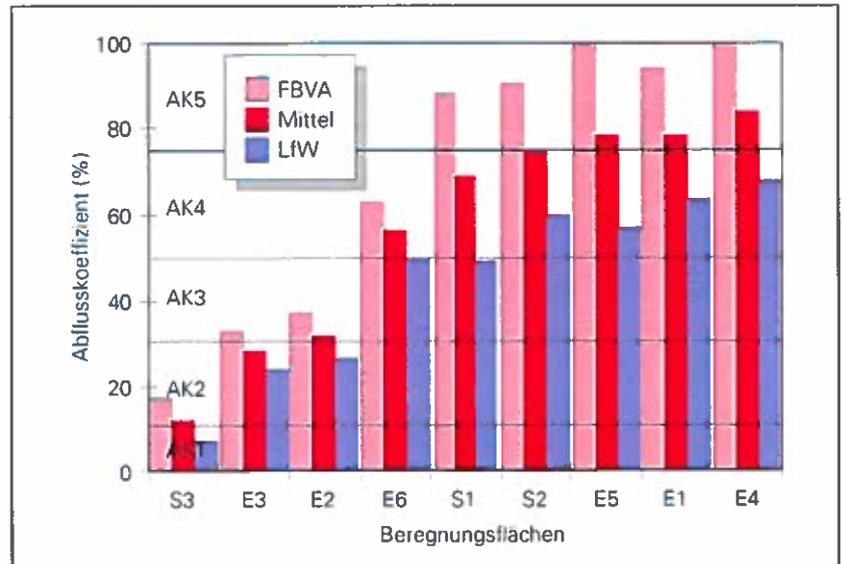


Abb. 5:  
Zuordnung der Standorte zu Abflussbeiwertklassen ( $A_0$  interpoliert für 100 mm/h):

AK1	0- 10 %
AK2	10- 30 %
AK3	30- 50 %
AK4	50- 75 %
AK5	75-100 %

## 7. Literatur

- BUNZA, G., H. E. DEISENHOFER, J. KARL, M. PORZELT, J. RIEDL: 1985, *Beiträge zu Oberflächenabfluß und Stoffabtrag bei künstlichen Starkniederschlägen*. DVWK - Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.; 71, 3-35.
- BUNZA, G., SCHAUER, TH. (1989): *Der Einfluß von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichem Starkregen in Wildbacheinzugsgebieten der Bayerischen Alpen*. Informationsbericht Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, H. 2, München.
- KARL, J., H. TOLDRIAN (1973): *Eine transportable Berechnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag*. Wasser & Boden; 3
- KOHL, B., G. MARKART, U. STARY, H. PROSKE, P. TRINEAUS (1997): *Abfluß und Infiltrationsverhalten von Böden unter Fichtenaltbeständen in der Gleinalm (Stmk.)*. Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien; 96, 27-32.
- KOLLA, E. (1986): *Zur Abschätzung von Hochwassern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessung. Eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich
- LÖHMANNSRÖBEN, R., SCHAUER, TH. (1966): *Ableitung hydrologischer Eigenschaften zur Beurteilung des Abfluß- und Abtragungsgeschehens aus boden- und vegetationskundlichen Kriterien*. Internat. Symposium INTERPRAEVENT, Garmisch Partenkirchen, Bd. 1.
- MARKART, G., B. KOHL (1995): *Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Muster-einzugsgebiet Löhnersbach bei Saubach in Sbg*. Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien; 89.
- MARKART, G. (2000): *Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen. Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain*. Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien; 117, S 126.
- SCHAUER, TH. (1992): *Der Beitrag der Vegetationskartierung für die Abschätzung und Prognose des Abflusses, des Abtrages und der Belastung bei spezifischen Nutzungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten*. Intern. Symposium INTERPRAEVENT, Bern, Bd. 6.

Verfasser: Mag. Bernhard Kohl  
Dipl.-Ing. Dr. G. Markart  
Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
Rennweg 1 - Hofburg  
A - 6020 Innsbruck  
e-Mail: bernhard.kohl@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Markart  
Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
Rennweg 1 - Hofburg  
A - 6020 Innsbruck  
e-Mail: gerhard.markart@uibk.ac.at

Dr. Th. Schauer  
Dipl.-Ing. (FH) Michael Porzelt  
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
Abteilung Gewässerentwicklung, Wasserbau  
Lazarettstraße 67  
D - 80636 München  
e-Mail: thomas.schauer@lfw.bayern.de

## 8. Anlagen

Abb. 6.1: Abflussganglinien der Niederschlagsimulationen im Gebiet Garmisch/Partenkirchen - Enningalm

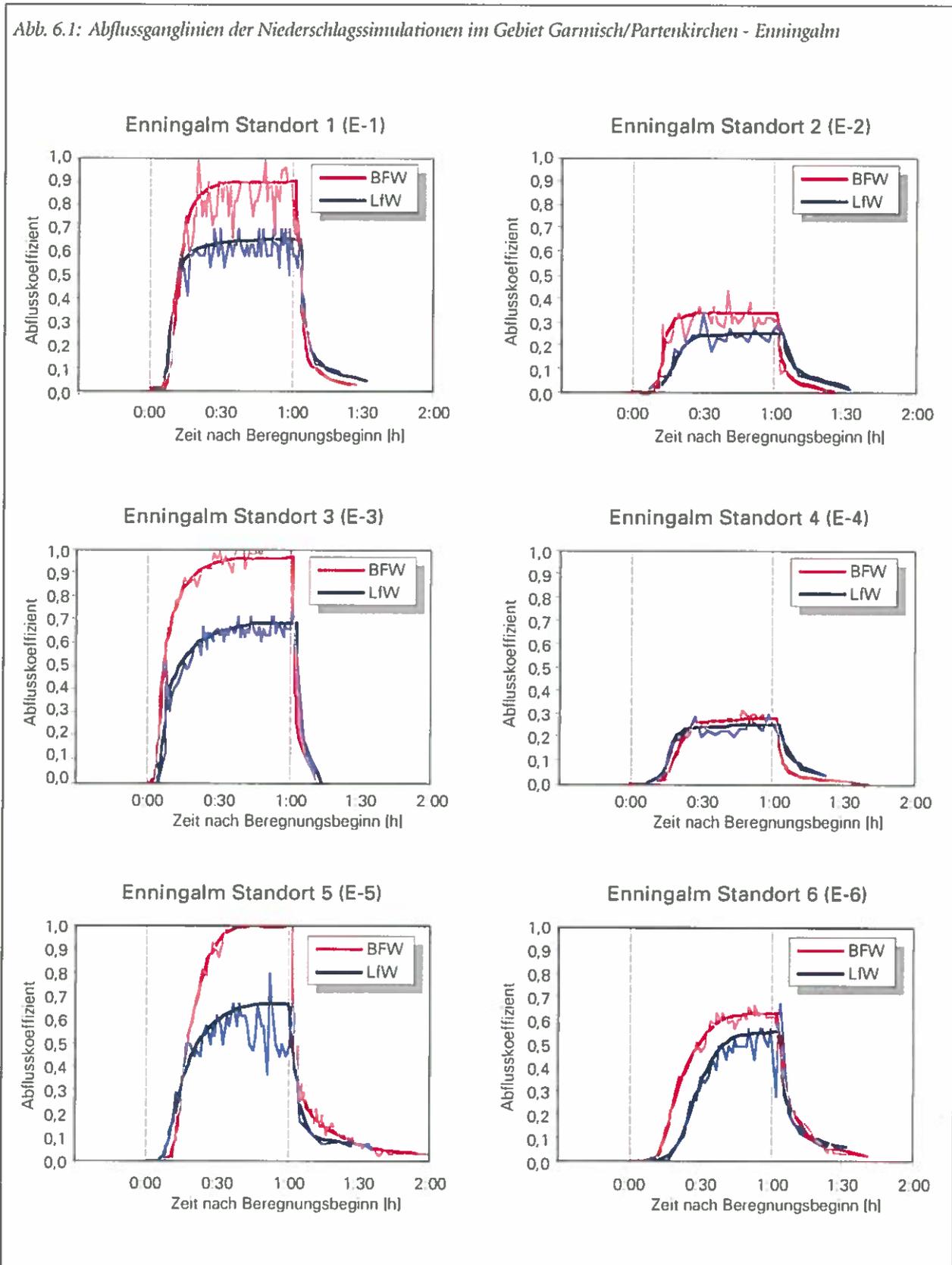
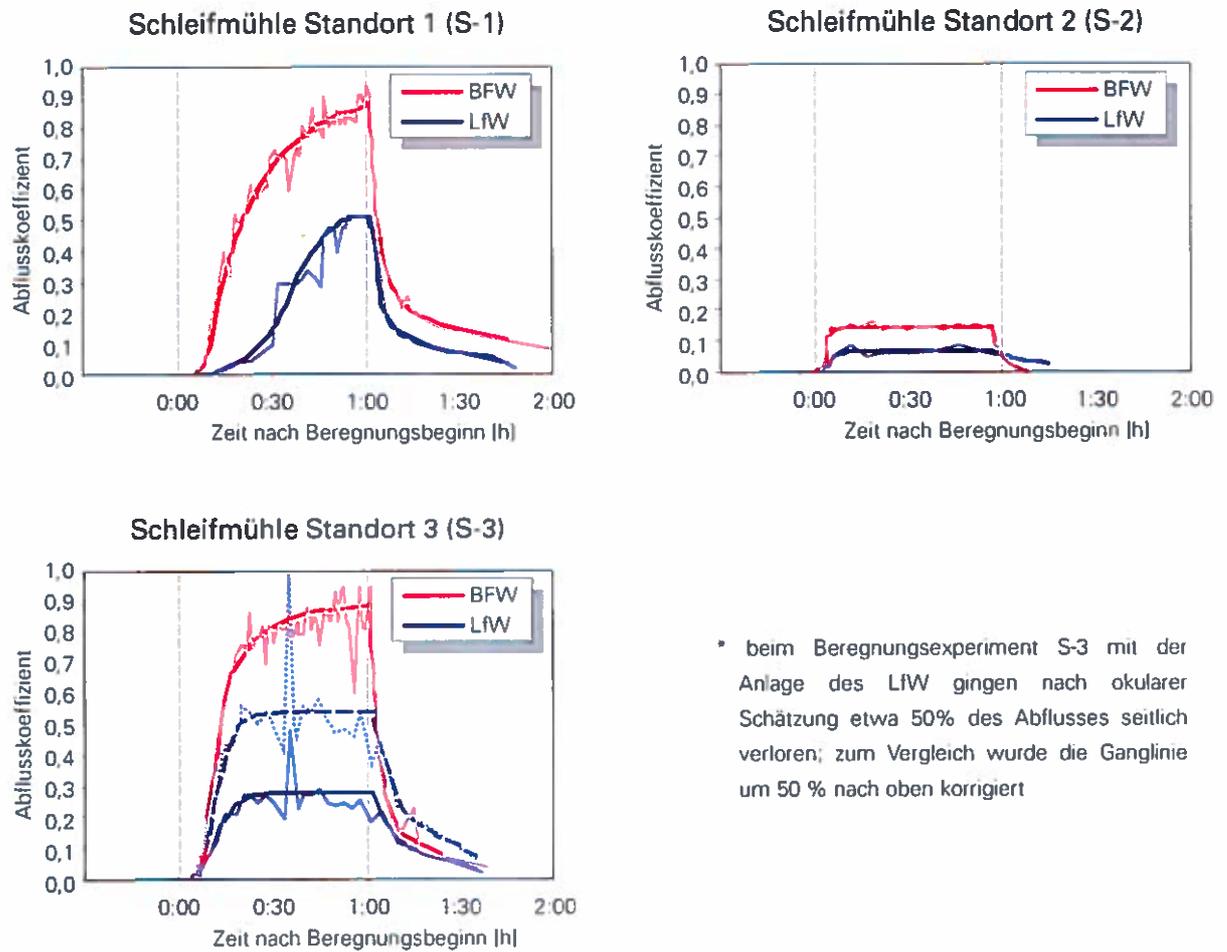


Abb. 6.2: Abflussganglinien im Gebiet Unterammergau – Schleifmühle/Kuhhal



\* beim Beregnungsexperiment S-3 mit der Anlage des LfW gingen nach okularer Schätzung etwa 50% des Abflusses seitlich verloren; zum Vergleich wurde die Ganglinie um 50 % nach oben korrigiert

Tab.3: Standortmerkmale der Beregnungsflächen

<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 1</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Hangpseudogley            Vegetation: Fichtenwald            Hangneigung: 34 %            Geländeform: Mittelhang            Bewirtschaftung: Beweidung (3)</p>	<p><b>Beregnungsfläche Schleifmühl/Kuhalm 1</b></p> <p>Grundgestein: Flysch            Boden: Pseudogley            Vegetation: Fichtenwald            Hangneigung: 57 %            Geländeform: Unterhang            Bewirtschaftung: Beweidung (3)</p>
<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 2</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Stagnogley auf Hangschutt            Vegetation: Hochstauden – Fichtenwald            (<i>Adenostyles alliaria</i>)            Hangneigung: 36 %            Geländeform: Mittelhang            Bewirtschaftung: Beweidung (6)</p>	<p><b>Beregnungsfläche Schleifmühl/Kuhalm 2</b></p> <p>Grundgestein: Flysch            Boden: Pseudogley            Vegetation: hochstaudenreicher Fichtenwald            Hangneigung: 38 %            Geländeform: Unterhang            Bewirtschaftung: extensive Beweidung (3)</p>
<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 3</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Pseudogley            Vegetation: Hochstauden – Fichtenwald            Hangneigung: 29 %            Geländeform: Mittelhang            Bewirtschaftung: Beweidung (1)</p>	<p><b>Beregnungsfläche Schleifmühl/Kuhalm 3</b></p> <p>Grundgestein: Flysch            Boden: Pseudogley, verbraunt            Vegetation: Fichtenstangenholz            Hangneigung: 29 %            Geländeform: Mittelhang            Bewirtschaftung: früher beweidet (0)</p>
<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 4</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Pseudogley, extrem bindig            Vegetation: Hochstaudenflur (<i>Adenostyles alliaria</i>)            Hangneigung: 50 %            Geländeform: Unterhang            Bewirtschaftung: Beweidung (0)</p>	
<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 5</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Kolluvisol, skelettreich, lehmig-tonig            Vegetation: quelliger Pioniergras (<i>Carex ferruginea</i>)            Hangneigung: 75 %            Geländeform: Unterhang            Bewirtschaftung: Beweidung (0)</p>	
<p><b>Beregnungsfläche Enningalm 6</b></p> <p>Grundgestein: Plattenkalk, Aptychenkalke            Boden: Braunerde, pseudovergleyt            Vegetation: Hochstauden – Fichtenwald            (<i>Adenostyles alliaria</i>)            Hangneigung: 48 %            Geländeform: Unterhang            Bewirtschaftung: früher beweidet (0)</p>	



Berechnungsfläche	E1	E2	E3	E4	E5	E6	S1	S2	S3
Dicranum scoparium	+		1				1	1	1
Dryopteris dilatata							+	+	
Dryopteris filix mas	+								
Equisetum hyemale					+				
Equisetum sylvaticum	1	1							+
Euphrasia rostkoviana					+				
Festuca rubra agg.									+
Festuca rubra agg.					1				
Fragaria vesca		+	+				+		+
Galium odoratum							+		
Galium rotundifolium							1	2a	
Gentiana utriculosa					+				
Geranium robertianum								+	
Geranium sylvaticum		1				1			
Geum rivale						1			
Gnaphalium uliginosum									+
Gymnadenia conopsea					+				
Gypsophila repens					+				
Helianthemum nummularium nummularium					+				
Hieracium sylvaticum	1	+	1		+		2a	1	1
Homogyne alpina	+	+	1		+		1	1	
Hylocomium pyrenaicum								2a	
Hylocomium splendens			1					2a	
Hypericum perforatum						+			
Hypnum cupressiforme	1								
Knautia dipsacifolia		+				1			
Lamiaeum galeobdolon	+		+	1		+	+	1	
Linum catharticum					+				
Lonicera caerulea								+	
Lotus corniculatus					1				
Luzula luzuloides								1	
Luzula pilosa		+	+					1	+
Lycopodium annotinum							+		
Lysimachia nemorum	+	1	+				1	1	1
Melampyrum sylvaticum					+				
Mnium cuspidatum									2a
Mnium undulatum								1	
Mycelis muralis								1	
Myosotis sylvatica	+	+				+	+	1	
Oxalis acetosella	1	1	1				+	2a	
Parnassia palustris					+				
Petasites albus							2b		
Phyteuma orbiculare orbiculare					1				
Phyteuma spicatum	+	+	+			+	+		
Picea abies	3	3	4		1		1		
Pimpinella major						1			
Pinguicula vulgaris					+				



# Auswirkungen der Klimaänderung für das watershed management in österreichischen Wildbacheinzugsgebieten

K. HAGEN

*Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald*

**Kurzfassung.** Die Erwärmung des Klimas in seit Besiedelung des Alpenraumes nicht da gewesenem Ausmaß ist eine kaum zu leugnende Tatsache. Die direkten und indirekten Auswirkungen werden auch in den Einzugsgebieten und Einflussbereichen von Wildbächen und Lawinen in Zukunft erheblich sein. Existierende Prognosemodelle sind schon aufgrund unbekannter Systemzusammenhänge mit großen Unsicherheiten behaftet. In Bezug auf die zu erwartenden Intensitäten und Auftretenswahrscheinlichkeiten von in Wildbacheinzugsgebieten besonders bedeutsamen Starkniederschlagsereignissen zeichnen sie derzeit kein klares Bild, was notwendige vorausschauende Planungen zusätzlich erschwert. Um negative Effekte der Klimaerwärmung bestmöglich abzupuffern und die Bandbreite der möglichen Szenarien einzuengen muss diese von einer parallel laufenden, permanenten Beobachtung der Entwicklungen unterstützt werden, die auf die Bedürfnisse des watershed managements in Wildbacheinzugsgebieten ausgerichtet ist.

**Schlüsselworte:** Klimaänderung, Wildbacheinzugsgebiete, Temperatur, Niederschlag, Abfluss

**Abstract.** [Impact of climatic change on watershed management in Austrian torrent-catchments]. There is no denying of today's climate warming in an unprecedented scale, since settlement of the Alps started. In future, the direct and indirect impact on catchments of torrents and avalanches and their sphere of influence will be significant. Fact is, that existing prediction models due to unknown contexts of the climatic system are afflicted with high uncertainties. Especially with regard to the prospective intensities and frequencies of heavy precipitation-events which are of particular importance in torrent catchments, they are not able to give a clear message in the moment, which complicates the needed anticipatory planning. To soften negative effects of climate warming at best and to restrict the bandwidth of possible scenarios, planning have to be supported by a parallel, permanent monitoring of trends, which is designed to the needs of the watershed management in torrent catchment areas.

**Keywords:** Climatic change, torrent-catchment, temperature, precipitation, runoff

## 1. Globale Aspekte der Klimaänderung

Das Klima der Erde ist seit jeher Schwankungen unterworfen wie Analysen aus Eisproben gezeigt haben. Gegenwärtig befinden wir uns in einer Warmzeit mit einer mittleren bodennahen Temperatur von 15,5 °C. Diese Klimaschwankungen sind auf zeitliche Variationen der Sonnenaktivität, Änderungen der Erdbahnparameter und insbesondere auf die wechselnde Zusammensetzung der Erdatmosphäre zurückzuführen. Würde die Atmosphäre keine Treibhausgase enthalten, so läge die globale bodennahe Jahresmitteltemperatur der Erde hypothetisch bei - 18 °C (SEILER 2001). Die unumstrittene Schlussfolgerung daraus ist, dass die Konzentration und Verteilung der Treibhausgase entscheidend das Klima beeinflussen. Faktum ist weiters, dass der CO<sub>2</sub> Gehalt besonders in den letzten 30 Jahren stark zuge-

nommen hat (280 ppm präindustrielle Zeit, 364 ppm 1997 (LEDLEY ET AL 1999)).

In welchem Umfang und mit welcher Geschwindigkeit dadurch die Erwärmung voranschreiten wird und wie und in welchem Ausmaß sich andere Klimafaktoren dadurch ändern werden ist jedoch trotz verbesserter Modellierungsansätze bestenfalls grob abschätzbar, da zu viele Unbekannte in diesen Modellen enthalten sind. Insbesondere die

- unzureichenden Kenntnisse der klimatischen Zusammenhänge/Wechselwirkungen und die
  - unbekannt zukünftige Entwicklung des Ausstoßes von Treibhausgasen
- führen zu erheblichen Unsicherheiten.

Als Lösungsansatz kann die Wissenschaft Szenarien anbieten, welche die mehr oder minder wahrscheinlichen Verhältnisse nach heutigem Wissensstand prognostizieren. Für die meisten Parameter kann dabei aber nur eine Bandbreite der Ereignis-

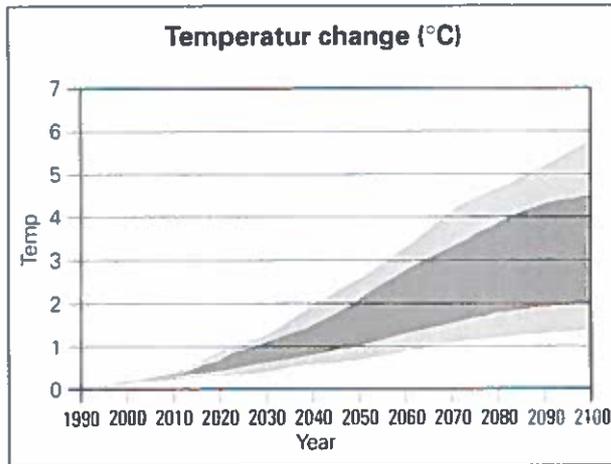


Abb. 1:  
Globaler Temperaturanstieg nach verschiedenen Szenarien  
(IPCC 2001)

wahrscheinlichkeit für die Zukunft angegeben werden, wobei die Unschärfe dabei mit steigendem Zeitraum exponentiell zunimmt (vgl. Abbildung 1).

Die Entwicklung des Klimas ist wesentlich vom zukünftigen Verlauf der Treibhausgas- und Aerosolemission abhängig, welcher längerfristig schwer abschätzbar ist. Aber auch die kaum vorhersehbare Entwicklung einiger natürlicher Faktoren (z.B. Vulkanausbrüche, Sonnenaktivität) und die Ungewissheit über die Auslösung von zusätzlichen Prozessen durch die Erwärmung (z.B. die diskutierte Abschwächung der warmen Ozeanströmung im Nordatlantik mit drastischen Folgen für das nord-europäische Klima (CLIMATE PRESS 2001) werden für das Klima von Morgen von Bedeutung sein. Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellt die noch unzureichend erforschte Wirkung von Aerosolen und von erhöhter Verdunstung (vermehrte Wolkenbildung – hohe Wolkendecken tragen zur Klimaerwärmung bei – niedere wirken ihr entgegen [APA - SCIENCE WEEK 2001, CLIMATE PRESS 2001]) auf die Erdtemperatur dar. Schließlich könnten all diese Einflüsse die atmosphärischen Zirkulationsmuster und damit die räumliche und zeitliche Verteilung von Temperatur und Niederschlag auf nicht vorhersehbare Weise ändern. „Überraschungen“ wie z.B. das „Kippen“ des Klimasystems bei überschreiten gewisser Schwellenwerte können in solchen Szenarien sowieso nicht enthalten sein.

Alle in der Folge getroffenen Aussagen sind unter diesen Gesichtspunkten zu sehen - folgendes scheint nach heutigem Wissensstand allerdings klar:

- Der Einfluss des Menschen auf das Klima ist beträchtlich – eine durch anthropogenen Einfluss hervorgerufene Klimaänderung beginnt bereits

sichtbar zu werden (IPCC wg II 1996b) und der „Bremsweg“ um diese Entwicklungen wieder zu stoppen ist für menschliche Zeitmassstäbe lang. Wir werden daher in absehbarer Zukunft mit deutlich geänderten Klimabedingungen zurecht kommen müssen, deren Art und Ausmaß derzeit aber nur ansatzweise bekannt sind. Aus heutiger Sicht wird die globale Temperaturzunahme im nächsten Jahrhundert zwischen 2 und 4,5 °C betragen.

- Die am schlechtesten vorbereiteten („armen“) Staaten (IPCC wgII 2001) werden unter den nachteiligen Folgen überdurchschnittlich zu Leiden haben und allfällige sich aus der Klimaänderung ergebenden Vorteile am schlechtesten nutzen können.

## 2. Szenarien für ausgewählte Bereiche und Parameter

Die Auswirkungen der prognostizierten Klimaänderung werden durchaus weitreichend sein – viele davon werden Österreich nicht direkt wohl aber indirekt (z.B. Dürrekatastrophen in Afrika bedeuten unter anderem verstärkten Migrationsdruck für Europa, u.a.m.) betreffen. Für den Alpenraum mit Schwerpunkt Österreich soll im Anschluss eine Übersicht über die wahrscheinlichen bzw. möglichen Entwicklungen nach Stand der derzeitigen vorherrschenden Meinungen gegeben werden.

In den Einzugsgebieten bzw. dem Wirkungsbereichen von Wildbächen und Lawinen sind folgende Themen von besonderer Bedeutung:

### 2.1 Klima

Im Gegensatz zu anderen Biomen (z.B. Küstenregionen, Regenwälder...) gibt es bisher nur vergleichsweise wenige Studien über die Auswirkungen von Klimaänderungen in Gebirgsregionen, da die Komplexität der Klimaerscheinungen und die hohe Abhängigkeit der Luftzirkulation von der Topographie in den derzeit vorhandenen großflächig arbeitenden GCMs (General Circulation Models) nicht entsprechend berücksichtigt werden können. Trotzdem lassen sich wahrscheinliche Entwicklungen mancher Parameter auch für den Alpenraum angeben:

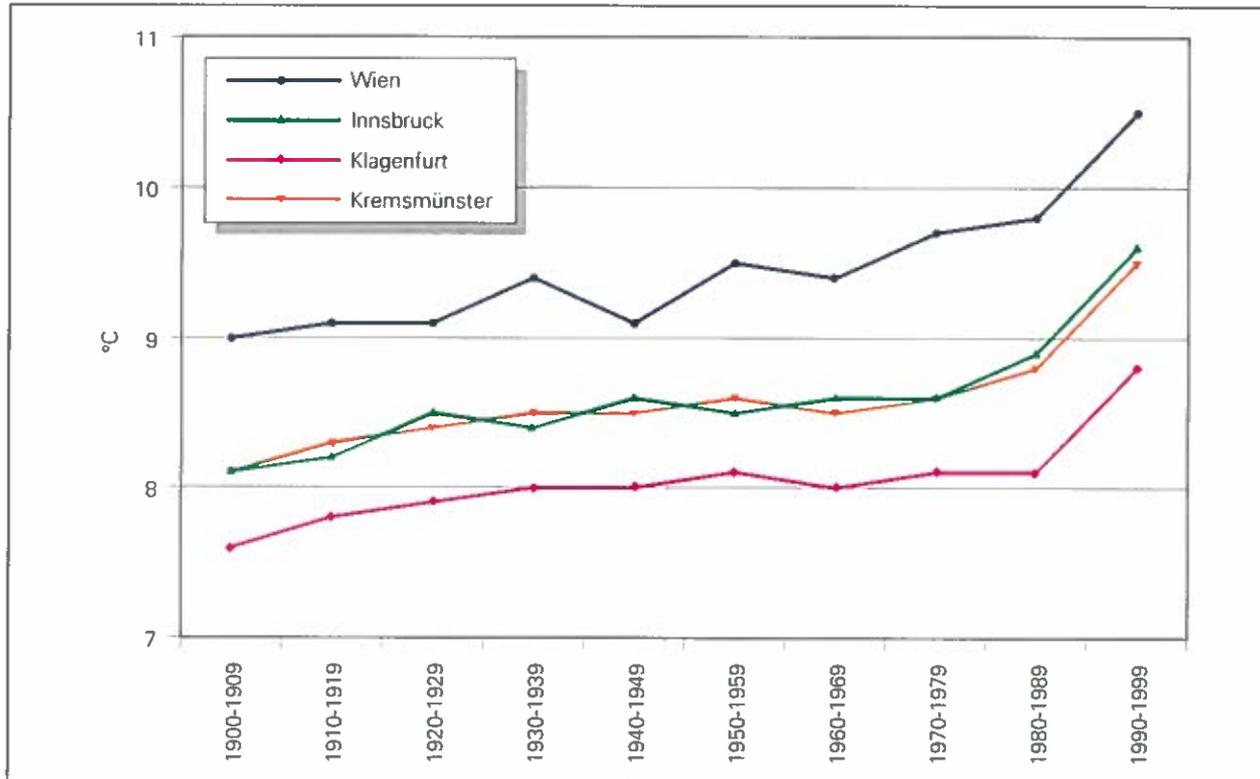
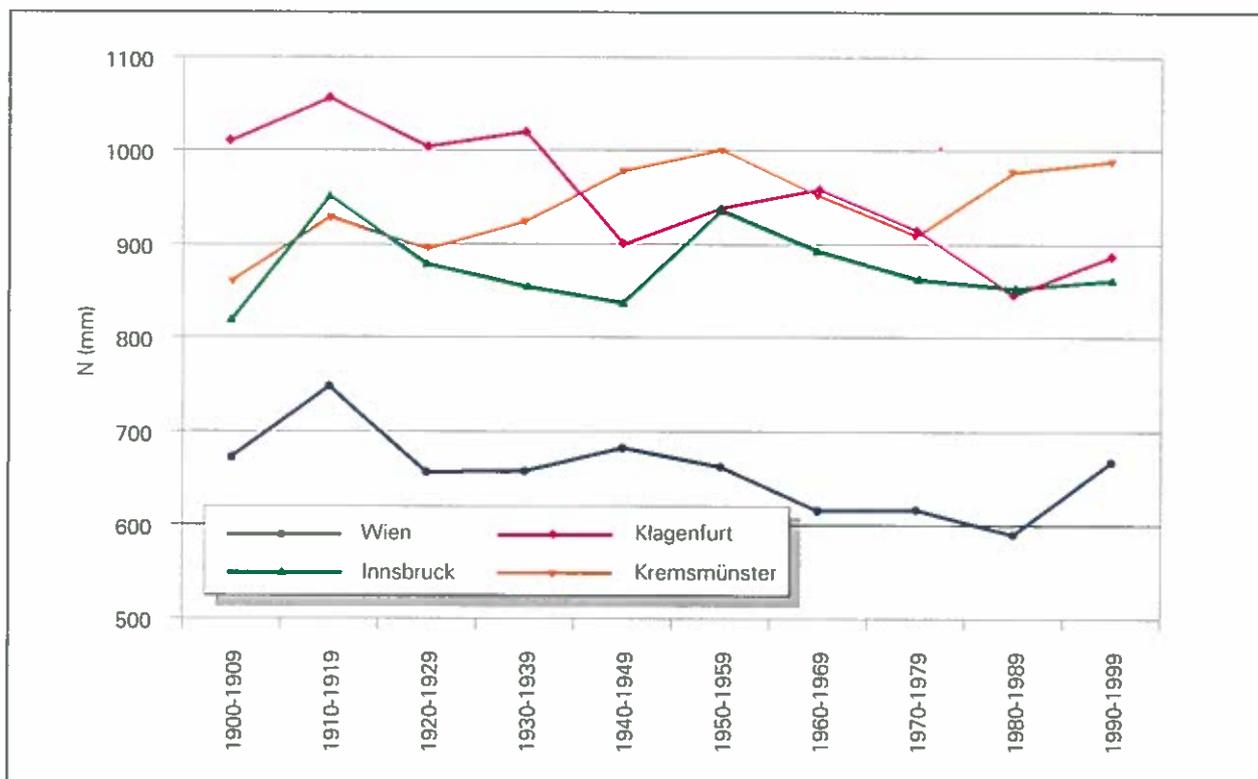


Abb.2: Temperaturverlauf (Jahrzehntdurchschnitte) im letzten Jahrhundert (ZAMG 2000)

Abb. 3: Niederschlagsverlauf (Jahrzehntdurchschnitte) im letzten Jahrhundert (ZAMG 2000)



### 2.1.1. Temperatur

Die Szenarien in Abbildung 1 zeigen die Bereiche in denen sich die mittlere globale Temperaturentwicklung in den nächsten 100 Jahren abspielen könnte. Nach dem heutigen Stand des Wissens wird sich dabei die nördliche Hemisphäre überdurchschnittlich stark erwärmen, ebenso wie Landstriche höherer Breitengrade und Landflächen (SEILER 2001, u.a.m.). Daraus ist abzuleiten, dass die Klimaerwärmung in Österreich über dem globalen Durchschnitt liegen wird – wenn sich der Golfstrom nicht entscheidend abschwächt ist eine Zunahme der Temperaturen um ca. 2°C in den nächsten 50 Jahren realistisch und wird in weiterer Folge als Richtwert unterstellt.

Weltweiten Aufzeichnungen zufolge waren die Jahre 1995, 1996 und 1998 die drei wärmsten Jahre seit Beginn der Messungen (CLIMATE PRESS 2001). Auch in Österreich sind die Temperaturen im Verlauf der letzten 30 Jahre bereits um ca. 0,7 °C gestiegen (vgl. Abbildung. 2). Die vier Reverenzstationen der ZAMG (2000) bestätigen ebenfalls einen österreichweiten Trend der Temperaturzunahmen im vergangenen Jahrhundert.

Neben erhöhten durchschnittlichen Temperaturen werden auch die Maximal- und die Minimaltemperaturen höher liegen (IPCC wgII 2001). Die Erwärmung isoliert zu sehen ist jedoch nicht zielführend, da deren Wirkung je nach Entwicklung anderer klimarelevanter Parameter durchaus unterschiedlich ausfallen kann – der Wichtigste dabei ist (nicht nur) für das watershed management die Entwicklung der Niederschlagstätigkeit.

### 2.1.2 Niederschläge: Menge, räumliche und zeitliche Verteilung

Globale Klimamodelle zeigen, dass die Luft pro °C um rund 7 % mehr Feuchte aufnehmen kann. Fußend auf dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit ist mit einer Intensivierung des Wasserkreislaufes und entsprechend mehr Niederschlag zu rechnen (CLIMATE PRESS 2000). Der IPCC Bericht 2001 gibt für unsere Breiten bereits eine wahrscheinliche Niederschlagszunahme im letzten Jahrhundert von 0,5 – 1 % je Dekade an. Die diesbezüglichen österreichrelevanten Werte zeigt Abbildung 3.

Im Gegensatz zum Temperaturverlauf lässt sich kein österreichweiter Trend erkennen. Die Niederschlagsmengen im Süden und Osten des Bundesgebietes haben abgenommen, jene im Westen und Norden stagnieren bzw. nehmen eher zu.

Die Unsicherheiten von Prognosen für das 21. Jahrhundert sind sehr groß, da der Einfluss der Temperaturänderung auf die Meeresströmungen und Luft-

zirkulationssysteme höchst ungewiss ist. Allgemein wird damit gerechnet, dass ein allfälliges Mehr an Niederschlag vornehmlich im Winterhalbjahr fallen wird (CLIMATE PRESS 2000, PROCLIM 1996a,...).

Anzeichen sprechen für eine Abschwächung der Westwindzirkulation, was vermehrt zur Ausbildung von Tiefdrucktrögen im Winterhalbjahr über Europa führen könnte (BADER/KUNZ 1998). Die Bewegung der Tiefdrucktröge würde langsamer und ihre Einflussdauer auf ein Gebiet verlängert. Eine Verlängerung der Regen- und Trockenphasen und in der Folge das vermehrte Auftreten großflächiger Erdbeben und Hangbewegungen bzw. die Beschleunigung bestehender Talzuschübe (PROCLIM 1996a) wären die Folge.

### 2.1.3 Niederschläge: Extremereignisse

Es ist wahrscheinlich, dass die Häufigkeit von Starkniederschlägen in den letzten 50 Jahren bereits um 2 bis 4 % gestiegen ist (IPCC wGI 2001, PROCLIM 2001). Bei einer Erwärmung um 2 °C zeigen Berechnungen eine Zunahme der Häufigkeit starker Regenfälle um 20 – 40 % (CLIMATE PRESS 2000, IPCC wgII 2001). Statistische Auswertungen von Langzeitbeobachtungen in der Schweiz weisen mit einer auffälligen Häufung von intensiven Niederschlägen in den Herbst- und Wintermonaten in diese Richtung. Allerdings ist ein statistischer Nachweis aufgrund der vergleichsweise kurzen Messreihen nicht möglich.

Aus derzeitiger Sicht ist besonders an der Alpensüdseite mit einer eindeutigen Zunahme von Starkniederschlägen zu rechnen (NFP 31 2000, CLIMATE PRESS 2000). Steigende Temperaturen werden diese häufig im Herbst auftretenden Wetterlagen (Oberitalientief) vermehrt bis in hohe Lagen als Regen fallen und die Hochwassergefahr entsprechend steigen lassen.

In wie weit die Intensitäten von seltenen Extremereignissen zunehmen werden, lässt sich mit dem heutigen Wissensstand nicht beantworten. Die Tatsache, dass höheren Temperaturen (mehr Feuchte in der Luft möglich, größerer Energiegehalt der Atmosphäre) ein erhöhtes Potenzial innewohnt und Starkniederschläge in ihrer Häufigkeit wahrscheinlich zunehmen, weist zumindest auf die Möglichkeit einer Intensitätssteigerung bei exzessiven Niederschlagsereignissen hin und wird für manche Regionen als wahrscheinlich angesehen (IPCC wgII 2001). Messungen an der Niederschlagsmessstelle Sonnalm (BFW, Gem. Zell am See / Salzburg, Abbildung 4) zeigen für den Beobachtungszeitraum steigende Intensitäten bei konvektiven Niederschlägen

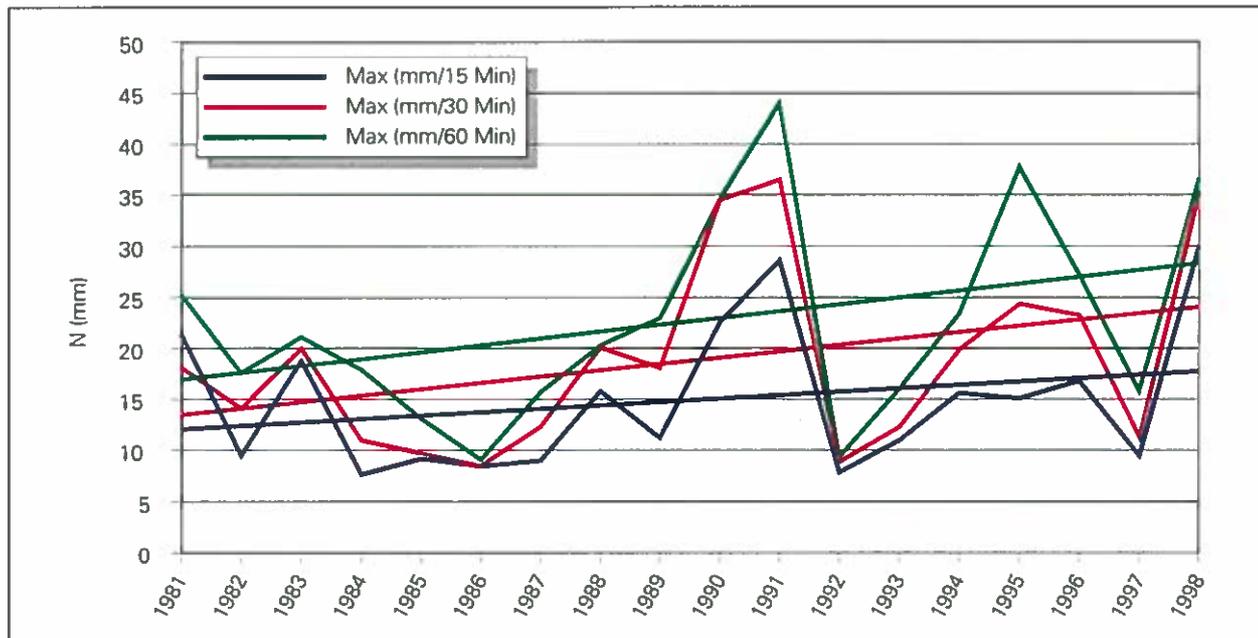
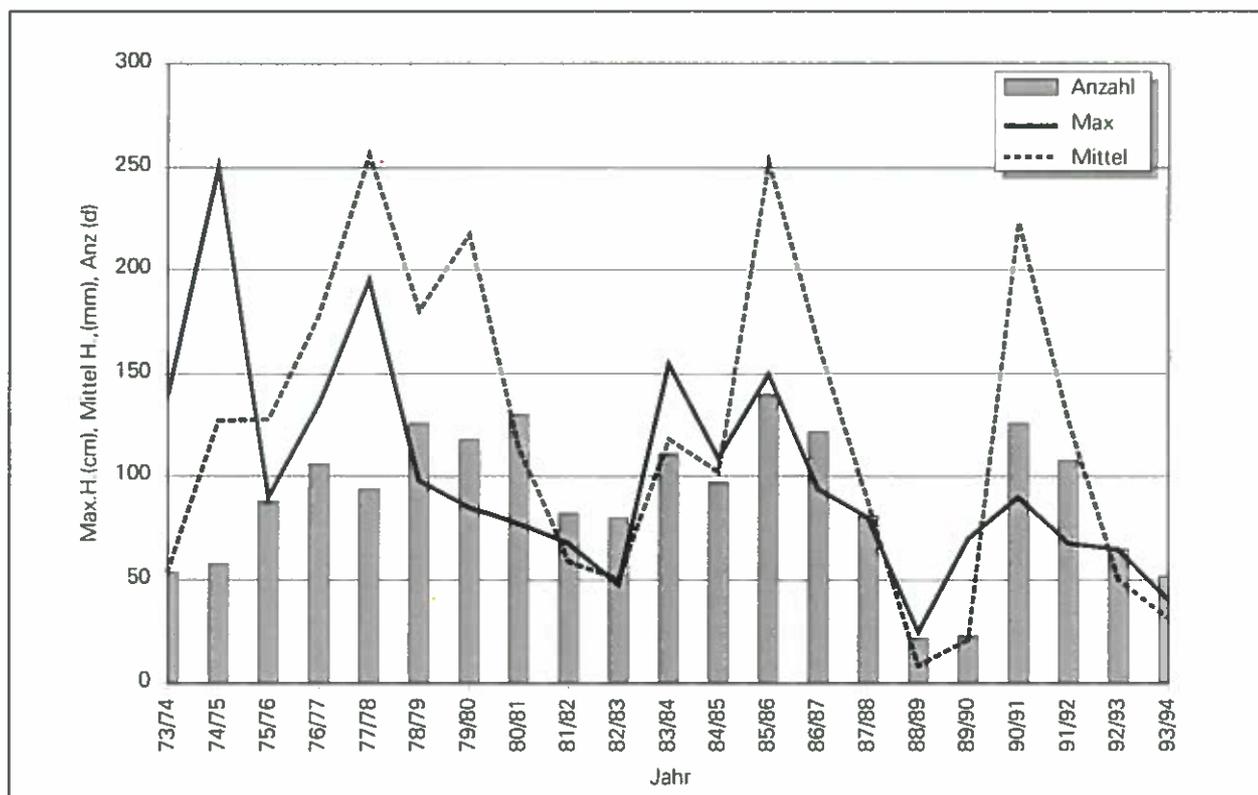


Abb. 4: Entwicklung der jährlichen Maximahniederschlagsintensitäten Station Sonnalm (1390 m), BFW

auf. Allerdings ist der Aufzeichnungszeitraum noch zu kurz um daraus allfällige langfristige Trends abzuleiten. In der Literatur wird demgegenüber meist keine beobachtete Steigerung der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen angegeben (IPCC WGI 2001, SCHÄDLER 2001, BADER/KUNZ 1998 ).

Schließlich weisen Szenarios, die für das obere Ennstal über das (noch nicht wirklich ausgereifte) „downscaling“ von GCM's erstellt wurden sogar geringere Auftretswahrscheinlichkeiten von hohen Abflusswerten auf.

Abb. 5: Anzahl der Tage mit Schneebedeckung, mittlere und maximale Schneehöhen an der Messstelle Diemling (1150 m)



### 2.1.4 Niederschläge: Schnee (Gletscher)

Satellitendaten belegen, dass die Schneebedeckungsdauer seit den späten 60er Jahren um durchschnittlich 10 % (= 2 Wochen) gesunken ist (IPCC wGI 2001, CLIMATE PRESS 2001).

Tägliche Schneehöhenmessungen an der Messstelle Diemling (HAGEN/STARY 2001, Abbildung 5) zeigen ebenfalls: Die mittleren und insbesondere die maximalen Schneehöhen in den letzten Jahren weisen deutlich fallende, die Schneedeckendauer leicht fallende Tendenz auf. Auch Gebirgsgletscher sind während des 20sten Jahrhunderts bereits stark zurückgegangen (IPCC wGII 2001, UBA 1997B).

Dies wirkt sich für Wildbacheinzugsgebiete in mehrfacher Hinsicht aus. Mit einer Verlängerung der „Wildbachsaison“ ist zu rechnen. Kleinflächig kann in hohen Lagen der Rückzug von Gletschern (PROCLIM 2001) bzw. das Aufgehen von Permafrostböden zu einem erhöhten Gefahrenpotenzial führen (vgl. Kapitel 2.3).

Die Auswirkungen könnten aufgrund der angenommenen Ereignisarten (lang anhaltende Niederschlagsereignisse mit vergrößerten Einzugsgebieten durch eine nach oben verschobene Schneefallgrenze) möglicherweise besonders für die Flussregionen bedeutend sein (SCHONBORN 1999) – ein zunehmender Trend von extremen Flusshochwasserereignissen ist bereits zu beobachten (WENGEN 2000, IPCC wGII 2001). Inwieweit dieser aber tatsächlich auf die Klimaänderung und nicht auf Änderungen in den Einzugsgebieten zurückzuführen ist, ist nicht dokumentiert. Eine verstärkte Forderung nach Wasserrückhalt bereits in den Wildbacheinzugsgebieten ist jedenfalls vorhersehbar.

Bezüglich der Lawinensituation lässt sich sagen: Das Winterklima im 20sten Jahrhundert hat sich zumindest nicht derart verändert, dass die Lawinentätigkeit messbar beeinflusst wurde (SCHNYDER 1997).

### 2.1.5 Windgeschwindigkeiten

Bisher konnten weltweit keine systematischen Änderungen in der Frequenz des Auftretens von Unwettern (IPCC wGI 2001) mit Sturmschäden (Tornados,...) festgestellt werden. In Wien nimmt die Anzahl stürmischer Tage (1951 – 1997) mit Windspitzen > 60 km/h (ZAMG 1998) ebenso wie in der Schweiz (PROCLIM 2001) tendenziell ab, wodurch sich aus diesem Klimaparameter aus heutiger Sicht keine gesteigerten negativen Einflüsse auf die Gebirgswälder und die Lawinengefahr ergeben werden.

## 2.2 Ökosysteme

Ökosysteme sind an und für sich als dynamische Systeme ständigen Änderungen unterworfen, allerdings werden die voraussichtlichen Entwicklungen viel zu rasch vor sich gehen um eine natürliche Anpassung zu erlauben. Für das watershed management sind insbesondere Waldökosysteme als natürliche Wasserspeicher und Bodenstabilisatoren von Bedeutung. Diese werden als besonders empfindlich eingestuft (OECD 1998, HEBENSTREIT 2000), da nicht erwartet wird, dass viele Baumarten der Geschwindigkeit des Temperaturanstieges gewachsen sein werden. Im IPCC Report 2001 (wGII) wird festgestellt, dass die Auswirkungen in vielen Ökosystemen bereits spürbar werden.

Vermutete Entwicklungen für den Alpenraum (PROCLIM 2001, IPCC wGI, wGII 2001, ACCC 1995, WSL 2000):

- Erhöhte Produktionskraft durch die erhöhte Temperatur und das erhöhte CO<sub>2</sub> Angebot (erhöhte Transpirationsleistung), solange der dadurch steigende Wasserbedarf gedeckt werden kann.
- Eventuell steigende Waldgrenzen, der Umfang eines allfälligen Anstieges ist aber sehr umstritten.
- Hinauf wandern der Vegetationsbereiche – eine dadurch bedingte erhöhte Instabilität der Waldökosysteme ist die Folge, da viele Bestände plötzlich nicht mehr (bzw. noch weniger) „umweltangepasst“ sein werden.
- Aussterben von Waldgesellschaften, die sich bereits in Gipfelregionen befinden oder nicht schnell genug „ausweichen“ können.
- Erhöhte Gefahr von Waldbränden (speziell in den jetzt schon gefährdeten trockenen Waldgebieten Ost- und Südösterreichs).
- Neue, angepasste Ökosysteme (Waldgesellschaften) werden sich bilden.
- Verlängerte Vegetationszeiten bedeutet auch vermehrten Druck durch Schadinsekten (mehrere Generationen/ Jahr etc.).

Wälder, die sich heute schon am „unteren trockenen Rand“ ihres Verbreitungsgebietes befinden werden in absehbarer Zeit verstärkt von flächenhaften Bestandesauflösung durch Kalamitäten gefährdet sein, aber auch in feuchten Gebieten wird der Artenwechsel zu erhöhter Instabilität führen. Die Auswirkungen mangelhafter Waldausstattung und räumlicher Bestände mussten viele Orte Österreichs in den vergangenen Jahrhunderten bereits leidvoll erfahren. Herabgesetzte Wasserretention, vermehrte

Bodenerosion und damit gehäufte Hangrutschungen und Murereignisse sind die Folge. Gleichzeitig könnte angepasstes Pflanzenmaterial aber auch eine höhere Wuchs- und Transpirationsleistung aufweisen. Jedenfalls werden die Anforderungen an die Waldbewirtschaftung (Planung und Bewirtschaftungsintensität) steigen.

### 2.3 Geomorphologie

Der geomorphologische Aspekt wird in Gletscher-rückzugsgebieten und ehemaligen Permafrostbereichen bedeutsam sein. In entsprechend hohen Lagen sind durch das Zurückweichen der Gletscher bereits große Schuttkörper freigelegt worden (ZIMMERMANN/SCHÖNBORN 1999) wodurch es kleinflächig zu einem stark erhöhten Geschiebeangebot bzw. geologischer Instabilität und dadurch wiederum zu einem erhöhten Gefahrenpotenzial durch Bergstürze, Muren etc. gekommen ist. Die Gefahr die von Wildbächen ausgeht, ist ganz wesentlich von der Menge der Feststoffe abhängig, die bei einem Extremereignis transportiert werden kann (KIENHOLZ ET AL 1998). Mit solchen „Szenarien“ ist in Zukunft verstärkt zu rechnen.

Weiters können verstärkte, lang anhaltende Niederschlagsperioden in geologisch prädestinierten Bereichen das Entstehen großflächiger Hangrutschungen begünstigen und Talzuschübe (HAGEN/LANG 2000) reaktivieren bzw. beschleunigen.

### 2.4 Weitere Auswirkungen

Die wirtschaftlichen Auswirkungen werden das watershed management zumindest indirekt über die Mittelbereitstellung erheblich beeinflussen. Sie werden in unseren Alpenregionen, deren Wohlstand zu einem guten Teil auf den Wintertourismus zurückzuführen ist, gravierend sein. Die für das watershed management wesentlichsten Entwicklungen sollen in der Folge stichwortartig und ohne Anspruch auf Vollständigkeit in ihrer voraussichtlichen Wirkung dargestellt werden (IPCC wgII 2001, NFP 31 2000, ACCC 1995 u.a.m.).

*Trinkwasserversorgung:* Erhöhte Bedeutung durch internationale Nachfrage, längere Hitze- und Trockenphasen auch national bei gleichzeitig weniger Wasserspeicherung als Schnee. Schutzkonzepte werden vermehrt auch die Sicherung der Wasserversorgung beinhalten müssen.

*Wintertourismus:* In tieferen Lagen (erheblich) weniger Gewinn durch steigende Betriebskosten und verkürzte Nutzungszeiträume, Mindereinnahmen gefährden Mittelbereitstellung für Errichtung bzw. Erhaltung von Schutzmaßnahmen.

*Forstwirtschaft:* Einerseits erhöhte Produktionskraft bei ausreichend Wasserversorgung, andererseits erhöhte Disposition gegenüber Kalamitäten, welche in Gebirgsregionen eine Verschärfung der Muren-/Lawinensituation nach sich ziehen kann. Die Anforderungen an Planung und Bewirtschaftung werden steigen.

*Landwirtschaft:* Wasserversorgung wird im Flachland (erhöhte Evapotranspiration) ein zunehmendes Problem werden.

*Naturschutz:* Durch Ausweitung bzw. Neuer-schließung von ökologisch labilen Höhenlagen für Schigebiete usw. sind vermehrt Konflikte vorprogrammiert. Bestehende empfindliche Ökosysteme & Arten werden verstärkt vom Aussterben bedroht sein.

Weitreichende *soziale Auswirkungen*, die von verschlechterten Arbeitsmarktlage in tiefer gelegenen Wintertourismusregionen über vermehrtes Auftreten von bisher in Österreich unbekanntem Krankheiten bis zu einem verstärkten Migrationsdruck aus von Dürre und/oder Hochwasser betroffenen „armen Ländern“ reichen werden.

## 3. Was ist zu tun?

Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze der Problemlösung:

- Die *Verringerung der Treibhausgasemission* ist langfristig gesehen unbedingt notwendig, aber nur durch eine globale Anstrengung erreichbar. Vorläufig muss das Halten der CO<sub>2</sub> Emissionswerte angesichts steigender Bevölkerungszahlen, der beginnenden Technisierung bevölkerungsreicher Staaten (China,...), der Rodung von Waldflächen (C-Speicher) und mangelnder Bereitschaft bedeutender Staaten zur Selbstbeschränkung (USA,...) wohl schon als Erfolg gewertet werden.
- Die *Anpassung an geänderte Rahmenbedingungen* wird jedenfalls notwendig sein, da sich die Welttemperatur in den nächsten Jahrzehnten auch bei (unrealistisch) starker Reduktion der Treibhausgasemissionen aufgrund der Trägheit des Systems erwärmen wird (SEILER 2001). Der Preis für diese

Anpassung wird umso höher sein, je größer die Änderungen sind. Es muss aufgrund der langen Dauer bis zur Wirksamkeit vieler Maßnahmen (Umtriebszeit von Waldbeständen!) vorausschauend geplant werden, gleichzeitig sind die Prognosen aber mit großen Unsicherheiten behaftet. Negative Auswirkungen können abgeschwächt aber nicht 100%ig vermieden werden (IPCC 2001).

Alle Möglichkeiten der Anpassung stoßen früher oder später an Grenzen, welche auch durch erhöhte Flexibilität und vermehrten Mittelaufwand nicht mehr bewältigbar sind. Deswegen wird beim derzeitigen Stand der Dinge nur eine Kombination beider Problemlösungsstrategien erfolgreich sein.

Im Bereich des watershed managements kann über die Anpassung an geänderte Rahmenbedingungen zur Problembewältigung beigetragen werden.

*Voraussetzung dazu sind* (WENGEN 2000, ENRICH 1997, OECD 2000, u.a.m.):

1. **Möglichst genaue Prognosen der zukünftigen Entwicklung** (Temperatur / Niederschlagsmenge (Verteilung, Intensitäten) / Schnee). Die derzeit schon mehr oder minder bekannten Auswirkungen der globalen Klimaänderungen müssen für die einzelnen Regionen zumindest in einem gewissen Rahmen bestimmbar sein. Dies setzt
  - Zirkulationsmodelle voraus, welche die topographischen Gegebenheiten und ihre Auswirkungen insbesondere auf die Niederschlagstätigkeit berücksichtigen und
  - eine entsprechende Datengrundlage, die zur Erstellung und Justierung dieser Modelle notwendig ist
 voraus. Zusätzliche Belastungen der Gebiete (z.B. Luftverschmutzung) müssen berücksichtigt werden.
2. **Resultierend sind die möglichen Auswirkungen der Änderungen (Szenariomodellierung)** regional zu bestimmen, wenn keine Gegenmaßnahmen erfolgen. Es sind sowohl direkte (z.B. höhere Niederschlagsintensitäten, höhere Abflussspitzen) als auch indirekte Auswirkungen (z.B. Herabsetzung der Schutz- und Wohlfahrtswirkungen des Waldes – erhöhte Abflussspitzen, vermehrte Erosion und Rutschungen,...) zu berücksichtigen. Letztere weisen dabei Verflechtungen bis weit in ökonomische und soziale Bereiche auf.
3. **Maßnahmen und Konzepte zur Abschwächung negativer Folgen** durch die geänderten Rahmenbedingungen sind sodann regional angepasst zu

entwickeln. Über die Rückkopplung mit den bestehenden Modellen sind die vorgeschlagenen Maßnahmen in Hinblick auf ihre Wirkung unter verschiedenen möglichen Szenarien zu testen um die Geeignetsten herauszufiltern.

#### *Konkret zu veranlassende Schritte:*

Das in Österreich bestehende meteorologische Messnetz wurde ursprünglich nicht für die Beobachtung von Klimaänderungen konzipiert. Bestehende Datensätze müssen daher, wo dies noch nicht geschehen ist homogenisiert, die Messstellen selbst adaptiert werden (insbesondere solche mit langer Aufzeichnungsdauer). Erstrebenswert wäre ein Netz von Referenzgebieten in verschiedenen klimatischen Bereichen, in welchen systematisch neben Klimadaten (mehrere Stationen in verschiedenen Höhenlagen) auch CO<sub>2</sub> Gehalt, Wasserspeicher-, Abfluss-, Erosionsverhalten und Änderungen in den Ökosystemen erhoben werden, bzw. eine Klimarekonstruktion der Vergangenheit so weit möglich versucht wird (IPCC WGI 2001). Dies muss nicht automatisch eine Verdichtung des Messnetzes zur Folge haben – bei den in Tallagen überrepräsentierten Messstellen könnten im Gegenzug zumindest aus Sicht des watershed managements Stationen aufgelassen werden. Änderungen bzw. Abweichungen von den erstellten Szenarien wären damit wesentlich rascher in denselben berücksichtigbar – neue Erkenntnisse über Wirkungszusammenhänge könnten die Bandbreite der Prognosen einengen.

In einem weiteren Schritt sind bestehende Zirkulationsmodelle zu adaptieren bzw. zu verbessern (IPCC WGII 1996A). Sie müssen die topographische Vielfalt Österreichs entsprechend berücksichtigen, offen für Simulationen sein und räumlich bezogene (und in ein GIS importierbare) Informationen liefern. Es ist die Bandbreite der Klimaszenarien zu definieren, um das Spektrum von möglichen Entwicklungen abdecken zu können. Ausgehend von einem Normaljahr sind sodann die Auswirkungen der einzelnen Klimaszenarien zu simulieren.

Erst dann kann die Planung von Maßnahmen bzw. Bestimmung zukünftiger Gefahrenbereiche effektiv erfolgen.

## Resümee

Bis jetzt sind in Wildbach- und Lawineneinzugsgebieten noch keine eindeutigen Änderungen in Häufigkeit und Intensität von Ereignissen zu erkennen. Dies liegt einerseits daran, dass diesbezügliche Aufzeichnungen lange Zeit nicht umfassend und uneinheitlich durchgeführt wurden und andererseits daran, dass das Klima nur eine von vielen Komponenten für Wildbach- und Lawinenaufschübe ist. Sich ändernde Rahmenbedingungen in Einzugsgebieten (Flächenversiegelungen und Entwaldungen kontra Aufforstungen und bauliche Maßnahmen...) beeinflussen das Abflussverhalten, wie großflächige Entwaldungen bzw. Sanierungen in der Vergangenheit gezeigt haben ganz wesentlich. Dies stellt sowohl eine Chance als auch eine potenzielle Gefahr dar. Zukünftige negative Entwicklungen können durch vorausschauendes watershed management bis zu einem gewissen Grad abgepuffert werden. Gleichzeitig vervielfacht sich das Gefahrenpotenzial wenn eine entsprechende Planung und Vorbereitung fehlt. Grundlage derselben ist ein von Experten geführtes parallel laufendes watershed monitoring um neue oder unerwartete Entwicklungen und Alarmsignale sofort in den bestehenden Modellen, Szenarien und Planungen berücksichtigen zu können – die großen Unsicherheiten in der Prognose erfordern eine hohe diesbezügliche Flexibilität!

Alle vorausschauenden Szenarien, Modellansätze und Planungen müssen scheitern, wenn die entsprechenden Datengrundlagen unzureichend sind – tragischer Weise ist in Österreich eine Mittel- und langfristige Extremisierung in diesem Bereich festzustellen.

## Literaturverzeichnis

- AUSTRIAN COUNCIL ON CLIMATE CHANGE (ACCC, 1995): *Klima-  
veränderung, Wintertourismus und Umwelt*  
<http://www.accc.gv.at/publ/klimaw/teil.htm> [Stand 19.3.01]
- APA – SCIENCE WEEK 2001: *Erdwärmung: Eiswolken verant-  
wortlich*, <http://www.apa.at/scripts/depot3/swe/20010307DBI095.txt>  
Artikel von 3.7.2001
- BADER S., KUNZ P. 1998: *Wirklich mehr Extremniederschläge*  
[http://www.sma.ch/defa\\_z/klimaenderung/tr-past.shtr](http://www.sma.ch/defa_z/klimaenderung/tr-past.shtr) [Stand  
16.3.01]
- CLIMATE PRESS NR.8, 2000: *Wird das Klima extremer*,  
<http://proclim.ch/Press/ClimatePress08D.html> [Stand 19.3.01]
- CLIMATE PRESS NR.11, 2001: *Klimaerwärmung: Schuld spruch im  
Indizienprozess gefällt*  
<http://proclim.ch/Press/ClimatePress11D.html> [Stand 19.3.01]
- EUROPEAN CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL AND SOCIETAL  
CHANGE IN MOUNTAIN REGIONS (ENRICH) Oxford 1997:  
*Global Change in the Mountains*  
<http://www.natur.cuni.cz/kfjgsekr/pers/kalvoda/publ/mrplast.htm>  
[Stand 20.3.01]
- FUCHS M., NACHTNEBEL H.P. 2001: *Szenarien einer Klimaände-  
rung und ihre Auswirkungen auf die Hydrologie in Öster-  
reich*, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und  
Konstruktiven Wasserbau BOKU WIEN, in Fertigstellung
- GOVERNMENT OF CANADA – ENVIRONMENT:  
<http://www.ec.gc.ca/climate/fact/science.htm> [Stand 20.3.01]
- HAGEN K., LANG E 2000: *Schneehydrologische Untersuchungen im  
Einzugsgebiet des Gradenbaches*. Berichte der Forstlichen  
Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 116
- HAGEN K., STARY U. 2001: *Wildbacheinzugsgebiet Mödrtschbach  
Analyse des Niederschlags- und Abflussgeschehens*. Berichte  
der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 125
- HEBENSTREIT K. 2000: *Auswirkungen von Klimaänderungen auf  
die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete*. Wiener Mittei-  
lungen: Wasser/Abwasser/Gewässer Bd. 160
- INTERNATIONAL GOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) WG  
II 1996a: *Auswirkungen von Klimaänderungen auf Bergge-  
biete*. [http://www.proclim.unibe.ch/Reports/ir/ipcc/ipcc\\_WGii\\_5d.htm](http://www.proclim.unibe.ch/Reports/ir/ipcc/ipcc_WGii_5d.htm)  
[Stand 10.3.01]
- INTERNATIONAL GOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)  
1996b WG II: Annex A: *Regional Trends and Variations of  
Temperature and Precipitation*,  
<http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/305.htm> [Stand 3.4.01]
- INTERNATIONAL GOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)  
2001: *Summary for Policymakers (Workgroups I, II, III)*,  
[http://www.metu.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc](http://www.metu.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc) [Stand 3.4.01]
- LEDLEY T.S., SUNDQUIST E.T., SCHWARTZ S.E., HALL D.K., FELLOWS  
J.D., KILLEEN T.L. 1999: *Climate Change and Greenhouse  
Gases in EOS Vol 80, No. 39*,  
[http://www.agu.org/eos\\_elec/199148e.htm](http://www.agu.org/eos_elec/199148e.htm) [Stand 20.3.01]
- MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE 1995: *Klimaänderung  
mit einer geschätzten Wahrscheinlichkeit von 95% nachge-  
wiesen*. <http://www.dkrz.de/neuigkeiten/hasselmann.htm> [Stand  
16.3.01]
- MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT  
– NETHERLANDS 2000, *Climate and Climate Change –  
Information sheet*
- NFP 31 (2000): *Medienmitteilung, Klimaänderungen in der Schweiz*,  
<http://www.admin.ch/uevek/doku/presse/2000/J/00110907.htm> [Stand  
19.3.01]
- OECD (ENV/EPOC(98)10) 1998: *Greenhouse gas emission  
projections and estimates of the effects of measures: Moving  
towards good practice*  
<http://www.oecd.org/env/docs/cc/epoc9810.pdf> [Stand 5.4.01]

- OECD (COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2000)4) 2000: *Greenhouse gas emission projections and estimates of the effects of measures: Moving towards good practice*  
[http://www.oecd.org/env/docs/cc/comenvpocieast\(2000\)4.pdf](http://www.oecd.org/env/docs/cc/comenvpocieast(2000)4.pdf)  
[Stand 5.4.01]
- PROCLIM 1996a: *Auswirkungen von Klimaänderungen auf Berggebiete*. [http://proclim.unibe.ch/Reports/ir/ipcc/ipcc\\_WGii-5d.htm](http://proclim.unibe.ch/Reports/ir/ipcc/ipcc_WGii-5d.htm)  
[Stand 19.3.01]
- SCHADLER B. 2001: *Klimaveränderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz*  
<http://www.kliwa.de/ergebnisse/content2vortrag15.htm> [Stand 19.3.01]
- SCHONBORN A. 1999: *Hochwasser*.  
<http://proclim.unibe.ch/ClimateFacts.htm> [Stand 11.4.01]
- SEILER W. 2001: (IFU) *Globale Klimaveränderung Ursache, Wirkung und Maßnahmen*  
[http://www.ringvorlesung.uni-erlangen.de/inhalte/seiler\\_Inhalt.pdf](http://www.ringvorlesung.uni-erlangen.de/inhalte/seiler_Inhalt.pdf)  
[Stand 3.4.01]
- UBA 1997: *Neuer Bericht über regionale Auswirkungen einer globalen Klimaänderung*,  
<http://www.ubavic.gv.at/pu...ktuell/archiv/1997/11/TM> [Stand 17.11.97]
- WENGEN 2000: *International Workshop on Climatic Change*  
<http://www.unifr.ch/iguf/EVENTS/Wengen/00/Wengen2000.htm>  
[Stand 20.3.01]
- SCHNYDER D. 1997: *Klima, Schnee und Lawinen*, WSL  
<http://www.wsl.ch/media/lawinen-de.htm> [Stand 19.3.01]
- WSL 2000: *Risiken einer Klimaänderung für Wälder*  
<http://www.wsl.ch/land/products/klimaanimation/info.htm> [Stand 16.3.01]
- ZAMG 2000: *Österreichs Klima im letzten Millenium*  
<http://www.zamg.ac.at/klima/klima-millen.htm> [Stand 19.3.01]
- ZAMG 1998: *Klimaanaysen und Klimaexpertisen*,  
<http://www.zamg.ac.at/klima/klima5.htm> [Stand 19.3.01]
- ZIMMERMANN M. & SCHONBORN A. 1999: *Murgänge*  
<http://proclim.unibe.ch/ClimateFacts.htm> [Stand 11.4.01]

Verfasser: Dipl.-Ing. Karl Hagen  
Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
Hauptstraße 7  
A-1140 Wien  
e-Mail: karl.hagen@fbva.bmlf.gv.at

## Untersuchung der Rutschungsprozesse vom Mai 1999 im Laternsertal (Vorarlberg)

P. ANDRECS, G. MARKART, E. LANG, K. HAGEN, B. KOHL, W. BAUER

*Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald*

**Kurzfassung.** Im Mai 1999 kam es im Laternsertal (Vorarlberg) zu zahlreichen Rutschungen. Mit Hilfe eines am Institut für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW ausgearbeiteten Dokumentationsverfahrens wurden insgesamt 147 dieser Rutschungen detailliert aufgenommen. Zielsetzung dabei war es, wichtige Rutschungsparameter (Seehöhe, Exposition, Hangneigung, Geologie, Vegetation, Auslöser, Fläche, Volumen, Tiefe etc.) zu erfassen, statistisch auszuwerten und miteinander zu verknüpfen. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen den Einfluss von Ausgangsparametern auf das Zustandekommen und Ausprägungsformen von Rutschungsvorgängen auf. Darüber hinaus wurden bei insgesamt vier Rutschungen labortechnische Analysen wichtiger bodenphysikalischer Kennwerte (Korngrößenanteil, Porenausstattung, Lagerungs- und Feststoffdichte, organische Substanz und gesättigte Wasserleitfähigkeit) durchgeführt. Auf Basis dieser Werte konnte bei den untersuchten Abbrüchen das Vorhandensein und die Lage von rutschungsfördernden Horizonten im Bodenaufbau nachgewiesen werden.

**Schlüsselworte:** Naturgefahren, Rutschungen, Bodenphysik, Starkniederschlag

**Abstract.** [Investigation of the May 1999 Landslide Processes in the Laternser Valley (Vorarlberg).] In May 1999 several landslides occurred in the Laternser Valley (Province of Vorarlberg). By means of a documentation method elaborated in the Department of Avalanche and Torrent Research at the Austrian Federal Office and Research Centre for Forests 147 landslides could be documented in greater detail. The purpose of the project was to record, statistically evaluate and link important landslide parameters (sea level, exposition, slope gradient, geology, vegetation, release factors, surface, volume, depth, etc.). The results of the investigations reveal the influence of basic parameters on the development of landslides. In addition, laboratory analyses of important soil physical characteristics (particle size, porosity, bulk and particle density, organic matter and saturated water conductivity) were carried out on four landslides altogether. Based on these values the existence and the location of soil horizons favoring landslides could be demonstrated in the soil structure at the considered landslide scars.

**Keywords:** Natural hazards, landslides, soil physics, heavy rain

### 1. Einleitung

Für die Beurteilung von naturräumlichen Prozessen und somit in weiterer Folge auch für die Einschätzung möglicher Gefahrenpotenziale bieten sich zwei Methoden an (KIENHOLZ 1997): auf der einen Seite die zurückblickende Methode der exakten Dokumentation der Schadensereignisse, auf der anderen die vorausschauende Methode der Festlegung zukünftiger Schadensszenarien mit Hilfe von Simulationstechniken auf mathematisch-physikalischer Grundlagen. In vorliegender Arbeit wurde versucht mittels genauer Felderhebungen von Rutschungsprozessen ein Bindeglied zwischen diesen beiden Methoden herzustellen.

Am 20. und 21. Mai 1999 ereigneten sich im Laternsertal (Vorarlberg) zahlreiche Rutschungen.

Das 13 km lange Laternsertal ist ein inneralpines, Ost-West verlaufendes Längstal und wird von der stark geschiebeführenden Frutz durchflossen. Die Frutz entspringt am nordwestlichen Abhang der 1.964 m hohen Löffelspitze in 1.600 m Seehöhe und fließt mit einem durchschnittlichen Gefälle von 8 % nach Westen Richtung Rankweil und mündet schließlich in den Rhein. Die Frutz ist seit 1907 immer wieder verbaut worden. Insbesondere die geschiebeliefernden seitlichen Zubringer wurden mit Sperrern, Steinkästen und Längswerken gesichert. Nachdem sich in dem Gebiet auch immer wieder größere Rutschungen ereigneten wurden rechtsufrig großflächige Oberflächen-Entwässerungssysteme angelegt. Das Laternsertal ist nur rechtsufrig besiedelt (Siedlungen Laterns, Bonacker und Innerlaterns), linksufrige Bereiche werden teilweise als Almen genutzt.

Die Rutschungen vom Mai 1999 wurden durch Starkniederschläge, die auf durch die Witterung der Vorperiode schon sehr stark vorbefeuchtete Böden trafen, ausgelöst. Auf Grund von Gesprächen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW mit dem Leiter des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) in Vorarlberg über die Möglichkeiten einer verstärkten Zusammenarbeit in konkreten Anlassfällen, wurden vom BFW im Laternsertal detaillierte Erhebungsarbeiten an insgesamt 147 Rutschungen durchgeführt. Bei insgesamt vier Rutschungen wurden Bodenproben geworben und diese im Labor analysiert. Durch die dabei erhobenen bodenphysikalischen Kennwerte konnten für die Rutschungsauslösung maßgebliche Einflussfaktoren quantifiziert werden. Die Ereignisse vom Mai 1999 boten durch den Umstand, dass es auf einem flächenmäßig begrenzten Gebiet zu sehr vielen Rutschungen gekommen war, die Möglichkeit statistische Auswertungen wichtiger Rutschungsparameter durchzuführen. Im Rahmen dieser Arbeit wird die eingesetzte Untersuchungsmethodik näher beschrieben und eine Analyse der verschiedenen Rutschungsparameter und Bodenkennwerte vorgestellt. Zielsetzung war es, maßgebliche Einflussfaktoren für Rutschungen aufzuzeigen, zu bewerten und diese den Untersuchungsergebnissen von Rutschungsvorgängen in anderen Gebieten gegenüberzustellen.

## 2. Analyse der witterungsbedingten Auslösefaktoren für die Rutschungsvorgänge

Der Mai 1999 war in großen Teilen Österreichs ein zu warmer Monat: Vorarlberg wies gegenüber dem normalen Monatsmittelwert eine um 2° C erhöhte Monatsmitteltemperatur auf, wobei zwischen 11. und 14. Mai sommerliche Temperaturen herrschten. Ein Kälteeinbruch Mitte Mai führte jedoch zu lokalen Schneefällen bis gegen 1.000 m Seehöhe (ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1999).

Für die Station Innerlaterns wurden die Tagessummen der Niederschläge vom LANDESWASSERBAUAMT BREGENZ zur Verfügung gestellt. Die Station Innerlaterns liegt auf 1.040 m Seehöhe und ist nach den Starkregenkriterien von SCHIMPF (1970) eine so genannte  $K_{15}$  Station. Dies bedeutet, dass im lang-

jährigen Mittel der größte 24-Stunden Niederschlag eines Jahres zwischen 40 und 50 mm beträgt.

Die Normalzahl (durchschnittlicher Jahresniederschlag des Zeitraumes 1961-1990) der seit 1895 betriebenen Messstelle beträgt 1.752 mm, die höchste im Beobachtungszeitraum aufgezeichnete Tagesniederschlagssumme lag bei 223,1 mm (14.06.1910) (HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH).

Die Niederschlagssumme des Mai 1999 lag mit 526,4 mm um 351 % über dem durchschnittlichen Wert des Zeitraumes 1961-1990 für diesen Monat. Sie übertraf auch den bisher gemessenen Höchstwert einer Monatssumme (462 mm im Juli 1954) deutlich. Im Vergleich dazu: auch bei den katastrophalen Waldabbrüche 1965/66 in Osttirol war die durchschnittliche Monatssumme um 300 % überschritten worden (BEINSTEINER UND MAYER 1971). Am 21. Mai wurde ein Tagesniederschlag von 223,3 mm aufgezeichnet, ein Wert der den höchsten seit Messbeginn darstellt.

Um diesen Niederschlag hinsichtlich seiner Jährlichkeit ungefähr einordnen zu können, wurden die in den Jahren 1951 bis 1996 aufgezeichneten Tagesmaxima der jeweiligen Jahre einer Gumbelanalyse unterzogen. Dabei zeigte sich, dass lt. Gumbel ein 100-jährliches Niederschlagsereignis mit einer Sicherheit von 99 % ein Tagesmaximum von 167 mm +/- 48 mm aufweist. Vergleicht man den oberen Wert des Sicherheitsbereiches (215 mm) mit der Niederschlagssumme des 21. Mai 1999, so lag jenes sogar über dem lt. Gumbel zu prognostizierenden 100-jährlichen Tagesniederschlag. Dieses außergewöhnliche Niederschlagsereignis wurde durch die vorangegangene feuchte Witterung noch entscheidend verschärft: In den 10 Tagen vor dem eigentlichen Starkniederschlagsereignis wurden bereits 198 mm Niederschlag verzeichnet. Dies bedeutet, dass der Starkregen des 21. Mai auf einen schon sehr stark vorbefeuchteten Boden fiel. Bezieht man den 21. Mai in die 10-Tages-Niederschlagssumme mit ein, so beläuft sich diese auf 381 mm.

Untersuchungen von HAGEN (1996) zeigten, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Starkniederschlagsereignissen und der Witterung der Vorperiode gibt. Die Wahrscheinlichkeiten für das Zusammentreffen eines Niederschlagsereignisses bestimmter Jährlichkeit und einer bestimmten Vorbefeuchtung des Bodens sind daher miteinander zu multiplizierende Größen. In den Richtlinien der DVWK (1984) werden insgesamt drei verschiedene Stufen für die Vorbefeuch-

tung vorgeschlagen, wobei als Kriterien die Niederschlagssumme der dem eigentlichen Starkniederschlagsereignis vorangehenden fünf Tage herangezogen werden. Die DVWK Einstufung für die Vorbefeuchtung ergab für den 21. Mai in Laterns die Stufe III (kaum noch aufnahmefähiger, stark vorbefeuchteter Boden). HAGEN (1996) ermittelte die Wahrscheinlichkeit für eine solche Vorbefeuchtung für die Station Kufstein mit 3,33 %. Aufgrund der gegenüber der Station Kufstein höheren Jahresniederschlagssumme der Station Laterns (Normalzahl Kufstein: 1.288 mm, Normalzahl Laterns: 1.752 mm) liegt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer DVWK-Stufe III in Laterns höher. Nimmt man diese beispielsweise mit 10 % an, so würde dies in Verbindung mit dem Tagesniederschlag für das Schadenseignis vom 21. Mai 99 eine Jährlichkeit von über 1000 ergeben. Das Ereignis des 21. Mai kann somit sicherlich als ein Extremereignis mit außergewöhnlicher Jährlichkeit bezeichnet werden.

Dafür spricht auch, dass nicht nur die Niederschläge der Vortage zu einer hohen Vorbefeuchtung geführt haben. Auch die Schneeschmelze lieferte einen bedeutenden Beitrag: Aufzeichnungen an der Station Innerlaterns lassen erkennen, dass die Schneeschmelze an diesem Standort bereits am 02. April abgeschlossen war. An Schneeakkumulationsstandorten ähnlicher Seehöhe sowie in höheren Lagen waren aber noch größere Schneemengen vorhanden. So zeigte z.B. die Station Damüls (ca. 10 km von der Station Innerlaterns entfernt auf einer Seehöhe 1.365 m), dass im Zeitraum 19.04 – 11.05 insgesamt 173 cm Schnee abgebaut worden waren.

Die Abflussmessungen an der, das Laternsertal durchfließenden Frutz (Messstelle Laterns) zeigten für die Zeit vom 21.05. 23:00 bis 22.05. 01:00 eine Hochwasserabfluss-Spitze von ca. 130 m<sup>3</sup>/s. Dies ist 62-mal höher als der sekundliche Durchfluss im Jahresmittel (MQ = 2,1 m<sup>3</sup>/s) und war doppelt so hoch wie die bisher höchste aufgezeichnete Hochwasserspitze (70 m<sup>3</sup>/s vom 19.08.1960, Aufzeichnungsperiode 1956-1996 (LANDESWASSERBAUAMT BREGENZ 1999)). Die in den Jahren 1956 bis 1990 aufgezeichneten Maximalabflüsse der jeweiligen Jahre wurden nach Gumbel untersucht. Die Gumbelanalyse ergab dabei für ein 100-jährliches Abflussereignis mit einer Sicherheit von 99 % einen maximalen Durchfluss von 85 m<sup>3</sup>/s +/- 24 m<sup>3</sup>/s. Der obere Wert des Sicherheitsbereiches (109 m<sup>3</sup>/s) liegt somit um 20 % unter dem gemessenen Wert des 21. Mai 1999.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sicherlich die enorme Tagesniederschlagssumme des 21. Mai der zentrale auslösende Faktor für die Rutschungsvorgänge war. Dieses Niederschlagsereignis traf auf einen durch die Witterung der Vorperiode (Niederschlagstätigkeit und Schneeschmelze) schon sehr stark vorbefeuchteten Boden mit entsprechend geringer Wasseraufnahmefähigkeit. Die Verkettung dieser, alle in die gleiche kritische Richtung weisenden Vorgänge, führte dann zur großflächigen Destabilisierung der Hänge.

### 3. Vorarbeiten

Am 7. Juli 1999 erfolgte eine erste Begehung um einen Überblick über die Geländesituation zu gewinnen. Geführt vom Bürgermeister der Gemeinde Laterns sowie einem Gemeindearbeiter wurde das ungefähre Ausmaß der Rutschungen beurteilt und der voraussichtliche Aufwand für die Erhebungsarbeiten veranschlagt.

Am Institut für Wildbach- und Lawinenforschung wurde daraufhin ein Aufnahmeverfahren für die Dokumentation der Rutschungsprozesse entwickelt. In Anlehnung an das SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (1998) sowie bezugnehmend auf die österreichischen Richtlinien für die Standortkartierung (ENGLISCH 1998) wurde ein Formular für die speziellen Erfordernisse der Erhebungsarbeiten im Laternsertal erstellt. Abbildung 1 zeigt den Aufbau dieses Formulars.

Dieses Formular stellte gleichzeitig auch die Eingabemaske für die im EDV-Programm Access entwickelte Rutschungsdatenbank dar. Darüber hinaus wurden auch Vorlagen für die Fotodokumentation und die Anfertigung von Handskizzen geschaffen.

Als für die Geländearbeiten notwendige Ausrüstung wurde folgendes Material zusammengestellt:

grundlegendes Material (Schreibutensilien, Kopien der ÖK 25V, Diktiergerät, Fotoapparat, Feldstecher), Messgeräte (Kompass, Höhen-, Neigungsmesser, Maßband, klappbare Messlatte, Fluchtstangen), Material zur Markierung (Farbspray, Pflöcke, Hammer).

Abb. 1: Formular für die Felderhebungen bei Rutschungsprozessen

		<b>AUFNAHMEBLATT - RUTSCHUNGEN</b> <b>Institut für Lawinen- und Wildbachforschung</b>	
Nummer des Aufnahmeortes	<input type="text"/>	Bundesland	<input type="text"/>
		Ort	<input type="text"/>
Datum der Aufnahme	<input type="text"/>	Datum des Schadensereignisses	<input type="text"/>
aufnehmende Personen 1	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>
		3	<input type="text"/>
Kartierungsart	<input checked="" type="radio"/> an Ort und Stelle <input type="radio"/> Fernerkundung		
Lage ersichtlich gemacht	<input type="checkbox"/>	in	<input type="text"/>
	Ja		Beschreibung wo (z.B.: ÖK 50, Kataster, Übersichtskarte, Detailskizze ...)
markanter Punkt vorhanden	<input type="checkbox"/>	welcher	<input type="text"/>
	Ja		Beschreibung des markanten Punktes (z.B.: Marterl, Gebäude, großer Felsen, Straße, ...)
Seehöhe (am obersten Punkt)	<input type="text"/>	(m)	geschätzt <input type="checkbox"/> Ja gemessen mit <input type="text"/>
Hangneigung	<input type="text"/>	<input type="text"/>	geschätzt <input type="checkbox"/> Ja gemessen mit <input type="text"/>
		Einheit	
Exposition	<input type="text"/>		Einheit <input type="text"/>
Geländeform	Ebene Talboden Terrasse Platte Mulde, Kessel Graben Hangrücken Kuppe Wall Hangfuß Schwemmkegel Schuttkegel andere	Kleinrelief ausgeglichen Rinnen/Gräben Buckel Blockflur Risse	Gesamthang Oberhang Mittelhang Unterhang
			Ausdehnung des Relieffeldes Länge (m) <input type="text"/> Breite (m) <input type="text"/> nähere Angaben zu "andere" <input type="text"/>
Vegetationsform	Wald Waldrand Wiese Weide Piste	nähere Angaben zur Vegetation <input type="text"/> (z.B. Baumarten, Altersklasse, Zustand, Schlussgrad, ...)	
Art des Prozesses	Translationsrutschung Rotationsrutschung Hangmure Absenkung/Einsturz Uferanriss Runse anderer	nähere Angaben zu "andere" <input type="text"/>	<input type="text"/>
			<input type="text"/>
vermuteter Auslöser	Hangwasser Seitenerosion Tiefenerosion anthropogen andere	nähere Angaben zur Auslösung <input type="text"/>	<input type="text"/>
			<input type="text"/>

Schutzbauten vorhanden  Ja  Nein  Nicht erhoben

Schäden an Schutzbauten  Ja  Nein  Nicht erhoben

Art der Schutzbauten

nähere Angaben zu den Schäden

(z.B. zerstörte Drainage, Ausfälle von Versorgungseinrichtungen, bedrohte Gebäude, geworfene Bäume, ...)

Ablagerung erkennbar  Ja  Nein  Nicht erhoben

gefundenes Größtkorn  Länge (cm)  Breite (cm)

nähere Angaben zur Ablagerung

eigene Bilddokumentation vorhanden    
Ja (Art der Dokumentation (z.B. Foto, Video, ...))

Kontaktpersonen vorhanden    
Ja (Angaben zur Kontaktperson (z.B. Name, Adresse, Funktion, ...))

welche Infos hat Kontaktperson

eventuell Gefahr vorhanden    
Ja was ist zu veranlassen

werden noch Unterlagen benötigt    
Ja welche Unterlagen

Zusatzinformationen   
(z.B. Besonderheiten, stumme Zeugen, ...)

#### 4. Erhebungsarbeiten

Das Untersuchungsgebiet weist eine Fläche von 48,6 km<sup>2</sup> und teilt sich auf folgende Gemeinden auf: Laterns (39,9 km<sup>2</sup>), St. Gerold (3,9 km<sup>2</sup>), Übersaxen (3,0 km<sup>2</sup>), Zwischenwasser (1,5 km<sup>2</sup>), und Rankweil (0,3 km<sup>2</sup>). Diese Flächen wurde durch Planimetrierung aus der ÖK 25V ermittelt. Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Rutschungen ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

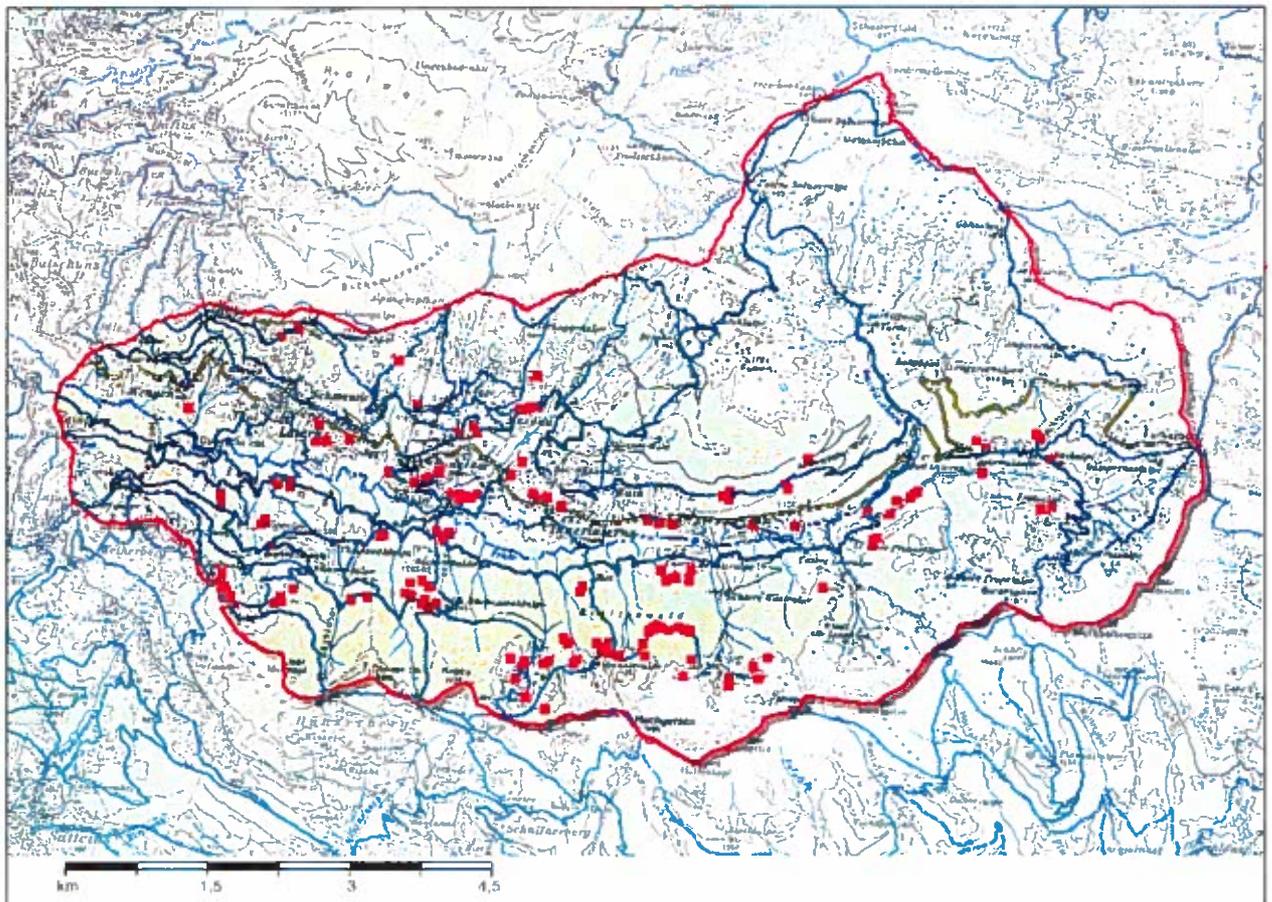
Die Erhebungsarbeiten zur Dokumentation der Rutschungen wurden in den Monaten Juli bis September 1999 durchgeführt, wobei insgesamt 16 Tage an Geländearbeiten notwendig waren. Die Arbeiten wurden dabei jeweils von 2-Mann-Teams durchgeführt, wobei die oftmals langen Anmarschwege zu den Rutschungen einen geschätzten Anteil von 30 % des Gesamtzeitaufwandes darstellten.

Die Vorgangsweise bei der Dokumentation war dabei Folgende: Nach Auffinden einer Rutschung

bekam diese eine Nummer zugewiesen und wurde lagemäßig in die ÖK 25V eingezeichnet. Die Kennzeichnung der Rutschung im Gelände erfolgte mittels Spraymarkierung und/oder Pflöcken. Daraufhin wurde eine Handskizze der Rutschung erstellt, die Formularparameter (s. Abb. 1) erhoben und Fotoaufnahmen gemacht. In Abhängigkeit der Flächengröße bzw. morphologischen Ausprägung der Rutschungen wurde abschließend eine entsprechende Anzahl von Quer- und Längsprofilen aufgenommen. Insgesamt wurden 147 Rutschungen auf diese Art und Weise dokumentiert, wobei Rutschungen, deren Flächen weniger als 10 m<sup>2</sup> betragen von den Erhebungen ausgeklammert blieben. Die drei Großrutschungen (in der Nähe der Pension Bergfrieden, beim Feuerwehrhaus in Bonaker bzw. im Uferbereich der Frutz) wurden ebenfalls nicht nach dem beschriebenen Aufnahmeverfahren erfasst. Von der WLV wurden für die beiden erstgenannten Rutschungen geotechnische Gutachten in Auftrag gegeben. Die Rutschung beim Feuerwehrhaus wies eine maximale Länge von ca. 150 m und eine Breite von ca. 100 m auf. Sie führte

Abb. 2:

Die Rutschungen im Untersuchungsgebiet Laternsertal



zu einem Abgelenken der Landesstraße auf einer Länge von 20 m und gefährdete das Feuerwehrhaus (OBERHAUSER 1999).

Bei der Großrutschung Bergfrieden und bei weiteren drei ausgewählten Rutschungen wurden von Mitarbeitern des Institutes zusätzlich Bodenproben für die Analyse von Bodenkennwerten gewonnen (s. Kapitel 6).

Im Anschluss an die Feldarbeiten wurden die Daten der Erhebungsformulare in die Rutschungsdatenbank eingebracht. Die Handskizzen wurden maßstabsgetreu reingezeichnet und digitalisiert. Alle Fotos wurden in digitaler Form abgespeichert und die gewonnenen Bodenproben analysiert.

welcher Methode der jeweilige Parameter erhoben wurde und welche Unterscheidungskriterien maßgeblich waren. Kernstück des Abschnittes 5.1 ist die Darstellung der Verteilung dieser Parameter auf die erhobenen Rutschungen. Dieser Teil sollte für die Beurteilung der im Abschnitt 5.2 vorgestellten Verknüpfungen der verschiedenen Parameter als Grundlage dienen.

## 5. Kommentierte Auswertungsergebnisse

### 5.1 Basisauswertungen der Rutschungsparameter

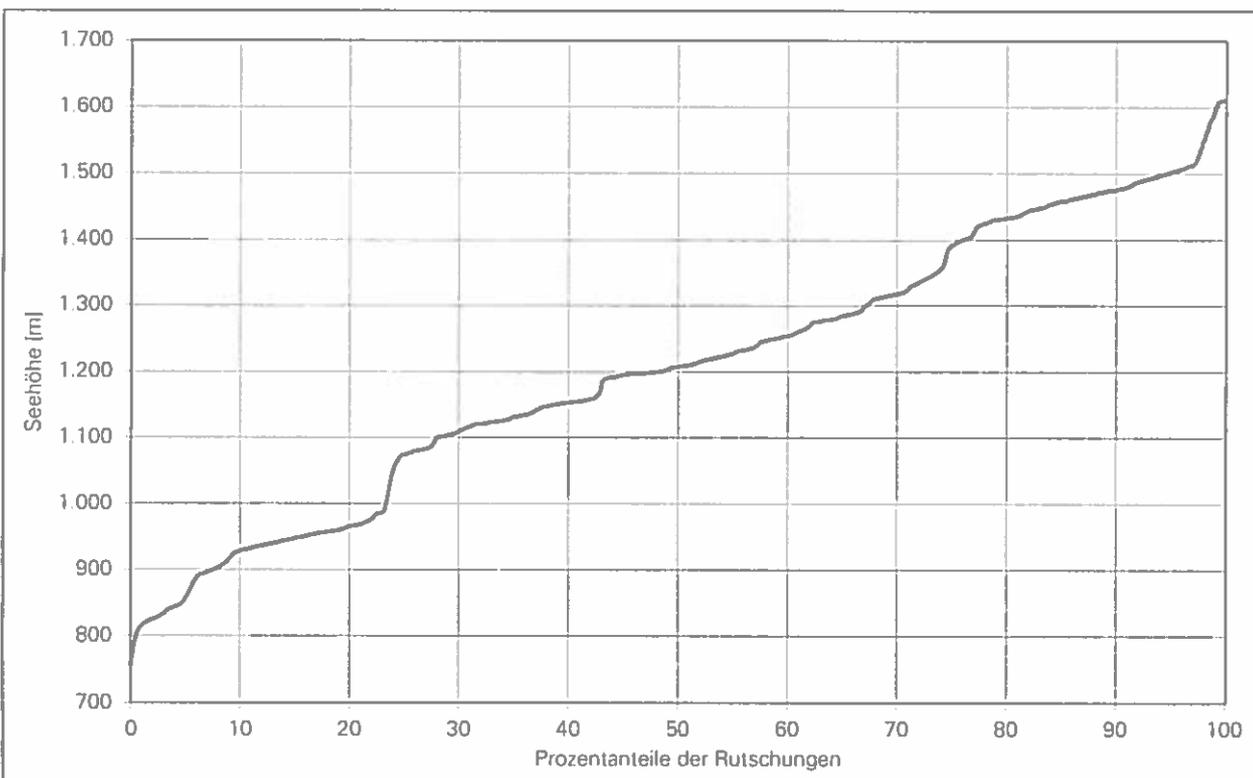
In diesem Abschnitt werden Parameter, die für die Klassifizierung von Rutschungen kennzeichnend sind, vorgestellt. Dabei wird beschrieben, mit

#### 5.1.1 Seehöhe

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
147	Casio-Höhenmesser-Modul 943	[m]	10	100 m

Für das Auftreten von Rutschungsprozessen ist die Seehöhe sicherlich nur ein über die Kombination anderer primär wirkender Einflussfaktoren (Hangneigung, Geologie, Vegetation etc.) zusammengesetzter Parameter. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass im Untersuchungsgebiet über 90 % aller Rutschungen zwischen 900 m und 1.500 m

Abb. 3:  
Summenlinie der Prozentanteile der Rutschungen in Abhängigkeit von der Seehöhe



stattgefunden haben. Abbildung 3 zeigt wie sich die Anzahl der Rutschungen seehöhenabhängig verteilt.

Nur 5 % aller Rutschungen fanden oberhalb von 1.500 m statt. Bei höher gelegenen, zumeist waldfreien Gebieten konnten zwar zahlreiche Erosionsrinnen, aber keine neuentstandenen Rutschungsflächen beobachtet werden. Der im Falle des Starkregenereignisses vermutlich vorhandene Oberflächenabfluss aus diesen höher gelegenen Gebieten hat die darunter liegenden Waldflächen durch zusätzliche Wasserzufuhr belastet.

### 5.1.2 Exposition

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
146	Meridian-Kompass	Neugrad	8	50°

Anhand einer Analyse des untersuchten Gebietes mit Hilfe des Geoinformationssystems des Landes Vorarlberg "VOGIS" (FRANGL 2001) wurden die

Expositionsanteile des untersuchten Gebietes festgestellt. Das dabei angewandte Klassifikationsschema wird in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1:  
Klassifikation der Expositionen

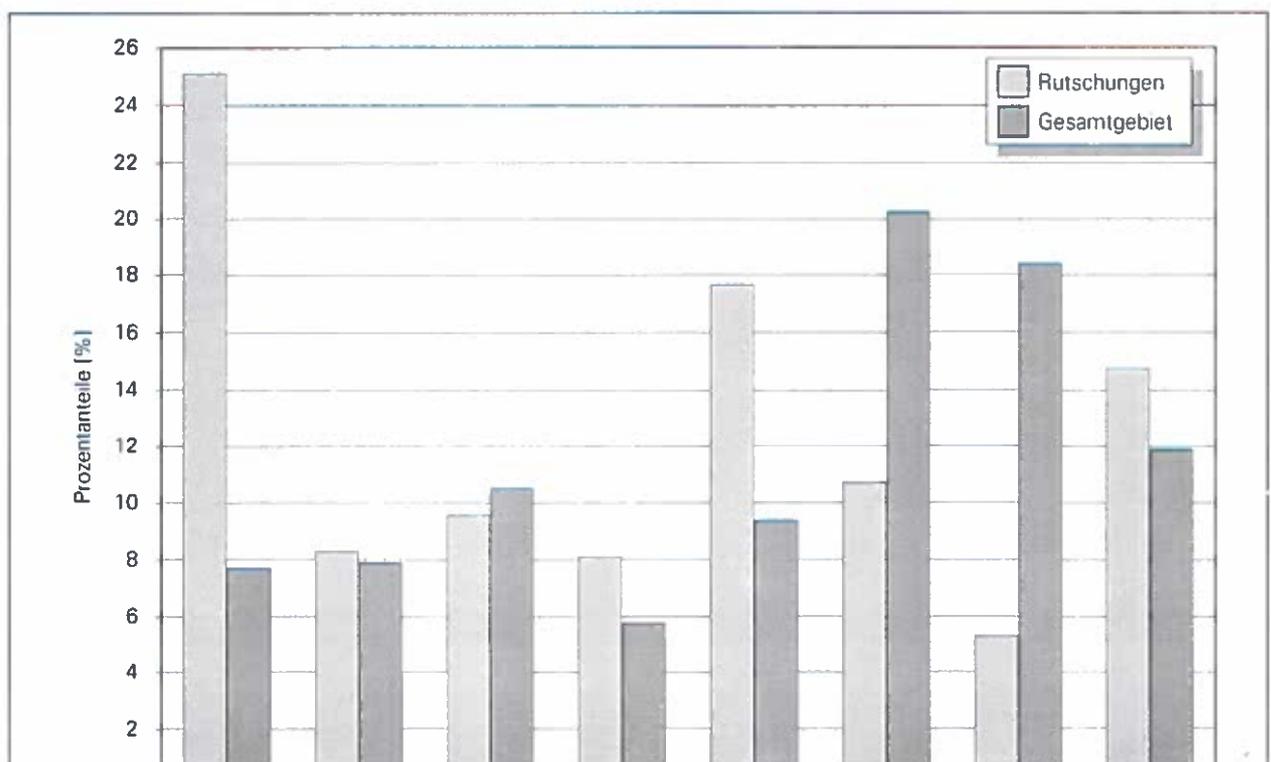
Bezeichnung	Maßeinheit [g]
Nord	375 - 400 und 0 - 25
Nordost	325 - 375
Ost	275 - 325
Südost	225 - 275
Süd	175 - 225
Südwest	125 - 175
West	75 - 125
Nordwest	25 - 75

Abbildung 4 zeigt, welche Anteile die verschiedenen Expositionsklassen am gesamten Gebiet hatten und wie sich die Rutschungen prozentual auf diese verteilten.

Aus Abbildung 4 geht klar hervor, dass die Expositionen Nord, Süd und Nordwest am häufigsten von Rutschungen betroffen waren. Bei diesen Expositionen ereigneten sich auch wesentlich mehr Rutschungen als es ihrem Anteil am Gesamtgebiet entsprach. In Tabelle 2 wird für das untersuchte

Abb. 4:

Anteile verschiedener Expositionen am Gesamtgebiet bzw. Verteilung der Rutschungen auf diese Expositionen



Gebiet eine Rutschungsgefährdungsklassifikation in Abhängigkeit von der Exposition vorgestellt.

**Tab. 2:**  
Gefährdungsindex für das Auftreten von Rutschungen bei verschiedenen Expositionen

Exposition	Gefährdungsindex
Nord	11,1
Süd	6,4
Südost	4,8
Nordwest	4,3
Nordost	3,5
Ost	3,1
Südwest	1,8
West	1,0

Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Rutschung im Untersuchungsgebiet an Nord exponierten Hängen 11 mal höher war als bei West exponierten Hängen. Der Einfluss der Hangorientierung auf die Rutschungsaktivität ist sicherlich ein gebiets- bzw. auch jahreszeitspezifischer. So waren z.B. bei den von RICKLI (2001) untersuchten 280 durch ein Starkregenereignis ausgelösten Rutschungen im Raum Sachseln (Kanton Obwalden, Schweiz) ebenfalls die nordexponierten Hänge am häufigsten von Rutschungen betroffen. Im Gegensatz dazu ergaben Untersu-

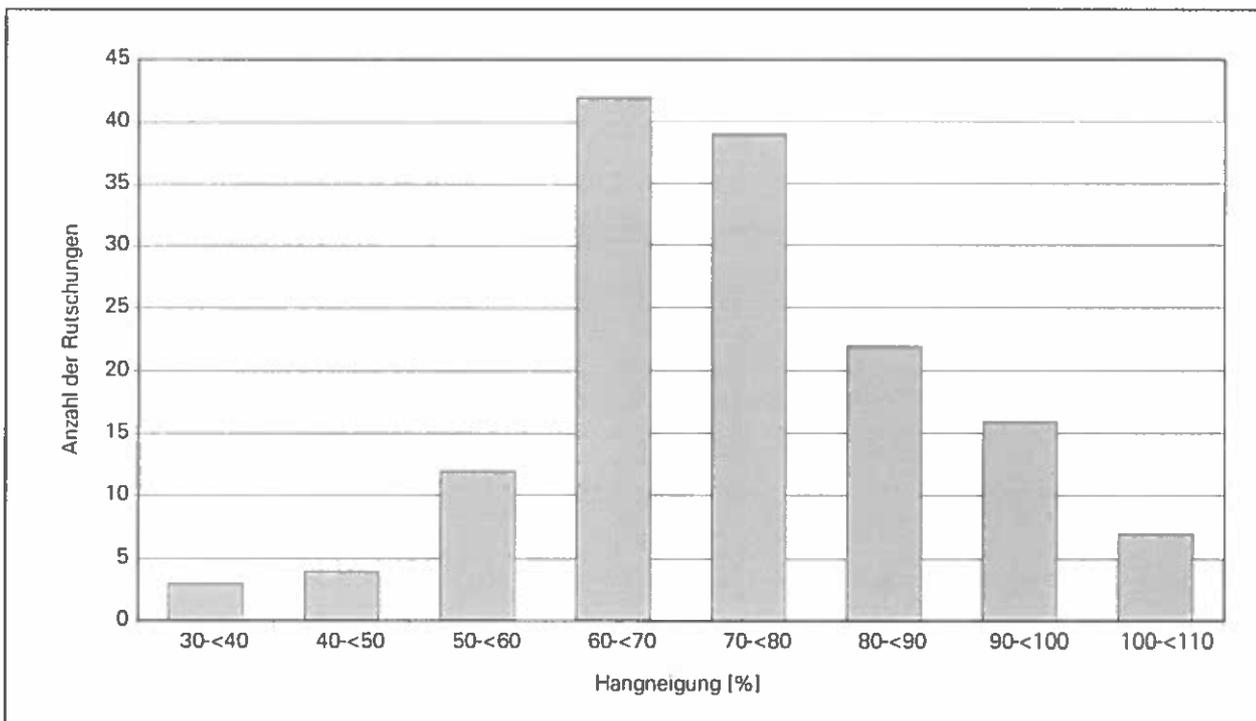
chungen von MOSER (1980) eine höhere Rutschungsaktivität bei Süd- bzw. Südwesthängen. Als Begründung führte MOSER die intensivere Schneeschmelze an diesen Hängen an.

**5.1.3 Hangform**

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
134	okulare Ansprache	Ober-, Mittel-, Unterhang	3	

Insgesamt ist das Untersuchungsgebiet von einem z.T. sehr bewegte Kleinrelief geprägt, welches auf wiederholte Rutschungsvorgänge in der Vergangenheit hinweist. Von den untersuchten neuen Rutschungen fanden 61 % auf Mittelhängen, d.h. also in Hangbereichen, die weder ober- noch unterhalb der Rutschung bemerkenswerte Veränderungen der Hangneigung aufweisen statt. 23 % der Rutschungen entfielen auf Unterhänge, nur 16 % auf Oberhänge. Rutschungsanalysen von RICKLI (2001) in Sachseln (Schweiz) ergaben ebenfalls, dass Mittelhänge die mit Abstand höchste Rutschungsaktivität aufwiesen.

**Abb. 5:**  
Anzahl der Rutschungen bei bestimmten Hangneigungen



### 5.1.4 Hangneigung

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungs-kriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
145	Meridian-Gefällsmesser	(%)	8	10 %

Die über alle Rutschungen hinweg ermittelte durchschnittliche Hangneigung lag bei 73 %. Die Verteilung auf die einzelnen Hangneigungsklassen zeigt Abbildung 5.

87 % aller Rutschungen waren steiler als 60 %, wobei der Hauptanteil der Rutschungen an Hängen mit Hangneigungen zwischen 60 % und 80 % auftrat. Eine sehr ähnliche Verteilung der Rutschungshäufigkeiten bei bestimmten Hangneigungsklassen zeigten auch die von MOSER und SCHÖGER (1989) durchgeführten Untersuchungen der Rutschungen im mittleren Inntal 1985 auf: Die größte Häufigkeit der Rutschungen lag in der Hangneigungsklasse 31 °-35 ° (entspricht 69 % - 78 %). Die erhöhte Rutschungsaktivität bei zu-

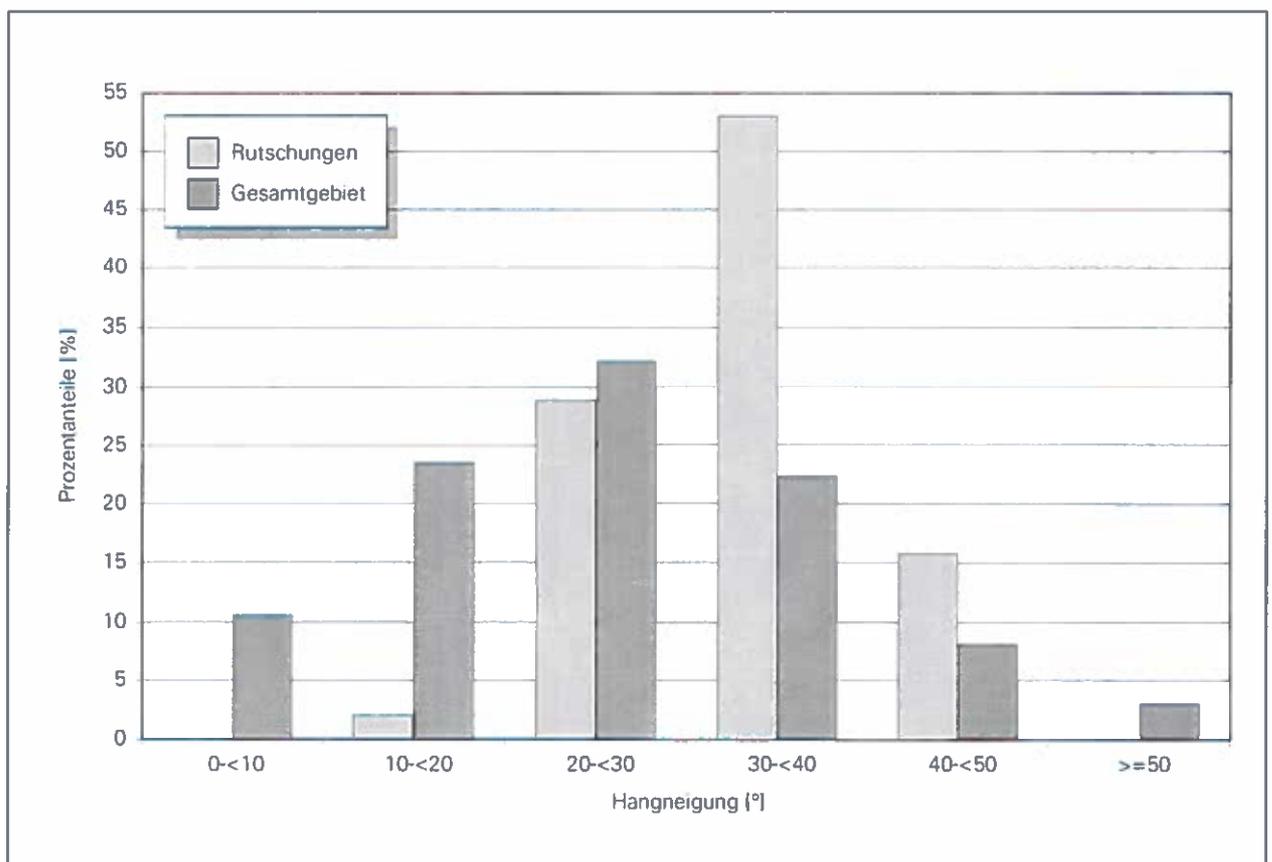
nehmender Hangneigung ist aufgrund bodenmechanischer Gesetzmäßigkeiten ein nicht unerwartetes Ergebnis. Der Umstand, dass bei Überschreiten einer Neigung von 70 % die Anzahl der Rutschungen wieder abnimmt erscheint zunächst etwas widersprüchlich, zeigte sich jedoch auch bei anderen Studien (MOSER UND SCHÖGER 1989 und RICKLI 2001). Als eine Begründung führt MOSER (1997) die Abnahme der Mächtigkeit des Lockermaterials bei zunehmender Hangneigung an.

Diese Ergebnisse wurden nun in Abbildung 6 mit der Flächenverteilung des Gesamtgebietes auf die einzelnen Neigungsklassen in Zusammenhang gestellt. Die Daten des Gesamtgebietes wurden wieder aus dem "VOGIS" ermittelt (FRANGL 2001). Da dort die Neigungsklassen in 10°-Klassen angeführt werden, wurden die bei den Rutschungen erhobenen Neigungsprozentanteile ebenfalls in diese Maßeinheit umgerechnet.

Abbildung 6 zeigt, dass unter 10° bzw. über 50° Hangneigung keine Rutschungen auftraten, obwohl insgesamt 14 % des gesamten Gebietes diese Neigungen aufwies. Aufgrund des Vergleichs der abgebildeten Prozentanteile der Hangneigungen

Abb. 6:

Anteile verschiedener Hangneigungsklassen am Gesamtgebiet bzw. Verteilung der Rutschungen auf diese Klassen



(Anteile der Rutschungen - Anteile am Gesamtgebiet) wurde ein Gefährdungsindex für das untersuchte Gebiet erstellt (s. Tabelle 3).

**Tab. 3:**  
*Gefährdungsindex für das Auftreten von Rutschungen bei verschiedenen Hangneigungen*

Hangneigung [°]	Gefährdungsindex
30-<40	27,0
40-<50	22,1
20-<30	10,2
10-<20	1

Der Gefährdungsindex (s. Tabelle 3) weist für Neigungen von 30-40° eine beinahe dreimal so hohe Wahrscheinlichkeit von Rutschungen auf als für Neigungen von 20-30°. Somit war nicht nur die Häufigkeit sondern auch die Auftretensdichte von Rutschungen bei Neigungsverhältnissen von 30-40° die höchste.

**5.1.5 Vegetation**

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
142	okulare Ansprache	Wald, Waldrand Wiese, Weide Piste	5	

Neben der Zuteilung der Rutschung zu einer der 5 angeführten Vegetationseinheiten wurden in den Erhebungsformularen zusätzliche Vegetationsbeschreibungen angeführt. Diese beinhalten Baumarten, geschätztes Alter der Bestände, Schlussgrad, Stammformen, wichtige Zeigerpflanzen etc. Tabelle 4 gibt Aufschluss über die Verteilung der Rutschungen auf die verschiedene Vegetationseinheiten.

**Tab. 4:**  
*Anzahl der Rutschungen bei verschiedenen Vegetationseinheiten*

Vegetationseinheit	Prozentanteil aller Rutschungen
Wald	43,7
Waldrand	26,7
Wiese	20,4
Weide	8,5
Piste	0,7

70 % aller Rutschungen fanden im Wald bzw. am Waldrand statt. Der Waldanteil des Untersuchungsgebietes wurde durch Planimetrierung aus der ÖK 25V ermittelt und beträgt ca. 50 %. Dies bedeutet, dass die Rutschungsdichte auf Waldflächen deutlich höher lag als bei anderen Vegetationsformen. Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass Wald im Vergleich zur Freifläche flächenmäßig wesentlich stärker auf den steileren und somit a priori gefährdeteren Hangbereichen vertreten ist. Der positive Einfluss der Vegetationsform Wald auf die Hangstabilität wird dadurch nicht in Frage gestellt (s. auch 5.2.3). Es zeigte sich aber auch schon bei den Untersuchungen von MOSER (1980), dass der Wald seine Bedeutung speziell bei der Hintanhaltung kleinerer Rutschungen hat. Bei größeren Rutschvorgängen mit tief liegender Gleitschicht tritt der Einfluss der Vegetationsform zurück.

Für Rutschungen im Waldbereich spielt dabei das Gewicht der stockenden Baummassen im Vergleich zum Gewicht des Bodens sicherlich nur eine untergeordnete Rolle, wenngleich die Bedeutung dieser Auflast mit zunehmender Flachgründigkeit der Böden zunimmt. Bei flachgründigen Böden hat darüber hinaus auch die Durchwurzelung - infolge der tlw. fehlenden Verankerung mit dem Untergrund - nicht die stabilisierende Wirkung wie auf tiefgründigeren Böden (BEINSTEINER und MAYER, 1971).

Wald- und Lichtungsrändern sind insbesondere durch den Faktor Wind von Bedeutung. Durch Windwürfe kann es zu einem plötzlichen Aufreißen der Bodenoberfläche kommen. Diese aufgerissenen Flächen können dann Initialpunkte weiterer Rutschungsvorgänge werden. Inwieweit dies allerdings bei den untersuchten Rutschungen eine Rolle spielte, ließ sich nicht einwandfrei ermitteln.

**5.1.6 Geologie**

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
125	okulare Ansprache	Gehängeschutt, Sackungen und Bergzerreissungen, Moränenschutt, anstehendes Gestein	4	

Eine geologische Zuordnung wurde von GOTTSCHLING (2000) anhand geologischer Karten (HEISSEL ET AL. 1953-64 bzw. OBERHAUSER 1982) und des

erstellten Fotomaterials getroffen. Für die Rutschung Nr. 37 gibt es darüber hinaus ein geotechnisches Gutachten des Zivilingenieurbüros Oberhauser.

Anhand der geologischen Karte traten in folgenden Sedimenten Rutschungen auf: Gehängeschutt, Moränenmaterial und anstehendes Gestein. Darüber hinaus fanden Rutschungen auch im Schutt von Sackungen und Bergzerreissungen statt. Folgende Gesteine waren rutschgefährdet: Globigerinen-Leimer-Amdenermergel (Ultrahelvetikum bis Helvetikum), Reiselsberger Sandstein, Piesenkopfschichten (Mergelkalke) und Planknerbrückenserie (gehören dem Vorarlberger Flysch an). GOTTSCHLING gliederte die Sedimente vorerst in 11 Gruppen. Diese wurden dann in vier Größeneinheiten unterteilt, wobei die Sedimente altersmäßig nach Schichtgliedern eingeordnet und eine Aufgliederung nach geotechnischen Eigenschaften erfolgte:

- Gehängeschutt: ungerundete, z.T. eckige Steine, teilweise verlehmt, in steilen Hanglagen geringmächtige Überlagerung vorwiegend des Reiselsberger Sandsteins. Die Gleitfläche liegt zwischen Reiselsberger Sandstein und Gehängeschutt. Die beiden Sedimente haben verschiedene Wasseraufnahmefähigkeit, bei verlehmtem Gehängeschutt kommt noch die höhere Quellfähigkeit der Tone hinzu. Nord- und südwestlich von Innerlaterns stehen Kalkmergel bzw. Mergelschiefer an, Böschungen und Schuttkegel tragen in diesem Bereich vorwiegend verwitterte Mergelgerölle mit hohem Tongehalt und daher hoher Quellfähigkeit.
- Moränenschutt: gut gerundetes Gesteinsmaterial z.T. große Gerölle, aus der letzten Eiszeit und Schotter ihren Rückzugsstadien, konglomeratähnliche Sedimente in toniger Matrix z.T. mit kleinen, eckigen Gesteinssplittern. Die Mächtigkeit der Moränenablagerungen über dem Gestein ist vom Relief abhängig und kann viele Meter betragen. Die Stabilität des Moränenmaterials ist wegen der Quellfähigkeit der Tone bei Wasserzufuhr problematisch.
- Anstehendes Gestein: aus Kalkmergel bis Mergelschiefer bestehend. Diese verwittern in kleine Stücke, haben daher eine große Oberfläche und bilden oftmals Gleitflächen aus. Der Reiselsberger Sandstein verwittert meist dickbankig. Auf Grund der hohen Wasseraufnahmefähigkeit bei verwittertem Material kann es bei vermehrter Wasserzufuhr zur Ablösung von Gesteinsplatten aus der Verwitterungsschicht kommen.
- Sackungen und Bergzerreissungen: durch Kleintektonik bedingte Hebungen einzelner Teile des

Gebirgskörpers. Durch Abschmelzen der Gletscher in der Postglazialzeit (nach Würm) wurden die Kammbereiche unterschritten und die Stabilität durch Sackungen und Großrutschungen wiederhergestellt.

Tabelle 5 zeigt, wie sich die Rutschungen auf die verschiedenen geologischen Einheiten verteilen.

Tab. 5:  
Anzahl der Rutschungen bei verschiedenen geologischen Einheiten

geologische Einheit	Prozentanteil aller Rutschungen
Gehängeschutt	48,8
Moränenschutt	36,8
anstehendes Gestein	12,8
Schutt von Sackungen und Bergzerreissungen	1,6

Beinahe die Hälfte aller Rutschungen fanden im Gehängeschutt statt. Die stark wechselnde Gründigkeit der Böden und die damit verbundene sehr ungleichmäßige Wasserführung war sicherlich eine Hauptursache für die Auslösung vieler Rutschungsprozesse.

#### 5.1.7 Prozessart

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
1142	okulare Ansprache	Translations-, Rotationsrutschung, Hangmure, Absenkung	4	

Zweifelsohne kann bei Rutschungen nicht immer eine klare Trennlinie zwischen Rotations- und Translationsrutschung gezogen werden. Die Unterscheidung erfolgte daher nach der dominierenden morphologischen Ausprägungsform. War z.B. eine annähernd hangparallele Gleitschicht vorhanden, so wurde die Rutschung als Translationsrutschung eingestuft. Diese Gleitschicht war in den meisten Fällen zwischen anstehendem Gestein und Verwitterungsdecke gegeben, es konnten aber auch Gleitzonen innerhalb der Verwitterungsdecke beobachtet werden. Insgesamt wurden 85 % aller Rutschungen als Rotationsrutschungen eingestuft, 11 % als Translationsrutschungen.

5.1.8 Auslöser

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
146	okulare Ansprache	Hangwasser, anthropogen, Tiefenerosion, andere	4	

86 % aller Rutschungen wurden durch überreiche Hangwasserzufuhr ausgelöst (s. auch 6.4). Damit war einerseits eine Reduktion des natürlichen Böschungswinkels verbunden, andererseits lässt die Morphologie der Rutschungen auch auf Hangexplosionen als Reaktion auf den Aufbau eines großen Porenwasserdruckes schließen. Das Material der Gleitkörper wurde in der überwiegenden Anzahl der Fälle durch das Hangwasser abtransportiert, wobei dies tlw. murenartig erfolgte.

9 % der Rutschungen waren durch direkte anthropogene Tätigkeiten zumindest mitbeeinflusst. Der durch menschliche Einflussnahmen (insbesondere durch straßenbauliche Maßnahmen) verursachte Anteil war jedoch – vergleicht man beispielsweise die Untersuchungen von LANGER (1975) – nicht sehr hoch. (LANGER attestierte bei 2/3 aller bei den Katastrophenereignissen in Kärnten im Frühjahr 1975 aufgetretenen Geländeabbrüchen vorhandene Weganlagen als Verursacher). Bedenkt man die doch große Aufschließungsdichte von ca. 40 lfm/ha für den von der Agrargemeinschaft Rankweil bewirtschafteten Waldanteil (AGRARGEMEINSCHAFT RANKWEIL), so spricht dies für eine (sowohl die Trassenführung als auch die Wasserableitung betreffend) sorgfältig durchgeführte Erschließung im Untersuchungsgebiet.

5.1.9 Abmessungen

Im Gelände wurden die maximale Länge, Breite und Tiefe jeder Rutschung gemessen. Darüber hinaus wurden pro Rutschung durchschnittlich 3 Querprofile mit jeweils 4 Tiefenmessungen aufgenommen. Anhand dieser Messungen konnten weitere Rutschungsparameter abgeleitet werden.

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungskriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
<b>maximale Länge, maximale Breite</b>				
146	Messung (Messlatte, Maßband)	[m]		
<b>maximale Tiefe</b>				
135	Messung (Messlatte, Fluchtstange)	[m]	12	0,5 m
<b>Formfaktor</b>				
140	Berechnung	dimensionsloser Faktor	8	1
<b>Fläche</b>				
140	Berechnung	[m <sup>2</sup> ]	12	100 m <sup>2</sup>
<b>mittlere Tiefe</b>				
127	Berechnung	[m]	7	0,5 m
<b>Volumen</b>				
127	Berechnung	[m <sup>3</sup> ]	11	100 m <sup>3</sup>

5.1.9.1 Formfaktor

Dieser Formfaktor dient zur Klassifikation der Rutschungsform indem er das Verhältnis zwischen der maximalen Länge und der „mittleren Breite“ der Rutschung beschreibt. Die „mittlere Breite“ ergibt sich dabei aus der Division der Fläche der Rutschung durch ihre maximale Länge. (Formfaktor = maximale Länge/„mittlere Breite“ wobei „mittlere Breite“ = Fläche/maximale Länge).

Je größer der Formfaktor, desto „schlanker“ die Rutschung. Der über alle Rutschungen gemittelte Formfaktor betrug 2,18. Mehr als die Hälfte der Rutschungen wiesen einen Formfaktor unter 2, mehr als 80 % einen unter 3 auf.

5.1.9.2 Fläche

Die im Gelände ermittelten Rutschungsabmessungen wurden in Handskizzen erfasst. Diese wurden im Büro unter Zuhilfenahme der Messprofile maßstabsgetreu reingezeichnet und zur Flächenermittlung schließlich digitalisiert. Die Gesamtsumme der Rutschungsflächen betrug 2,9 ha, wobei weder die bereits sanierten Rutschungen noch die drei Großrutschungen (s. Abschnitt 4.) mit berücksichtigt wurden. Die Verteilung der Rutschungen auf

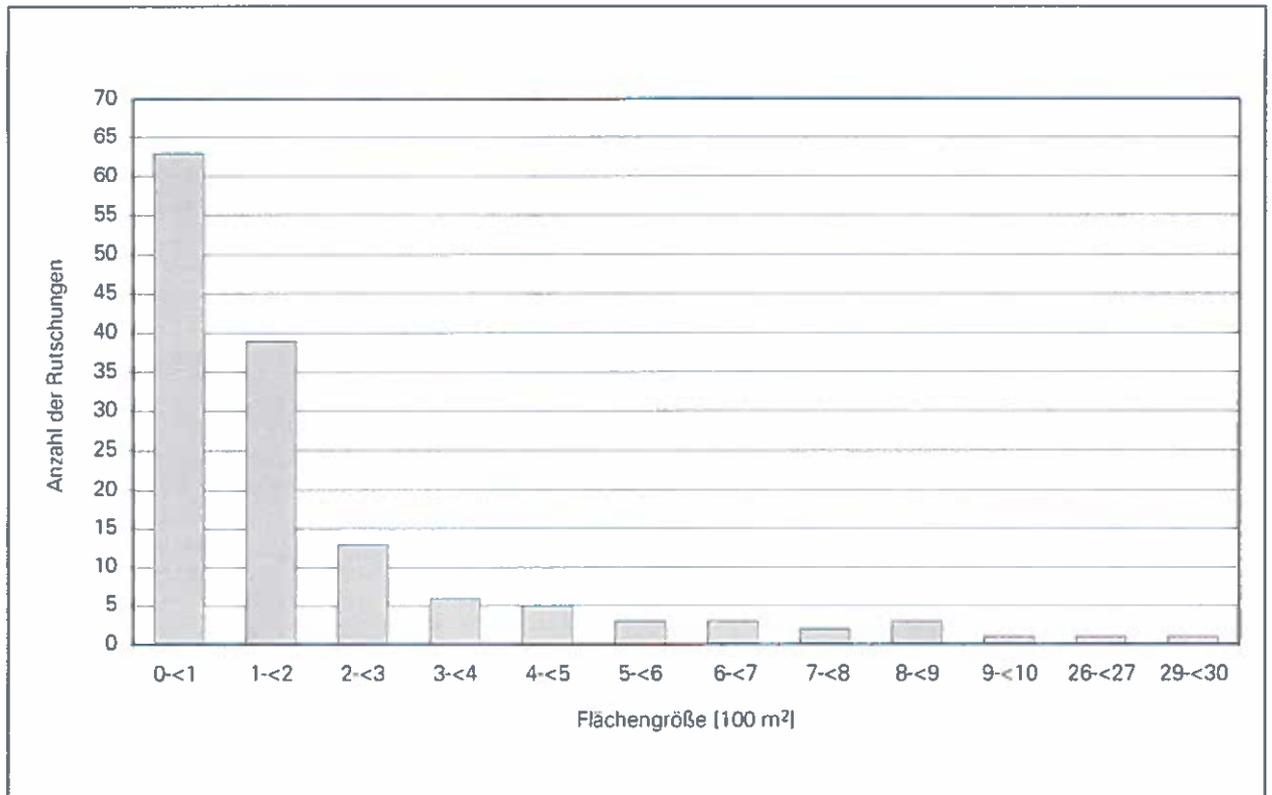
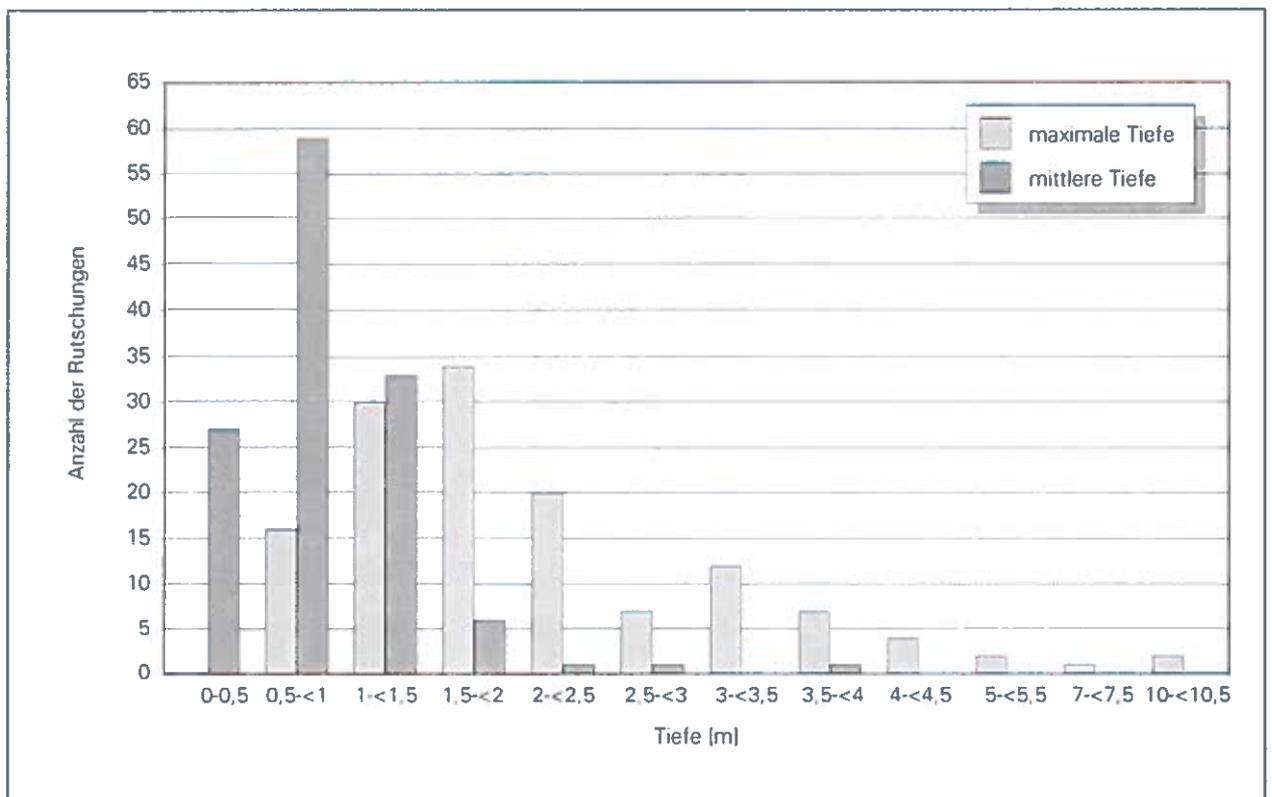


Abb. 7:  
Anzahl der Rutschungen mit bestimmter Flächengröße

Abb. 8:  
Anzahl der Rutschungen mit bestimmter mittleren bzw. maximalen Tiefe



die verschiedenen Flächenintervalle zeigt Abbildung 7.

Die durchschnittliche Rutschungsfläche betrug  $206 \text{ m}^2$ . 46 % aller Rutschungen waren kleiner als  $100 \text{ m}^2$ , 83 % kleiner als  $300 \text{ m}^2$ . Nur 2 % der Rutschungen waren größer als  $500 \text{ m}^2$ .

### 5.1.9.3 Tiefe

Die maximale Tiefe wurde im Gelände direkt gemessen. Die mittlere Tiefe der Rutschungen wurde aus den Querprofilen errechnet. Die einzelnen Tiefenmessungen wurden dabei sowohl nach ihren Abständen innerhalb des jeweiligen Querprofils als auch nach den Abständen der Querprofile zueinander gewichtet.

Durchschnittlich betrug die mittlere Tiefe 0,8 m, die maximale Tiefe 2,1 m. Abbildung 8 zeigt das Auftreten von Rutschungen bestimmter mittlerer bzw. maximaler Tiefe.

Bei 12 % aller Rutschungen war die maximale Tiefe weniger als 1 m, bei 60 % weniger als 2 m. Nur 4 % aller Rutschungen wiesen eine maximale Tiefe von mehr als 5 m auf. Bei 93 % aller Rutschungen war die mittlere Tiefe kleiner als 1,5 m.

### 5.1.9.4 Volumen

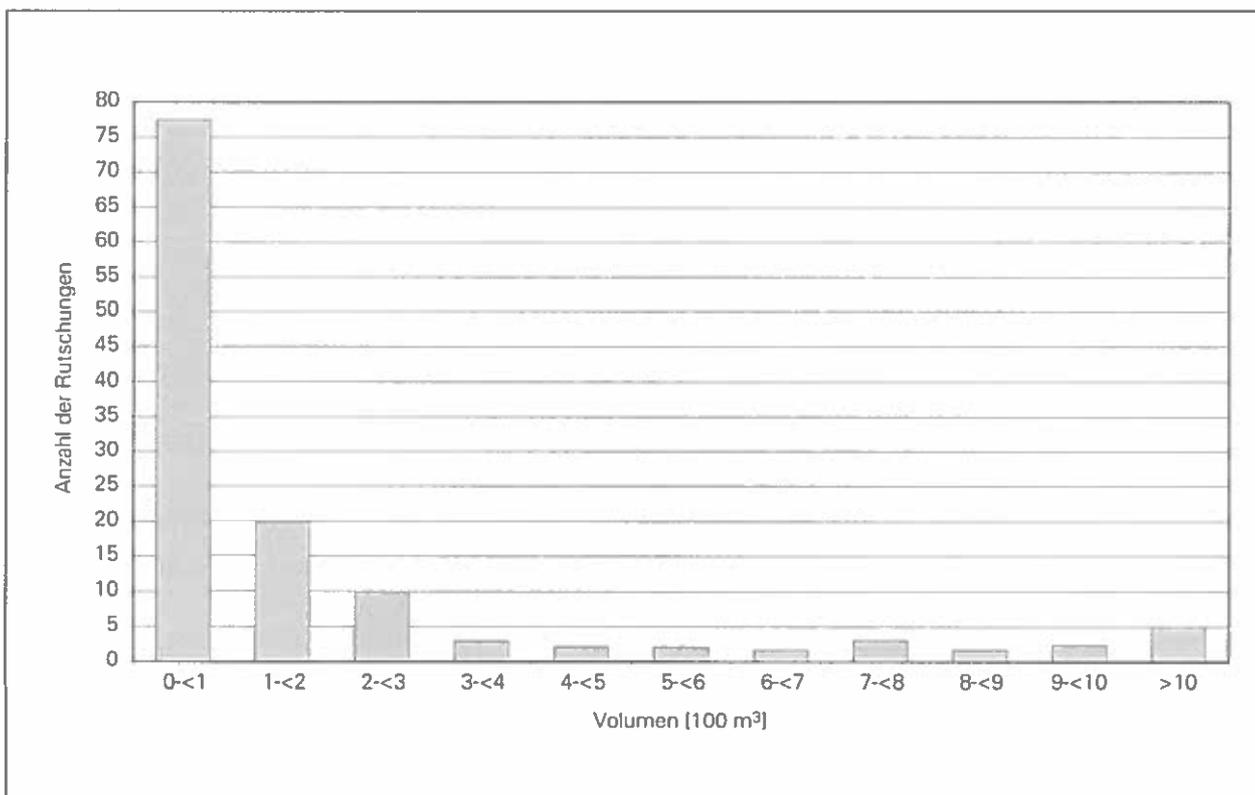
Die Bestimmung des Volumens der Rutschungen wurde nach folgender Methode vorgenommen: Die Flächen der Rutschungen (s. 5.1.9.2) wurden mit ihrer mittleren Tiefe (s. 5.1.9.3) multipliziert. Das Volumen kann durch diese Vorgangsweise zwar nicht absolut exakt ermittelt werden. Es ist aber eine nachvollziehbare Methode und erscheint bei Berücksichtigung des Umstandes dass auch die Ausprägung der Bodenoberfläche vor dem Rutschvorgang nicht bekannt war hinreichend genau. Auf jeden Fall liefert dieser Ansatz wesentlich besser vergleichbare Werte als die in der Praxis zumeist übliche rein gefühlsmäßige Abschätzung des Volumens.

Die Volumensbestimmung von 127 Rutschungen (s. 5.1.9.2) ergab, dass insgesamt ca.  $33.500 \text{ m}^3$  Material in Bewegung geraten sind. Abbildung 9 zeigt, wie häufig Rutschungen mit bestimmtem Volumen auftraten.

Das durchschnittliche Rutschungsvolumen lag bei  $241 \text{ m}^3$ , wobei mehr als  $\frac{3}{4}$  aller Rutschungen Kubaturen von weniger als  $200 \text{ m}^3$  aufwiesen. Nur 4 % der Rutschungen hatten ein Volumen von mehr als  $1.000 \text{ m}^3$ .

Abb. 9:

Anzahl der Rutschungen mit bestimmtem Volumen



### 5.1.10 Größtkorn

Datensätze	Erhebungsmethode	Unterscheidungs-kriterium	Klassen	
			Anzahl	Breite
134	Messung (Messlatte)	[cm]	11	20 cm

Bei jeder Rutschung wurde das Größtkorn vermessen, wobei jeweils dessen größte Länge und im rechten Winkel dazu die größte Breite bestimmt wurden. Bei den folgenden Auswertungen wird der Mittelwert dieser beiden Messungen herangezogen und vereinfachend unter dem Begriff Größtkorn geführt. Das durchschnittliche Größtkorn lag bei 64 cm. Abbildung 10 zeigt welche Abmessungen das bei den jeweiligen Rutschungen vorgefundene Größtkorn aufwies.

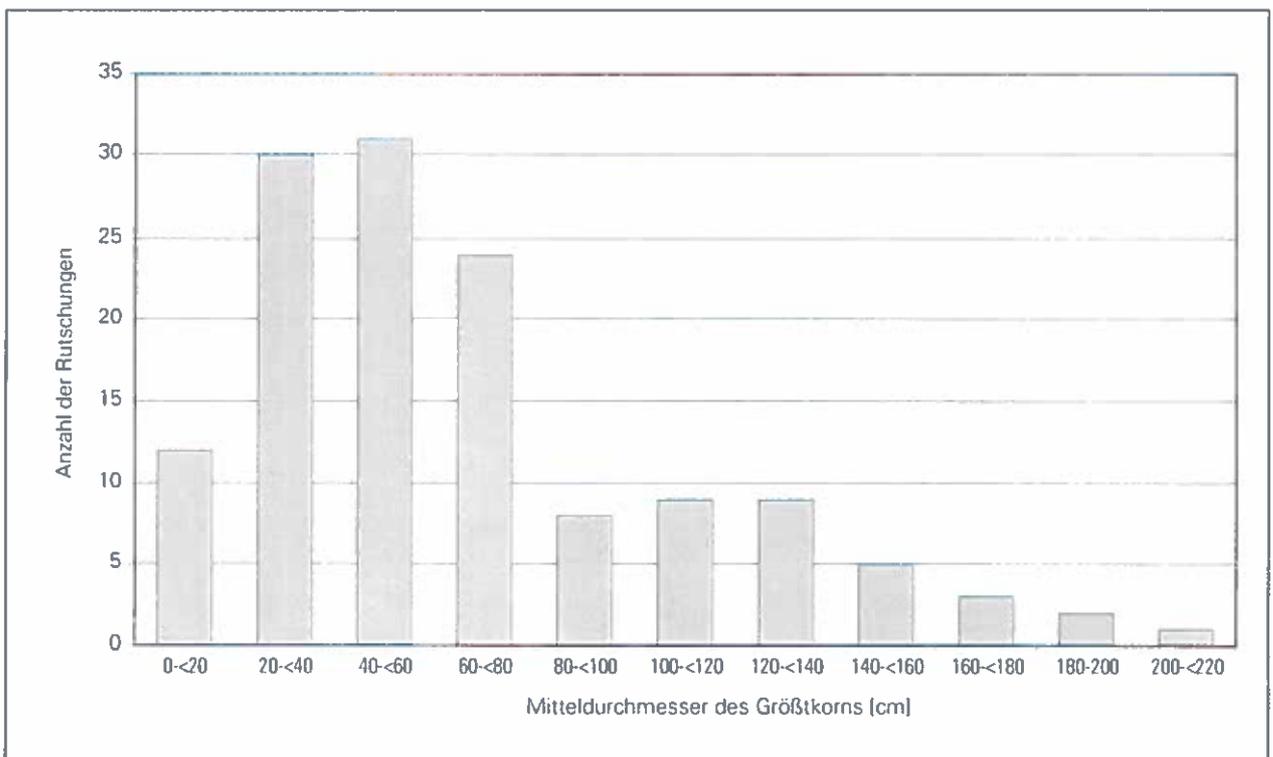
Das größte gefundene Korn wies 205 cm auf. Insgesamt war das Größtkorn aber bei 55 % aller Rutschungen kleiner als 60 cm.

### 5.2 Verknüpfung der Rutschungsparameter

Im folgenden Abschnitt werden die im vorigen Teil präsentierten Rutschungsparameter zueinander in Beziehung gestellt. Prinzipiell wurde jeder dieser Parameter auf seine Zusammenhänge mit allen anderen Parametern untersucht. Die Interpretation dieser Ergebnisse muss dabei stets vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die Stabilität eines Hanges eine durch mehrere Parameter determinierte Größe ist. Die Wirkung der verschiedenen Einflussfaktoren ist daher nur schwer isoliert zu bewerten. Darüber hinaus war im vorliegenden Fall das auslösende Niederschlagsereignis (s. Abschnitt 2) von einer derartigen Dimension, dass es den Einfluss anderer Faktoren sicherlich teilweise überdeckt hat. Die vorgestellten Untersuchungen erlauben jedoch trotzdem eine Darstellung tendenzieller Zusammenhänge.

Anmerkung: Im Rahmen dieser Publikation bleiben Auswertungen bezüglich der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Rutschungsabmessungen (s. 5.1.9.1.-4) ausgeklammert. Grund dafür

Abb.10:  
Anzahl der Rutschungen mit bestimmtem Größtkorn



ist die Tatsache, dass zur Prüfung dieser, über Regressionen beschriebenen Zusammenhänge aufwendige statistische Verfahren notwendig sind. Die Ergebnisse dieser Analysen werden jedoch in einer späteren Veröffentlichung vorgestellt werden. Eine der Zielsetzungen dieser Untersuchungen ist es, eine Faustformel für die Bestimmung von Rutschungsvolumina anhand von einfach und rasch durchführbaren Messungen im Gelände zu entwickeln.

**5.2.1 Aspekte des Parameters Seehöhe**

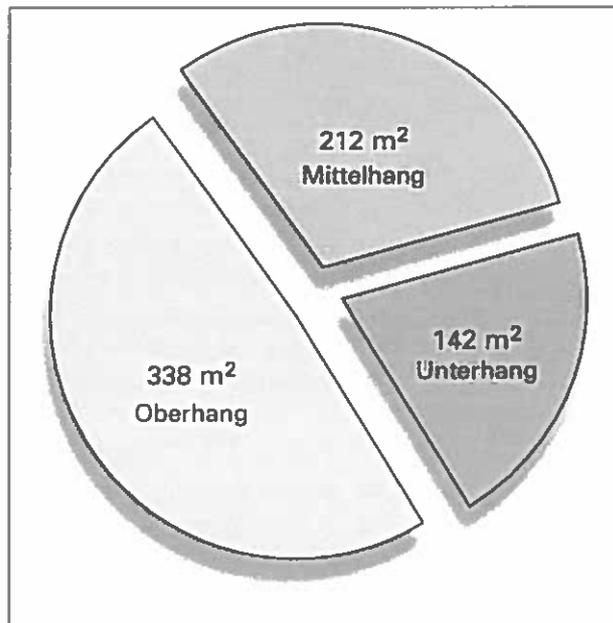
- Die mittlere Tiefe der Rutschungen nahm von 700 bis 1.300 m Seehöhe stetig zu.
- Anthropogen beeinflusste Rutschungen traten nur unterhalb von 1.300 m auf.
- Alle Rutschungen über 1.500 m Seehöhe wurden durch Hangwasser ausgelöst, wobei in diesem Zusammenhang keine einzige Rutschung auf Moränenschutt als geologischem Untergrund auftrat.

**5.2.2 Aspekte des Parameters Hangform**

Abbildung 11 stellt die durchschnittlichen Flächengrößen von Rutschungen in unterschiedlichen Hangbereichen dar.

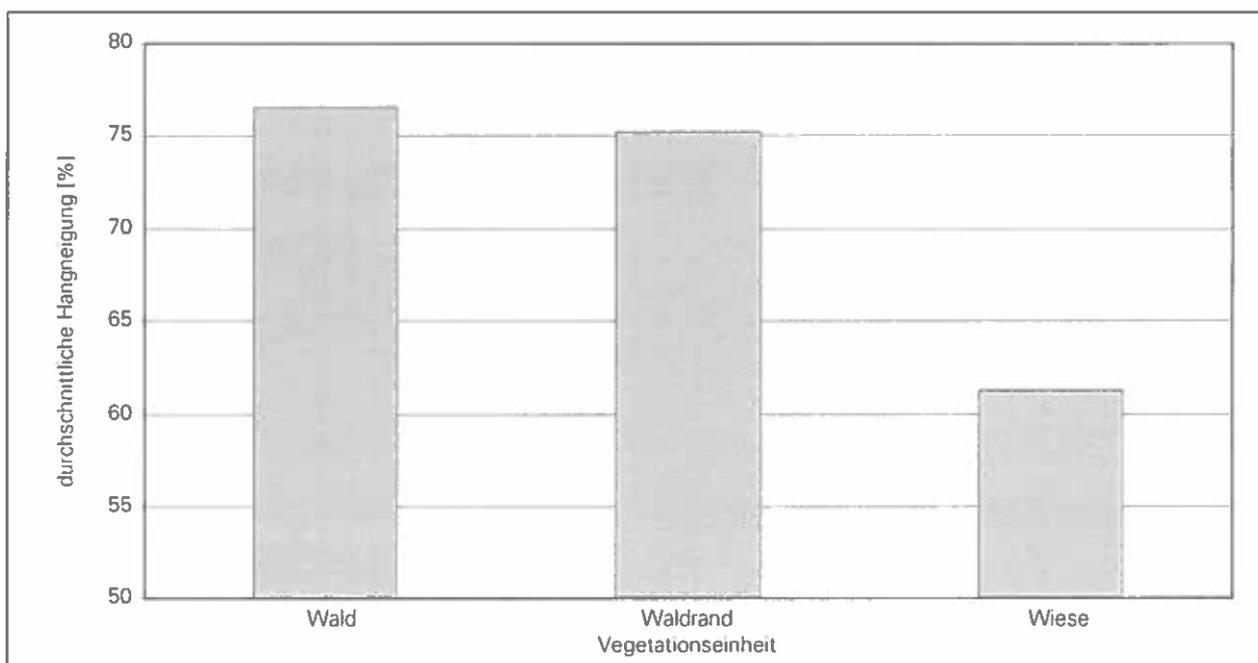
- Rutschungen auf Oberhängen waren flächenmäßig durchschnittlich um 60 % größer als Rutschungen auf Mittelhängen und um 138 % größer als solche auf Unterhängen.

Abb. 11: Durchschnittliche Flächengröße von Rutschungen in unterschiedlichen Hangbereichen



- Rutschungen im Bereich von Oberhängen wiesen durchschnittlich eine größere Tiefe auf: 17 % hatten eine maximale Tiefe von mehr als 4 m. (Unter- bzw. Mittelhänge: 12 bzw. 4 %).
- An Unterhängen war das durchschnittliche Rutschungsvolumen wesentlich geringer als an Ober- oder Mittelhängen.

Abb. 12: Durchschnittliche Hangneigung der Rutschungen bei bestimmter Vegetationseinheit



- Alle Translationsrutschungen und 90 % aller durch anthropogene Einflüsse ausgelösten Rutschungen fanden in Mittelhanglagen statt.
- Der Formfaktor nahm hangabwärts ab, d.h. die Form der Rutschungen wurde hangabwärts immer breiter (Formfaktoren 2,3 am Ober-, 2,2 am Mittel- und 2,0 am Unterhang).

### 5.2.3 Aspekte des Parameters Hangneigung

Der Zusammenhang zwischen Hangneigung und Vegetationseinheit wird in Abbildung 12 dargestellt.

- Rutschungen im Wald bzw. Waldrand fanden bei durchschnittlich größeren Hangneigungen statt als auf Freiflächen. Der Hauptanteil der Rutschungen im Wald lag bei 70-80 % Hangneigung, auf Wiesen bei 60-70 %.
- Im Wald ereigneten sich nur 5 % (bei Wiesen 35 %) aller Rutschungen bei Hangneigungen unter 60 %.
- Im Wald waren 18 % (bei Wiesen 4 %) aller Rutschungen steiler als 90 %.
- Je größer die Hangneigung, desto kleiner die Rutschungsfläche (65 % aller Rutschungen über 70 % Hangneigung waren kleiner als 100 m<sup>2</sup>).
- Je größer die Hangneigung desto flachgründiger waren die Rutschung.
- Über 80 % Hangneigung war das durchschnittliche Rutschungsvolumen kleiner als 60 m<sup>3</sup> und

nahm mit zunehmender Hangneigung weiter kontinuierlich ab.

### 5.2.4 Aspekte des Parameters Vegetation

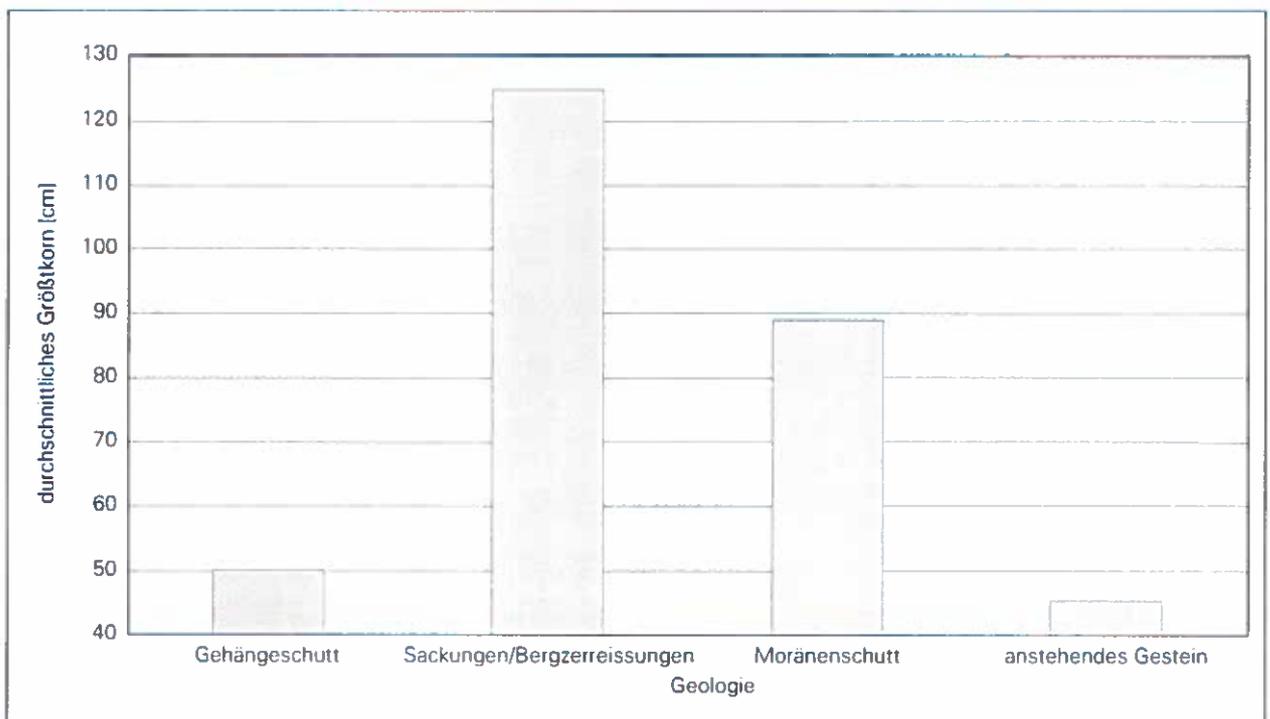
- Bezüglich der durchschnittlichen Flächengröße, maximalen und mittleren Tiefe, Volumen, Formfaktor und Größtkorn zeigten die Rutschungsflächen mit verschiedenen Vegetationsformen keine gravierenden Unterschiede.
- Ca. 2/3 aller Rutschungen auf anstehendem Gestein ereigneten sich auf Waldstandorten.
- 88 % aller Translationsrutschungen wurden im Wald bzw. am Waldrand verzeichnet.
- Rutschungen auf Wiesen hatten in 54 % Gehängeschutt als geologischen Untergrund.

### 5.2.5 Aspekte des Parameters Geologie

- Die durchschnittlichen Hangneigungen bei denen Rutschungen auftraten lag bei allen geologischen Kategorien (s. 5.1.6) bei 70-75 %.
- Unabhängig von der geologischen Einheit (s. 5.1.6) waren jeweils mehr als die Hälfte aller Rutschungen kleiner als 100 m<sup>2</sup>.
- Rutschungen auf anstehendem Gestein waren flächen- und volumsmäßig wesentlich größer als Rutschungen auf Gehänge- oder Moränenschutt.

Abb. 13:

Durchschnittliches Größtkorn der Rutschungen bei bestimmter Geologie



- Bei anstehendem Gestein, Gehänge- und Moränenschutt waren sowohl die durchschnittliche mittlere als auch maximale Rutschungstiefe beinahe ident (85 cm bzw. 210 cm).
- Rotationsrutschungen fanden zu 41 % auf Moränenschutt statt, Translationsrutschungen nur zu 6 %.
- Rutschungen auf anstehendem Gestein waren wesentlich „schlanker“ (Formfaktor 2,9) als Rutschungen auf Gehänge- bzw. Moränenschutt (Formfaktoren jeweils 2,0).

Abbildung 13 zeigt, dass sich die Dimension des gefundenen Größtkorns in Abhängigkeit von der Geologie deutlich unterschied.

- Bei Rutschungen auf Moränenschutt war das durchschnittliche Größtkorn um 78 % größer als jenes bei Gehängeschutt und doppelt so groß wie jenes bei anstehendem Gestein.
- 70 % aller Rutschungen, bei denen das Größtkorn über 100 cm war fanden im Moränenschutt statt.

#### 5.2.6 Aspekte des Parameters Prozessart

- Translations- bzw. Rotationsrutschungen wiesen jeweils eine durchschnittliche Fläche von 165 m<sup>2</sup> auf, Absenkungen eine von 1.350 m<sup>2</sup>.
- Bei Rotationsrutschungen war die maximale bzw. die mittlere Tiefe um 30 % bzw. 35 % größer als bei Translationsrutschungen. (Auch MOSER UND SCHOGER (1989) bezeichneten bei ihren Rutschungsanalysen Translationsrutschungen als meist seichtgründiger.)
- Rotationsrutschungen hatten ein um 1/3 größeres durchschnittliches Volumen als Translationsrutschungen.
- 80 % aller Translationsrutschungen, aber nur 58 % aller Rotationsrutschungen wiesen ein Volumen von weniger als 100 m<sup>3</sup> auf.
- Rotationsrutschungen waren „bauchiger“ (Formfaktor 2,0) als Translationsrutschungen (Formfaktor 2,5).
- Das durchschnittliche Größtkorn bei Rotationsrutschungen war 30 % größer als jenes bei Translationsrutschungen.

#### 5.2.7 Aspekte des Parameters Auslöser

- Alle anthropogen ausgelöste Rutschungen waren kleiner als 300 m<sup>2</sup>.
- Bei von Hangwasser ausgelösten Rutschungen war das Größtkorn im Schnitt doppelt so groß wie bei anthropogen verursachten Rutschungen.

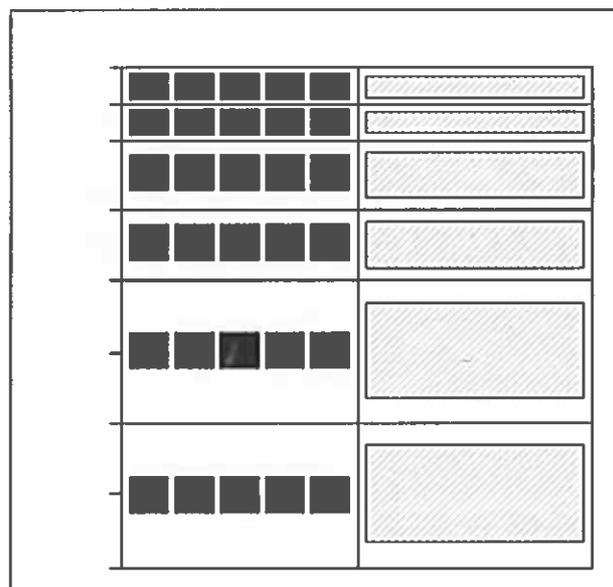
## 6. Bodenphysikalische Untersuchungen

Für die Ursachenanalyse von Anbrüchen ist die Kenntnis bestimmter bodenphysikalischer Kenngrößen solcher Standorte eine wichtige Voraussetzung. Es wurden daher an vier Rutschungen unterschiedlicher Charakteristik Bodenprofile geöffnet und Proben für die physikalische Analyse geworben. Diese wurden daraufhin labortechnisch ausgewertet. Im folgenden Abschnitt werden die Art und Weise der Probenwerbung und Laboranalyse sowie deren Ergebnisse dargestellt.

### 6.1 Probenwerbung

Die Proben wurden nach den Kriterien der Österreichischen Bodenzustandsinventur (BLUM ET AL. 1996) an vier ausgewählten Standorten geworben. In definierten Tiefenstufen wurden sowohl ungestörte Zylinderproben (jeweils 5 Parallelproben je Tiefenstufe) als auch Lockermaterial entnommen (Entnahmeschema s. Abbildung 18). Die Zylinderentnahme erfolgte dabei solange, bis der mit der Tiefe zunehmende Skelettanteil die Entnahme ungestörter Zylinderproben unmöglich machte. Der Transport der mit Deckel verschlossenen Zylinder (Inhalt 200 cm<sup>3</sup>) erfolgte möglichst erschütterungsfrei in speziellen Koffern. Im Labor wurden die ungestörten Proben bis zur Analyse im Kühlschrank gelagert. Die

Abb. 14:  
Schema für die Entnahme der Bodenproben



Lockerproben wurden zur Lufttrocknung in Kartonschachteln übertragen.

Diese Vorgangsweise unterscheidet sich stark von der häufig nach bodengenethischen Gesichtspunkten durchgeführten Probenwerbung, bei der horizontweise, unabhängig von der Mächtigkeit und Tiefe, Locker- und Zylinderproben entnommen werden. Die Entnahme in fixen Tiefenstufen erscheint jedoch für die Vergleichbarkeit der Wasserhaushaltsparameter, die in der Regel einen ausgeprägten Gradienten in Abhängigkeit von der Bodentiefe aufweisen, vorteilhafter.

## 6.2 Untersuchungen im Labor

Folgende Parameter wurden im Labor untersucht, wobei allerdings auf Grund der Qualität des Probenmaterials nicht alle dieser Parameter für jeden der vier Standorte vollständig bestimmt werden konnten:

- Lagerungsdichte (LD)

Die Bestimmung erfolgte nach nach Ö-NORM L 1068

- Feststoffdichte (FD)

Diese wurde in Anlehnung an ZANETTI (1996) und ADAMS (1973) aus der Lagerungsdichte (LD) und dem Gehalt an organischer Substanz (OS) berechnet:

$$FD_{org} = \frac{FD \cdot FD_{min} \cdot OS(\%)}{100 \cdot FD_{min} - FD \cdot (100 - OS(\%))} \quad (1)$$

Das Gesamtporenvolumen (GPV) ergibt sich nach der Formel:

$$GPV = \frac{1 - LD}{FD} \quad (2)$$

- Organische Substanz (OS)

Die organische Substanz 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.

- Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven)



Foto 1: Blick auf Rutschung 5

Die Bestimmung 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 nach RICHARDS bei 330 mbar konform zur Ö-NORM L 1063.
- Entwässerung gestörter (auf 2 mm gesiebter) gesättigter Proben in der Druckplattenapparatur

bei 1, 3 und 15 bar Überdruck gemäß Ö-NORM L 1065.

- Gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Werte)  
Die Bestimmung dieser Werte erfolgte mit einer von HOFER (1997) konstruierten, auf dem Prinzip von DE BOOT UND DE LEENHEER (1965, zit. in SCHLICHTING UND BLUME 1966) basierenden Messapparatur. Von je einem Profil pro Versuchsfläche wurden je Tiefenstufe an zwei Zylindern der  $K_f$ -Wert gemessen.
- Korngrößenverteilung modifiziert nach Ö-NORM L 1061.

### 6.3 Angaben zu den Versuchsflächen

#### 6.3.1 Rutschung 5

Aufnahmedatum	28.07.1999
Standort	250 m vom Beginn der Forststraße (von Bad Laterns kommend), ca. 300 m von der Forststraße entfernt, unterhalb des Steiges zur Neugerach Alpe.
Rutschungsparameter	Seehöhe 1.355 m, Exposition 200 °, Hangneigung 71 %, größte Tiefe ca. 10 m, Fläche 2.996 m <sup>2</sup> .
Lage des Probe-punktes	Hangkante direkt an Hangversteilung, ca. 1,5 m über der Abbruchkante.
Vegetation	<i>Piceetum nudum</i> mit <i>Luzula Silvatica</i> (+), <i>Hieracium</i> ssp. (+)
Boden	Pseudovergleyte Moderbraunerde
Zusatzangaben	ca. 25 Altbäume samt Wurzeltellern sind abgerutscht, im weiteren Hangverlauf sehr starke Tiefenerosion verbunden mit seitlichen Ablagerungen.

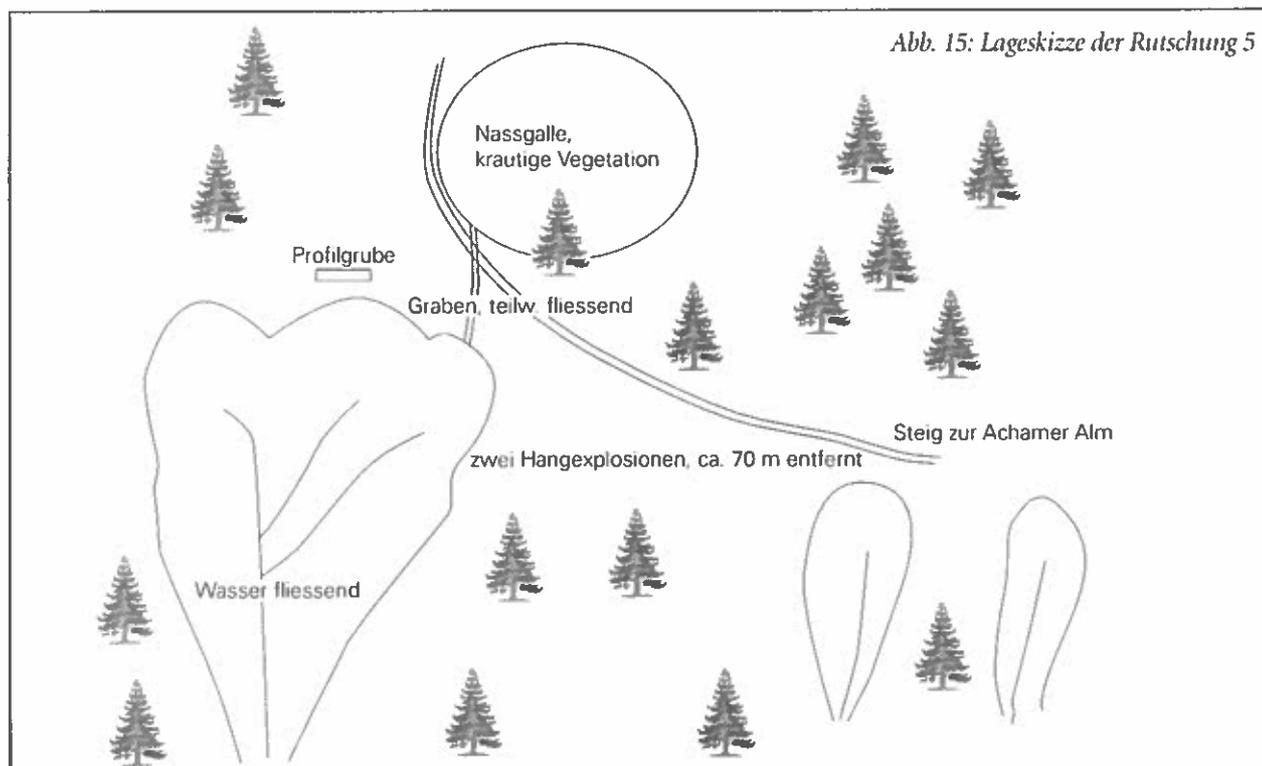
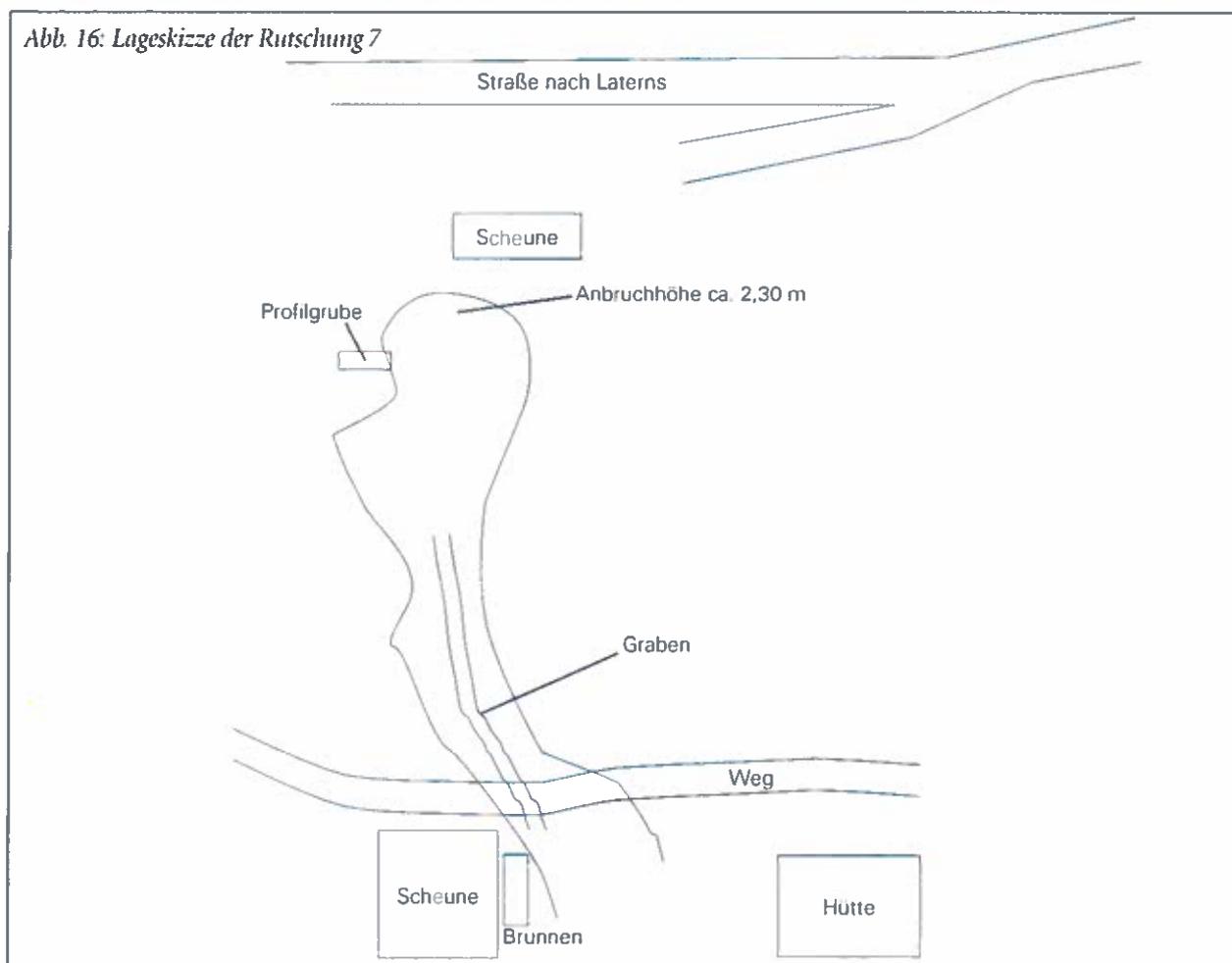


Foto 2: Blick auf Rutschung 7



Abb. 16: Lageskizze der Rutschung 7



## 6.3.2 Rutschung 7

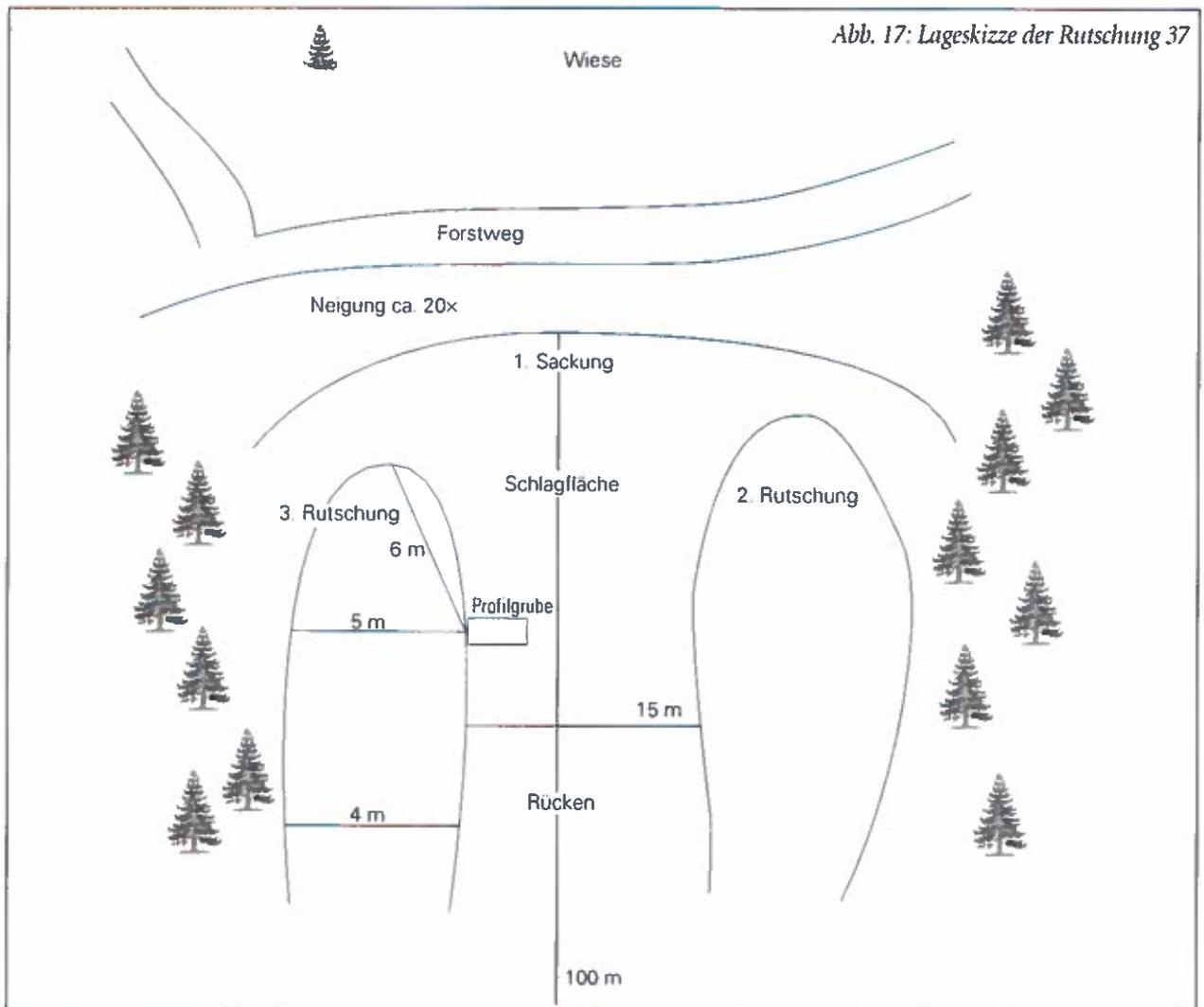
Aufnahmedatum	28.07.1999
Standort	Unterhalb der Landesstraße nach Innerlaterns, nahe einer Scheune.
Rutschungsparameter	Seehöhe 1.125 m, Exposition 195 °, Hangneigung 62 %, größte Tiefe 3 m, Fläche 160 m <sup>2</sup> .
Lage des Probestandes	Hangversteilung, ca. 6 m rechts unterhalb der oberen Anbruchkante.
Vegetation	Mähwiese, div. Gräser, <i>Alchemilla</i> ssp., <i>Fragaria</i> ssp.
Boden	Pseudovergleyte Braunerde
Zusatzangaben	Nach der Ablagerung hat das Wasser in der Rutschungsfläche noch eine kleine, ca. 30 cm tiefe Runse geschaffen.

## 6.3.3 Rutschung 37

Aufnahmedatum	29.07.1999
Standort	900 m nach dem Beginn des Güterweges („Furx-Bingadels-Matten-Ferchen“) rechts des Weges.
Rutschungsparameter	Seehöhe 1.215 m, Exposition 145 °, Hangneigung 50 %, größte Tiefe 3 m, Fläche 2.908 m <sup>2</sup> .
Lage des Probestandes	Hangversteilung, unterhalb eines Forstweges, bestehend aus mehreren Anbrüchen bzw. alten Sackungen, der Probestand liegt ca. 6m auf der linken Seite (Blickrichtung talwärts) unterhalb der Oberkante der 2. Sackung (vgl. Lageskizze).
Vegetation	Schlagfläche (ehemaliger Fichten-Tannen-Buchen-Bestand, der als Sofortmaßnahme entfernt wurde), Deckungsgrad < 50%, tlw. 0, <i>Mycelis</i> +, <i>Hieracium</i> +, Bu-Sämlinge +, div. <i>Carices</i> 1, <i>Acer pseudoplatanus</i> +.
Boden	Hangpseudogley
Zusatzangaben	Forststraße zerstört



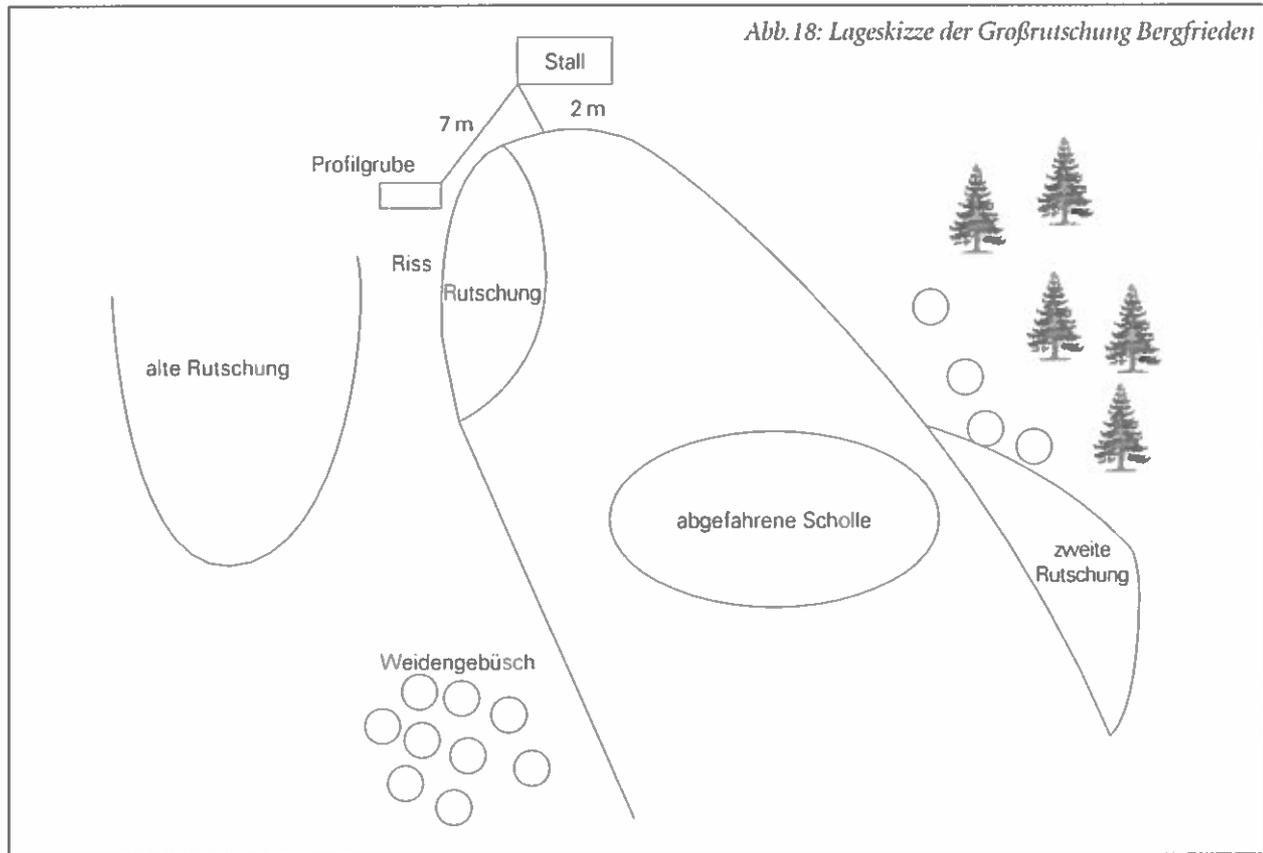
Foto 3: Blick auf Rutschung 37



#### 6.3.4 Großrutschung Bergfrieden

Aufnahmedatum	29.07.1999
Standort	ca. 400 m oberhalb des Gasthofes Bergfrieden.
Lage des Probe- punktes	Hangversteilung, ca. 5 m rechts unterhalb der obersten Abruchkante, ca. 1 m rechts von einem Anriss.
Vegetation	Mähwiese nach der Mahd
Boden	Hangpseudogley





Tab. 6:  
Korngrößenverteilung der Feinfraktion an Rutschung 5, 7 und 37 (Angaben in Volumsprozent)

Tiefenstufe der Probe [cm]	Grob-sand	Mittel-sand	Fein-sand	Grob-schluff	Mittel-schluff	Fein-schluff	Ton	Gesamtanteile [%]		
								Sand	Schluff	Ton
<b>Rutschung 5</b>										
0-10	7,3	12,5	22,4	22,7	14,2	9,1	11,8	42,2	46,0	11,8
10-20	9,6	12,7	21,5	19,6	13,4	10,1	13,1	43,8	43,1	13,1
20-30	7,8	14,8	21,0	21,9	19,1	8,5	6,9	43,6	49,5	6,9
40-70	7,6	13,5	21,5	21,3	16,7	9,1	10,3	42,6	47,1	10,3
115-120	16,2	17,2	20,4	19,1	14,6	6,7	5,8	53,8	40,7	5,8
<b>Rutschung 7</b>										
0-10	5,4	5,8	14,3	19,5	19,8	18,4	16,8	22,5	57,7	16,8
10-20	4,9	6,2	12,6	17,0	17,1	19,9	22,3	23,7	54,0	22,3
2-30	10,1	6,9	12,8	15,3	17,7	16,9	20,3	29,8	49,9	20,3
30-50	6,7	6,1	11,6	13,7	17,9	19,8	24,2	24,4	51,4	24,2
50-70	9,1	7,3	12,3	20,2	18,1	14,9	18,1	28,7	53,2	18,1
<b>Rutschung 37</b>										
0-10	3,4	1,9	4,8	25,2	24,8	17,9	22,0	10,1	67,9	22,0
10-20	18,0	6,3	17,4	10,2	12,8	16,5	18,8	41,7	39,5	18,8
20-30	10,1	6,9	12,8	13,9	22,6	17,9	15,8	29,8	54,4	15,8
30-50	7,4	3,3	9,8	14,5	25,7	21,3	18,0	20,5	61,5	18,0
50-100	12,5	8,6	17,9	9,3	19,7	17,9	14,1	39,0	46,9	14,1

## 6.4. Bodenphysikalische Charakteristika der Versuchsflächen

### 6.4.1 Korngrößenverteilung

Die Kornverteilung wurde auch bei der Hangstabilitäts-Klassifikation von MOSER (1973, zit. nach AULITZKY 1987) als einer der drei wichtigsten Parameter zur Kennzeichnung der Rutschungsgefährdung angeführt. (Am gefährdetsten wurden dabei Standorte mit einem Schluffanteil von mehr als 40 % eingestuft.) Tabelle 6 zeigt eine detaillierte Korngrößenverteilung von drei Untersuchungsstandorten.

Kennzeichnend für alle Standorte ist ein hoher Gehalt an feineren Komponenten, wobei der Anteil an Schluff, der besonders bei intensiver Durchfeuchtung destabilisierend wirkt (STAHR 1991), sehr hoch ist:

Rutschung 5 weist noch den geringsten Schluffanteil auf, dieser liegt aber trotzdem in allen Tiefenstufen bei über 40 %. Bei Rutschung 7 wurden Schluffanteile zwischen 50 % (in 20-30 cm Tiefe) und 58 % in der obersten Tiefenstufe, bei Rutschung 37 minimal 40 % (in 10-20 cm Tiefe), maximal jedoch bis 68 % (in 0-10 cm Tiefe) festgestellt. Auffallend ist der niedrige Tonanteil bei Rutschung 5 mit Maximalwerten um 13 % (in 10-20 cm Tiefe).

### 6.4.2 Porenausstattung

Tabelle 7 zeigt die Gliederung des Porenraumes nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1992).

Tab. 7:  
Einteilung der Porengrößenbereiche (aus SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1992, verändert)

Porengrößenbereiche	Porendurchmesser [mm]	Wassersäule [cm]	pF-Wert
Gröbstoporen	> 50	0 - 60	0 - 1,8
Grobporen	50 - 10	60 - 300	1,8 - 2,5
Mittelporen	10 - 0,2	300 - 15 000	2,5 - 4,2
Feinporen	< 0,2	> 15 000	> 4,2

Bei der Bestimmung der pF-Kurven, die die Porenverteilung ergeben, werden Ergebnisse aus drei unterschiedlichen Bestimmungen zu einer Kurve zusammengefasst. Das Gesamtporenvolumen ergibt sich rechnerisch nach Gleichung (2) (vgl. 6.2). Die Bestimmung der Grob- und Gröbstoporen erfolgt durch Entwässerung von Zylinderproben über hängende Wassersäulen am Unterdruckkapillarmeter. Der Mittelporenanteil wird durch Entwässerung ungestörter und gestörter Proben (>1000 mbar) bei Überdruck in der Druckplatten-

apparatur ermittelt. Naturgemäß entstehen an den Schnittpunkten dieser drei Methoden auf der Kurve Ungenauigkeiten. So zeigten sich z.B. bei Rutschung 37 in den Tiefenstufen unter 20 cm deutliche Divergenzen an den Schnittpunkten der nach den beiden unterschiedlichen Methoden ermittelten Ästen der pF-Kurve (s. Abb. 19.1-19.4).

Die exakte Ursache dieser Volumsvergrößerung konnte im gegenständlichen Fall nicht ermittelt werden. Für die Entwässerung am Kapillarmeter sind die Proben annähernd vollständig (bis zur Gewichtskonstanz) mit Wasser zu sättigen. Bindige Böden und Böden mit hohem Gehalt an organischer Substanz neigen in der Phase langer Aufsättigung zum Quellen, d.h. sie lagern nach Auffüllung der eigentlichen Porenräume noch Wasser in die Kristallzwischenräume (z.B. Tone) oder in das Gewebe (organische Substanz) ein. Organische Substanz kann beispielsweise das 3 bis 5-fache ihres Eigengewichtes an Wasser binden. Durch diesen Vorgang wird das Volumen der Probe vergrößert und somit die Bezugsbasis verändert. Tabelle 9 zeigt den Zusammenhang zwischen Gesamtporenvolumen und der Bodentiefe.

Tab. 9:  
Gesamtporenvolumina an 3 Probepunkten in Abhängigkeit von der Bodentiefe

Tiefenstufe der Probe [cm]	Rutschung 5	Rutschung 7	Rutschung 37
0 - 10	64,87	77,79	60,62
10 - 20	59,59	67,33	52,76
20 - 30	60,01	62,1	45,59
40 - 60	56,99	55,03	41,8
100 - 120	56,12		

Tabelle 9 zeigt, dass die Gesamtporenvolumina in den obersten Tiefenstufen durchwegs hoch sind. Allerdings ist bei allen Standorten, insbesondere aber bei Rutschung 37 eine deutliche Reduktion des Gesamtporenvolumens mit der Bodentiefe zu beobachten.

Für die Dränfähigkeit des Bodens und die rasche Wasserversorgung der Pflanzen ist jedoch die Ausstattung an Grob- und großen Mittelporen wesentlich wichtiger als das Gesamtporenvolumen. In Tabelle 10 sind Porenvolumina von drei Untersuchungsstandorten angeführt.

Die obersten Bodenschichten (0-10 cm Tiefe) der Rutschungen 5 und 7 weisen eine sehr gute Ausstattung mit rasch dränenden Poren aus (Gröbstoporenanteil bei Rutschung 5 19 Vol% bei Rutschung 7

Tab. 10:  
Korngrößen und Verteilung der Porenvolumina an den Rutschungen 5, 7 und 37 (Angaben in Volumsprozent)

Tiefenstufe der Probe [cm]	Sand	Schluff	Ton	ogan. Substanz	Größtporen	Grobporen	Mittelporen	Feinporen
<b>Rutschung 5</b>								
0-10	42,20	46,00	11,80	10,10	19,04	6,78	19,50	19,54
10-20	43,80	43,10	13,10	8,93	22,00	5,29	12,83	19,48
20-30	43,60	49,50	6,90	7,24	18,19	5,83	18,42	17,58
40-70	42,60	47,10	10,30	5,63	15,96	4,21	17,54	19,28
115-120	53,80	40,40	5,80	3,25	15,96	4,19	23,50	12,47
<b>Rutschung 7</b>								
0-10	25,50	57,70	16,80	14,51	29,11	20,52	12,34	15,82
10-20	23,70	54,00	22,30	9,83	18,65	17,95	8,62	22,11
20-30	29,80	49,90	20,30	6,85	16,67	11,19	10,89	23,36
30-50	24,40	51,40	24,20	5,98				
50-60					11,79	10,87	6,51	25,87
50-70	28,70	53,20	18,10	5,01				
<b>Rutschung 37</b>								
0-10	10,10	67,90	22,00	14,81	11,05	6,31	13,99	29,28
10-20	41,70	39,50	18,80	7,65	10,31	4,98	12,82	24,65
20-30	29,80	54,40	15,80	4,84	14,38	3,76	2,72	24,72
30-50	20,50	61,50	18,00	3,42	16,43	2,37	6,11	29,11
50-100	39,00	46,90	14,10	1,80				20,69

29 Vol%). Der Anteil an rasch drainierenden Poren nimmt jedoch mit der Tiefe deutlich ab (in 60 cm Tiefe: 16 Vol% bei Rutschung 5 und 12 Vol% bei Rutschung 7). Rutschung 7 verfügt zudem über einen fast gleich hohen Grobporenanteil. Rutschung 37 schert aus dieser Reihe aus: Der niedrige Größtporenanteil von 12 Vol% in der obersten Tiefenstufe nimmt mit der Tiefe etwas zu (16 Vol% in 30-50 cm Tiefe). Der Grobporenanteil ist mit Werten zwischen 6 und 2 Vol% sehr gering.

Die überwiegende Abnahme der rasch und langsam drainierenden Poren mit der Tiefe ist auch sehr gut aus den pF-Kurven (Abb. 19.1-19.4) ersichtlich.

Abb. 19.1:  
Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven) bzw. Verteilung der Porenvolumina bei Rutschung 5.

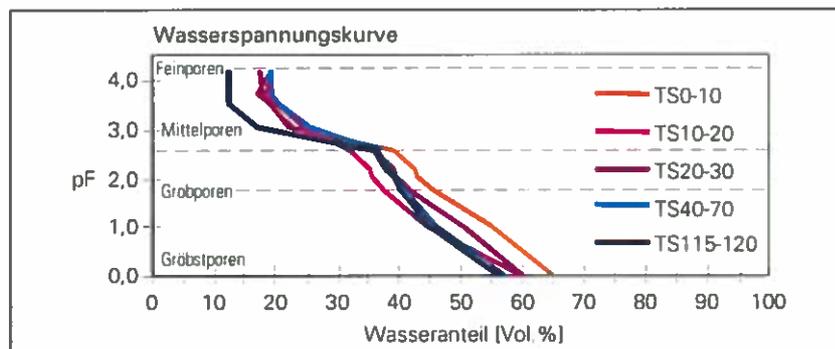


Abb. 19.2:  
Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven) bzw. Verteilung der Porenvolumina bei Rutschung 7.

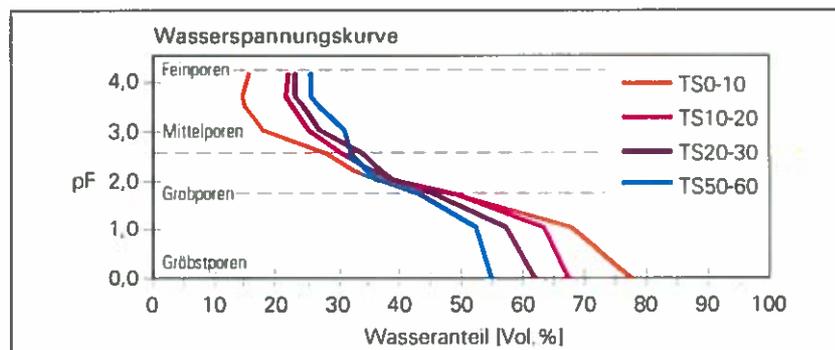


Abb. 19.3:

Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven) bzw. Verteilung der Porenvolumina bei Rutschung 37

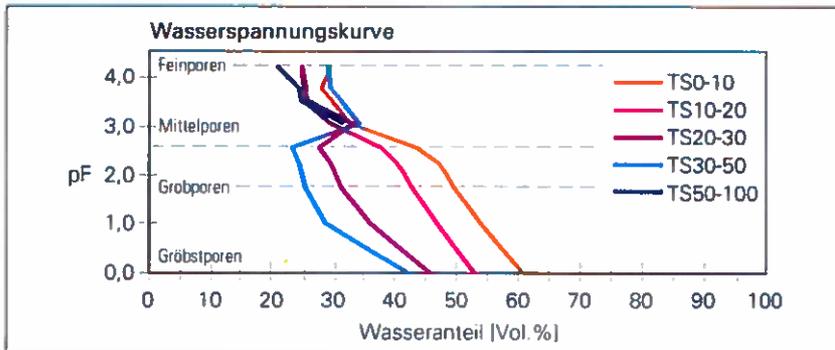
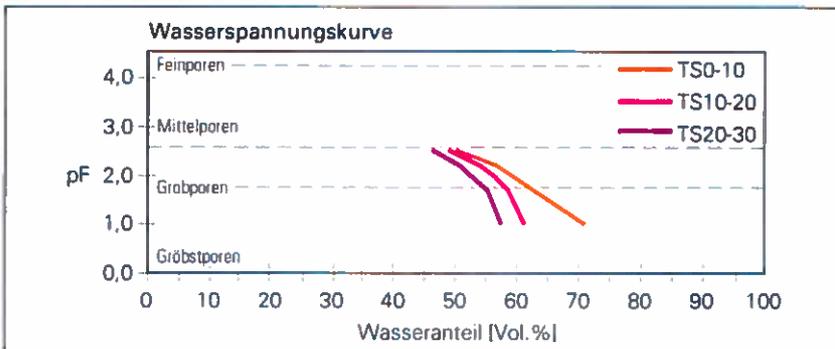


Abb. 19.4:

Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven) bzw. Verteilung der Porenvolumina bei Großrutschung Bergfrieden

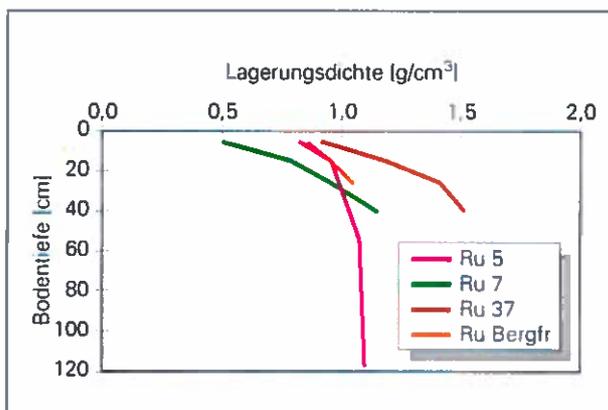


#### 6.4.3 Lagerungsdichte

Diese kann als Spiegelbild der Porenausstattung bezeichnet werden. Nach KUNTZE ET AL. (1983) weisen die Böden aller Versuchsflächen mit Ausnahme der Rutschung 37 (10-50 cm Tiefe) eine sehr geringe Lagerungsdichte ( $< 1,20 \text{ g/cm}^3$ ) auf. Aus Abbildung 20 ist jedoch deutlich eine Zunahme der Lagerungsdichte mit der Bodentiefe ersichtlich.

Abb. 20:

Lagerungsdichte an den vier untersuchten Standorten in Abhängigkeit von der Bodentiefe



#### 6.4.4 Feststoffdichte

Die Höhe der Feststoffdichte wird maßgeblich vom geologischen Ausgangsmaterial, dem Verwitterungsgrad und vor allem vom Anteil an organischer Substanz beeinflusst. Abbildung 21 zeigt, dass bezüglich der Feststoffdichte zwischen den einzelnen Standorten jedoch nur marginale Unterschiede bestehen.

#### 6.4.5 Organische Substanz

Die Angabe der organischen Substanz erfolgt in Gewichtsprozent humoser Trockenmasse bezogen auf die Gesamtbodenmasse. Tabelle 11 zeigt ein Klassifizierungsschema für den Humusgehalt.

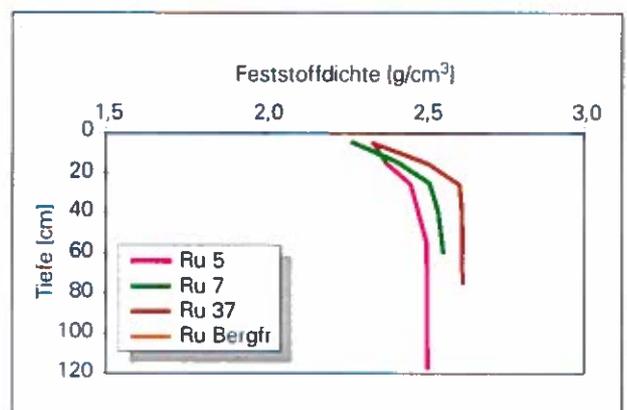
In Abbildung 22 wird der Gehalt an organischer Substanz in den obersten Tiefenstufen der Böden dargestellt.

Hohe Humusgehalte sind kennzeichnend für alpine mit Nadelbäumen bzw. auch Zwergsträuchern bestockte Böden

(CZELL 1967). Die Oberböden der untersuchten Standorte sind daher nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1992) als sehr stark humos zu bezeichnen. Nach NEATH ET AL. (1990) hat die Menge der toten und lebenden Pflanzenteile den größten Einfluss auf die Infiltrationsrate. Die organische Substanz begünstigt die Infiltration auf Grund ihrer gefügestabilisierenden Wirkung (BOYLE ET AL. 1989), zudem ermög-

Abb. 21:

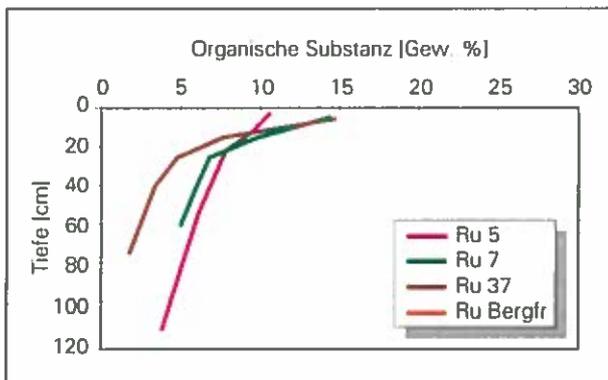
Feststoffdichte an den vier untersuchten Standorten in Abhängigkeit von der Bodentiefe



**Tab. 11:**  
Klassifikation des Humusgehaltes nach KUNTZE (1983) und SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992) verändert

Bezeichnung	Humusgehalt [%]	typische Böden	typische Vegetation bzw. Nutzung
humusarm	<1	Rohboden	Pioniergesellschaften
schwach humos	1-2	Parabraunerde	Acker
mittel humos	2-4	Braunerde	Laubwald
stark humos	4-8	Podsol	Grünland
sehr stark humos	8-15	Podsol, Gley	Wald
humusreich	15-30	Gley, Pseudogley	Feuchtwiesen

**Abb. 22:**  
Gehalt an organischer Substanz in den obersten Tiefenstufen der Böden



lichen organische Stoffe eine bessere Wasserbindung als anorganische (SCHLICHTING UND BLUME 1966). Ein hoher Gehalt an organischer Substanz bewirkt außerdem eine niedrigere Lagerungsdichte und erhöhte Wasserretention. Nach langer Austrocknung sind allerdings bei hohen Humusgehalten starke Benetzungswiderstände bei Wiederbefeuchtung zu erwarten.

**6.4.6 Gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Werte)**

Die Einteilung der Messergebnisse erfolgt nach HARTGE UND BALLY (1967), da diese Skala eine

bessere Einteilung stark leitfähiger Böden ermöglicht. Aus Gründen der Praxisnähe werden die  $K_f$ -Werte im Folgenden nicht gemäß Ö-NORM in [m/sec] sondern in [cm/h] angegeben.

Nach Ö-NORM L 1065 sind 15 Minuten nach Messbeginn die ersten 5 Messwerte arithmetisch zu mitteln. Unter Zugrundelegung dieses 15-Minuten-Schwellenwertes wird Folgendes deutlich:

- Die  $K_f$ -Werte nehmen auf allen Standorten in allen Tiefenstufen mit zunehmender Analysendauer deutlich ab. Es ist anzunehmen, dass in den Böden im Latenser Tal bei den hohen Niederschlagsmengen im Frühjahr 1999 ähnliche Effekte aufgetreten sind.
- In den obersten Bodenschichten ist die gesättigte Leitfähigkeit auf allen Versuchsstandorten deutlich höher als in den tieferen Schichten.
- Die Profile weisen durchwegs Bodenschichten mit reduzierter Infiltrationsleistung auf (bei Rutschung 5 allerdings erst in größerer Tiefe und daher z.T. nicht mehr in Abb. 23.1 enthalten). Diese Schichten wirken auf Grund des verengten Porenquerschnittes und der von der infiltrierenden Wasserfront vor sich hergeschobenen verdichteten Luft wie eine undurchdringbare Mauer (TISCHENDORF 1971).
- Kritischer Horizont bei Rutschung 7 in 30-50 cm Tiefe.  $K_f$ -Wert zwischen 240 cm/d (nach 15 min) und 0 cm/d (nach 240 min Analysendauer).
- Kritischer Horizont bei Großrutschung Bergfrieden in 20-30 cm Tiefe.  $K_f$ -Wert zwischen 170 bzw. 25 cm/d (nach 15 min) und 25 bzw. 0 cm/d (nach 240 min Analysendauer).
- Kritischer Horizont bei Rutschung 37 in 20-30 cm Tiefe.  $K_f$ -Wert um 120 bis 150 cm/d (nach 15

**Tab. 12:**  
Einteilung der gesättigten Wasserleitfähigkeit nach HARTGE und BALLY (1967) bzw. Klassifizierung der Durchlässigkeit von Böden nach KUNTZE et al. (1994)

HARTGE UND BALLY				KUNTZE ET AL.	
Bezeichnung	$K_f$ -Werte [cm/sec]	[cm/h]	[cm/d]	$K_f$ -Werte [cm/d]	Bezeichnung
extrem stark	> 9,9 *E-02	> 360	> 8640		
sehr stark	1,0-9,9 *E-02	36-60	864- 640	> 300	extrem hoch
stark	1,0- ,9 *E-03	3,6-36	86,4-864	100 - 300	sehr hoch
mittel	1,0-9,9 *E-04	0,36-3,6	8,64-86,4	40 - 100	hoch
schwach	1,0-9,9 *E-05	0,036-0,36	0,86-8,64	10 - 40	mittel
sehr schwach	1,0-9,9 *E-06	0,0036-0,036	0,08-0,86	01. Okt	gering
extrem schwach	< 1,0 *E-06	< 0,0036	< 0,08	< 1	sehr gering

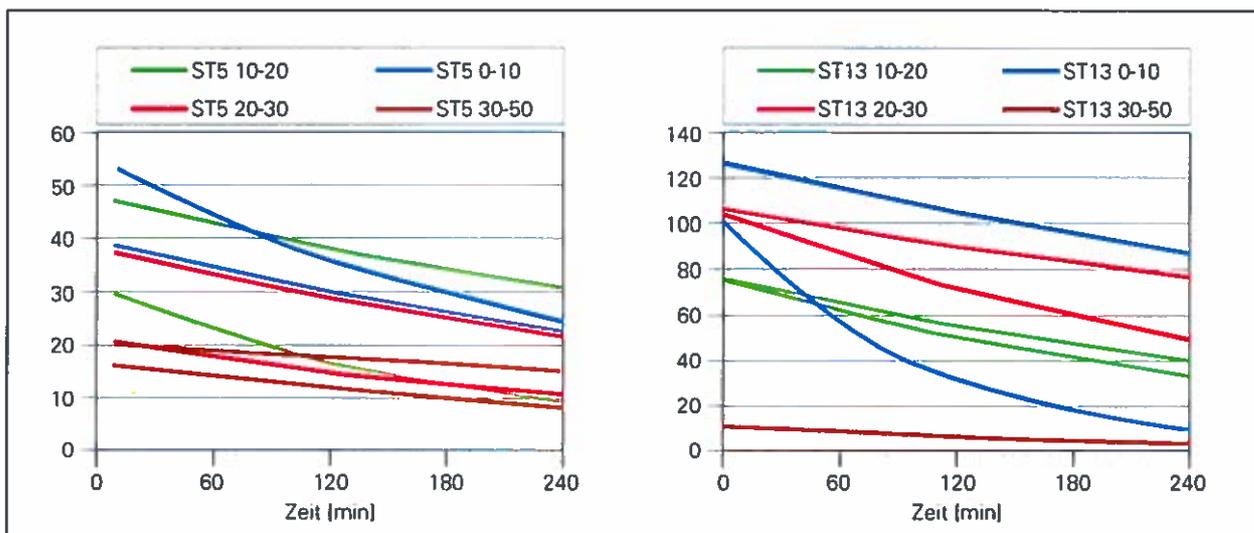
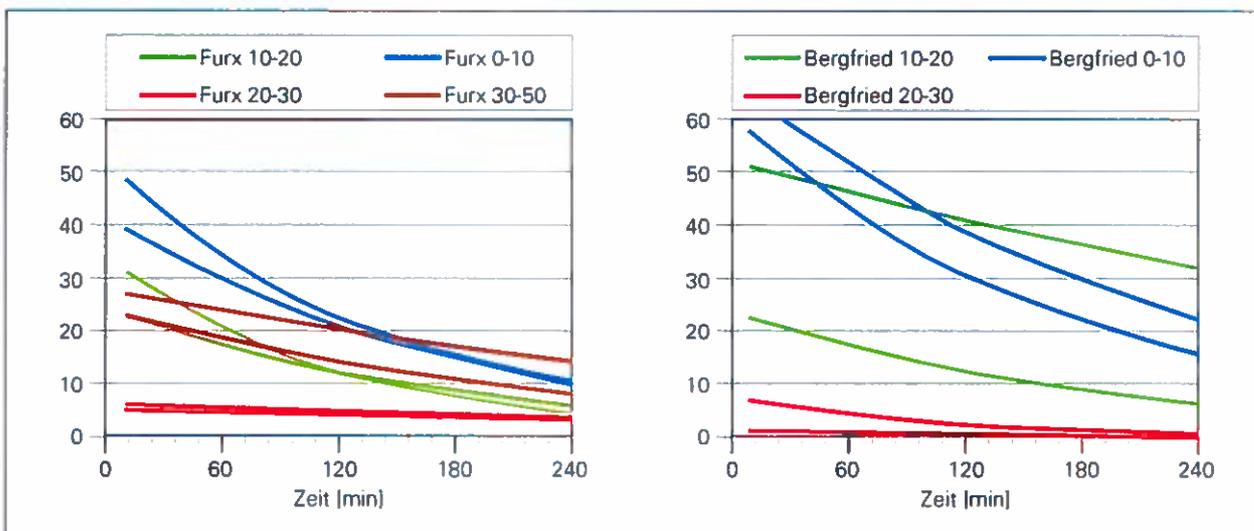


Abb. 23.1 und 23.2:

Gesättigte Wasserleitfähigkeit in den obersten Tiefenstufen der Böden der Rutschungen 5 und 7

Abb. 23.3 und 23.4:

Gesättigte Wasserleitfähigkeit in den obersten Tiefenstufen der Böden bei Rutschung 37 und der Großrutschung Bergfrieden



min) und 100 cm/d (nach 240 min Analysendauer). Bei diesem Standort fällt zudem die starke Abnahme der Dränleistung über alle Tiefenstufen mit zunehmender Belastungsdauer auf.

### 6.5 Diskussion der Ergebnisse der Bodenanalysen

Die Bodentextur an den untersuchten Standorten ist durch sehr hohe Schluffanteile (40 bis > 60 Vol%) gekennzeichnet. Daneben nimmt auch die Sandfraktion mit Werten von 10 Vol% bis > 50 Vol% hohe Anteile ein. Bei entsprechender Neigung weisen derartige Böden eine sehr hohe Rutschungsdisposition auf.

SCHAUER (1975) weist darauf hin, dass grundsätzlich all jene Rasen- und Wiesengesellschaften unter der Waldgrenze gegen Blaiken anfällig sind, die auf tiefgründigen schluffreichen Böden bei einer Hangneigung über 30 ° vorkommen. STAHR (1991) hat die bodenphysikalischen Ursachen von Waldabbrüchen im Zentralalpinen Raum untersucht. Besonders kritisch beurteilt er, dass Hangschuttdecken bzw. Böden aus Verwitterungsprodukten kristalliner Gesteine sich in der Regel unabhängig von ihrer petrographischen Zusammensetzung durch einen geringen Tongehalt, eine starke Ungleichförmigkeit und die Dominanz der Kornfraktion > 0,063 mm auszeichnen. MOSER UND HOHENSINN (1983 – zit. in STAHR 1991) haben gezeigt, dass ansteigende Hangwasserspiegel als

maßgebende Ursache in derartigen, praktisch kohäsionslosen Lockergesteinen zu sehen sind. Erreicht der Hangwasserspiegel eine kritische Höhe, bei der die böschungsparellen treibenden Kräfte aus Strömungsdruck und Eigengewicht der Lockermassen größer werden, als die einer Bewegung entgegenwirkenden Reibungskräfte, erfolgt der Hangbruch.

An den untersuchten Standorten kommen noch weitere negative Aspekte, wie die mangelnde Ausstattung an Grob- und Makroporen in größeren Bodetiefen dazu. Diese Abnahme der rasch dränenden Poren mit der Tiefe führt einerseits zu ausgeprägten Stauwirkungen und verstärkter Neigung zur Oberflächenabflussbildung bei höheren Niederschlagsmengen (vgl. BUNZA ET AL. 1996, MARKART ET AL. 1997). Andererseits ist bei höherem Hangwasserangebot bzw. dem Anstieg des Hangwasserspiegels bei Dauerregen nur ein minimaler Wasseraustausch über die oberen Bodenschichten möglich. Der Strömungsdruck des Hangwassers kann sich nur in Schwächezonen entlasten, an diesen Stellen kommt es dann zu regelrechten Explosionen. Bei den von STAHR (1991) diskutierten Waldabbrüchen in Prosegg (Osttirol) und im Voldertal (Tirol) mussten bei einer Feldkapazität des Bodens zwischen 200 und 300 l/m<sup>3</sup> und einer vorangegangenen niederschlagsärmeren Periode zusätzliche Wassermassen in die Anbruchzone gelangen, um einen abbruchauslösenden Hangwasserspiegel aufzubauen. Bei den Rutschungen 5, 7 und der Großrutschung Bergfrieden war bei der Probennahme (mehrere Wochen nachdem die Rutschungen abgegangen waren) immer noch deutlicher Hangwasseraustritt zu beobachten (siehe Brunnen unterhalb der Rutschung 7). Es ist also anzunehmen, dass an diesen Standorten hoher Fremdwasseranteil (aus höhergelegenen Bereichen) an der Auslösung der Rutschungen beteiligt war.

## 7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Untersuchungen an 147 Rutschungen dargestellt. Diese Rutschungen ereigneten sich am 20. bzw. 21. Mai 1999 im Laternsertal (Vorarlberg) und wurden durch die feuchte Witterung der Vorperiode und die enorme Tagesniederschlagssumme des 21. Mai (223 mm) ausgelöst. Die hohe Anzahl an Rutschungen auf einem relativ kleinen Gebiet, bot

die Möglichkeit die bei diesen Prozessen zu erhebenden Parameter statistisch auszuwerten. Zum Zwecke einer fundierten, nachvollziehbaren Dokumentation der Rutschungen wurde am Institut für Lawinen- und Wildbachforschung des BFW dafür ein eigenes Aufnahmeschema geschaffen (vgl. Abb. 2). An insgesamt 16 Tagen wurden Felderhebungen durchgeführt, wobei die Art und Weise dieser Erhebungen im Kapitel 4 näher beschrieben wird.

Eine Auswertung der erhobenen Parameter zeigte:

- 90 % aller Rutschungen fanden zwischen 900 m und 1.500 m Seehöhe statt.
- nordexponierte Hänge waren am häufigsten betroffen.
- 61 % aller Rutschungen ereigneten sich in Mittelhangbereichen.
- 87 % aller Rutschungen hatten eine Hangneigung von mehr als 60 %.
- Bis zu einer Hangneigung von 70 % nahm die Rutschungsaktivität mit der Hangneigung zu, in noch steileren Hängen nahm diese dann wieder ab.
- beinahe ¾ aller Rutschungen lagen im Wald bzw. am Waldrand.
- der überwiegende Teil der Rutschungen (85 %) wurden als Rotationsrutschungen eingestuft.
- die durchschnittliche Rutschungsfläche betrug 206 m<sup>2</sup>, die durchschnittliche Maximaltiefe 2,1 m.
- das durchschnittliche Rutschungsvolumen war 241 m<sup>3</sup>, wobei ¾ aller Rutschungen weniger als 200 m<sup>3</sup> aufwiesen.

In weiterer Folge wurden die Rutschungsparameter zu einander in Beziehung gesetzt. Dabei ließen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Rutschungen im Wald bzw. Waldrand fanden bei durchschnittlich größeren Hangneigungen statt als auf Freiflächen. Der Hauptanteil der Rutschungen im Wald lag bei 70-80 % Hangneigung, bei Wiesen 60-70 %.
- Je größer die Hangneigung, desto kleiner die Rutschungsfläche.
- Über 80 % Hangneigung war das durchschnittliche Rutschungsvolumen kleiner als 60 m<sup>3</sup> und nahm mit zunehmender Hangneigung weiter kontinuierlich ab.
- Je größer die Hangneigung desto flachgründiger waren die Rutschungen.
- Translationsrutschungen waren durchschnittlich flachgründiger als Rotationsrutschungen.
- Je größer das Flächenausmaß der Rutschung desto größer war auch deren maximale Tiefe.

An vier ausgewählten Rutschungen wurden Bodenproben entnommen. Diese wurden im Labor auf die Parameter Lagerungs- und Feststoffdichte, Gesamtporenvolumen und organische Substanz untersucht. Auch die Druckpotenzial-Wasseranteilsbeziehungen (pF-Kurven) und die gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $K_f$ -Werte) wurden bestimmt. Die Analysen zeigten, dass alle untersuchten Böden Eigenschaften aufwiesen, die Rutschungen begünstigen. So wiesen sämtliche Bodenhorizonte Schluffanteile von mehr als 40 % auf und waren damit alleine schon von ihrer Korngrößenverteilung prädestiniert für Rutschungsvorgänge. Die untersuchten Böden waren auch durch eine starke Abnahme der rasch entwässernden Poren und eine Zunahme der Lagerungsdichte mit der Tiefe gekennzeichnet. Bei allen Bodenprofilen wurden darüber hinaus Bodenschichten mit reduzierter Infiltrationsleistung gefunden, die zu Staueffekten beim Wassertransport führten.

Die angeführten Ergebnisse können einige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren von Rutschungen aufzeigen. Exakte Schlussfolgerungen über die Gefährdungsdiskussion bestimmter Hangteile lassen sich jedoch nicht direkt ableiten. Dazu wäre eine das gesamte Gebiet umfassende Standortkartierung notwendig, die auch eine geologische Kartierung der Gehänge- und Moränenschuttmassen miteinschließen müsste.

Tagesniederschläge in der Größenordnung des 21. Mai 1999 (noch dazu in Verbindung mit einer feuchten Witterung in der Vorperiode) sind andere Faktoren in den Hintergrund drängende Einflussgrößen, die in einem an und für sich schon rutschungsgefährdetem Gebiet wie dem Laternsertal immer wieder zu neuen Rutschungen führen werden.

Bei den untersuchten Rutschungsvorgängen sind glücklicherweise keine Personen zu Schaden gekommen, auch der monetäre Schaden an Wirtschaftsgütern hielt sich in Grenzen. In Hinblick auf den Schutz der Bevölkerung sollte jedoch auch der zweifellos große Aufwand einer exakten Standortserkundung für die Festlegung von Gefährdungsbereichen gerechtfertigt sein.

## Literaturverzeichnis

- AULITZKY H. 1987: *Studienblätter zur Vorlesung „Grundlagen der Wildbach- und Lawinenverbauung“*. Wien, Univ. Bodenkultur, Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung.
- ADAMS W.A. 1973: *The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podsollic soils*. J. Soil. Sci. 24, 10 - 17.
- AGRARGEMEINSCHAFT RANKWEIL 2000: telefonische Auskunft November 2000.
- BEINSTEINER H. UND MAYER H. 1971: *Waldbauliche Untersuchungen von Waldabbrüchen im Osttiroler Katastrophengebiet*. Bern, Interpraevent 1971, Bd. 2, 295-310.
- BLUM W.E.H., SPIEGEL H. UND WENZEL W.W. 1996: *Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung*. Arbeitskreis Bodenzustandsinventur der ÖBG; ed: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. 1 - 47.
- BOYLE M., FRANKENBERGER W.T. JR., AND STOLZY L.H. 1989: *The Influence of Organic Matter on Soil Aggregation and Water Infiltration*. Journal of Production Agriculture, Vol.2, No.4: 290 - 299.
- BUNZA G., JURGING P., LÖHMANNSRÖBEN R., SCHAUER T. UND ZIEGLER R. 1996: *Abfluss- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen Wildbachschutz*. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 27: 25 - 36.
- CZELL A. 1967: *Beitrag zum Wasserhaushalt subalpiner Böden*. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 75: 305-332.
- DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU) 1984: *Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II: Synthese*
- ENGLISCH M. 1998: *Anleitung zur Forstlichen Standortkartierung in Österreich*. FBVA-Bericht 104.
- FRANDL T. 2001: *schriftliche Auskunft*, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Vorarlberg
- GOTTSCHLING H. 2000: *Geologische Beurteilung der Rutschungen im Laternsertal*, FBVA, unveröffentlicht.
- HAGEN K. 1996: *Untersuchungen über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkniederschlägen bei verschiedenen stark vorhurchfeuchteten Böden*. Diplomarbeit, Wien, Univ. Bodenkultur
- HARTGE K.H. UND BAILLY E. 1967: *Beziehungen zwischen Staumassemerkmalen, Wasserleitfähigkeit und Porenkontinuität in Löß-Parabraunerden im südlichen Niedersachsen*. Zeitschrift für Pflanzenernährung Bodenk., 116: 10-25.
- HIJSEL W. ET AL. 1953-1964: *Geologische Karte des Walgaues 1:25.000*. Geologische Bundesanstalt Wien
- HOFER H.P. 1997: *Eine computergestützte Messapparatur zur Bestimmung der gesättigten Leitfähigkeit von Böden*. Innsbruck, unveröffentlicht.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH: *Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich*. Jahrbücher 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH: *Hydrographisches Jahrbuch von Österreich* 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996.
- KIENTHOLZ H. 1997: *Domodis (Documentation of Mountain Disasters) Invitation for aktive participation*, ICSU/IDNDR Project
- KUNTZE H., NIEMANN J., ROESCHMANN G. UND SCHWERDTFEGER G. 1983: *Bodenkunde*. 3. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- LANDESWASSERBAUAMT BREGENZ 1999: *schriftliche Auskunft* Juli 1999.

- LÄNGER, E. 1975: *Bericht über die Katastropheneignisse in Kärnten*. Wildbach und Lawinenverbau, 39. Jahrgang, Heft 1
- MARKART G., KOHL B. UND ZANETTI P. 1997: *Oberflächenabfluss bei Starkregen - Abflussbildung auf Wald-, Weide- und Feuchtflächen, (am Beispiel des oberen Einzugsgebietes der Schesha - Bürserberg, Vorarlberg*. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 114. Jg., Heft 2/3, 123 - 144.
- MOSER M. 1980: *Zur Analyse von Hangbewegungen in schwachbindigen bis rolligen Lockergesteinen im alpinen Raum anlässlich von Starkniederschlägen*. Bad Ischl, Interpraevent, 1980, Bd. 1, 121 - 148.
- MOSER M. 1997: *Zur Prognose von Massenbewegungen*. Eclogae geol. Helv. 90, 281 - 391.
- MOSER M. UND HOHENSINN F. 1983: *Geotechnical aspects of soil slips in alpine regions*. Engineering Geology 19, 185 - 211.
- MOSER M. UND SCHÖGER H. 1989: *Die Analyse der Hangbewegungen im mittleren Inntal anlässlich der Unwetterkatastrophe 1985*. Wildbach und Lawinenverbau, 53. Jahrgang, Heft 110
- NEATH M.A., ROTHWELL R.L., CHANASKY D.S. AND BAILEY A.W. 1990: *Grazing impacts on infiltration in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta.*, Can. J. Soil Sci., 70: 593-605.
- NEUWINGER-RASCHENDORFER I. UND CZELL A. 1965: *Böden in den Tiroler Zentralalpen*. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Ökologische Untersuchungen in der Subalpinen Stufe, Teil 1, 2. Auflage, 371 - 411.
- OBERHAUSER M. 1999: *Geotechnisches Gutachten - Hangrutschung Mühlobel/Feuerwehrhaus*.
- OBERHAUSER, R. 1982: *Geologische Karte von St. Gallen Süd (110) und Dornbirn Süd (111) 1: 25.000 und Erläuterungen*. Geologische Bundesanstalt Wien
- Ö-NORM L 1063 1988: *Bestimmung der Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung von ungestörten Bodenproben*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, A-1021 Wien.
- Ö-NORM L 1065 1988: *Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in gesättigten Zylinderproben*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, A-1021 Wien.
- Ö-NORM L 1068 1988: *Bestimmung der Dichte von Böden*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, A-1021 Wien.
- RICKLI C. 2001: *Vegetationswirkungen und Rutschungen*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- SCHAUER T. 1975: *Die Blaukeimbildung in den Alpen*. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 1.
- SCHIEFFER E. UND SCHACHTSCHABEL P. 1992: *Lehrbuch der Bodenkunde*. 13. durchgesehene Aufl., Enke, Stuttgart.
- SCHIMPF H. 1970: *Untersuchungen über das Auftreten beachtlicher Niederschläge in Österreich*. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 22, Heft 5/6, 121 - 127.
- SCHLICHTING E. UND BLUME H.P. 1966: *Bodenkundliches Praktikum*. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- STAIR A. 1991: *Bodenphysikalische Ursachen von Waldabbrüchen im Zentralalpinen Raum*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 162. Jg., (8): 150-154.
- TISCHENDORF W. 1971: *Die Veränderlichkeit der Nährgebiete für den Hochwasserabfluß aus Waldgebieten*. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 1971: Grenzen und Möglichkeiten der Vorbeugung von Unwetterkatastrophen im alpinen Raum, 209-214.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1999: *Wetter und Klimaübersicht Mai 1999*
- ZANETTI P. 1996: *Einfluss physikalischer Bodencharakteristika, der Bestandesphytomasse und der Nutzungsart auf die Infiltrationseigenschaften verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten des Finsingtales (Zillertal/Tirol)*. Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 86 S.

Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. Peter Andrecs  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hauptstraße 7  
 A-1140 Wien  
 e-Mail: peter.andreacs@fbva.bmlf.gv.at

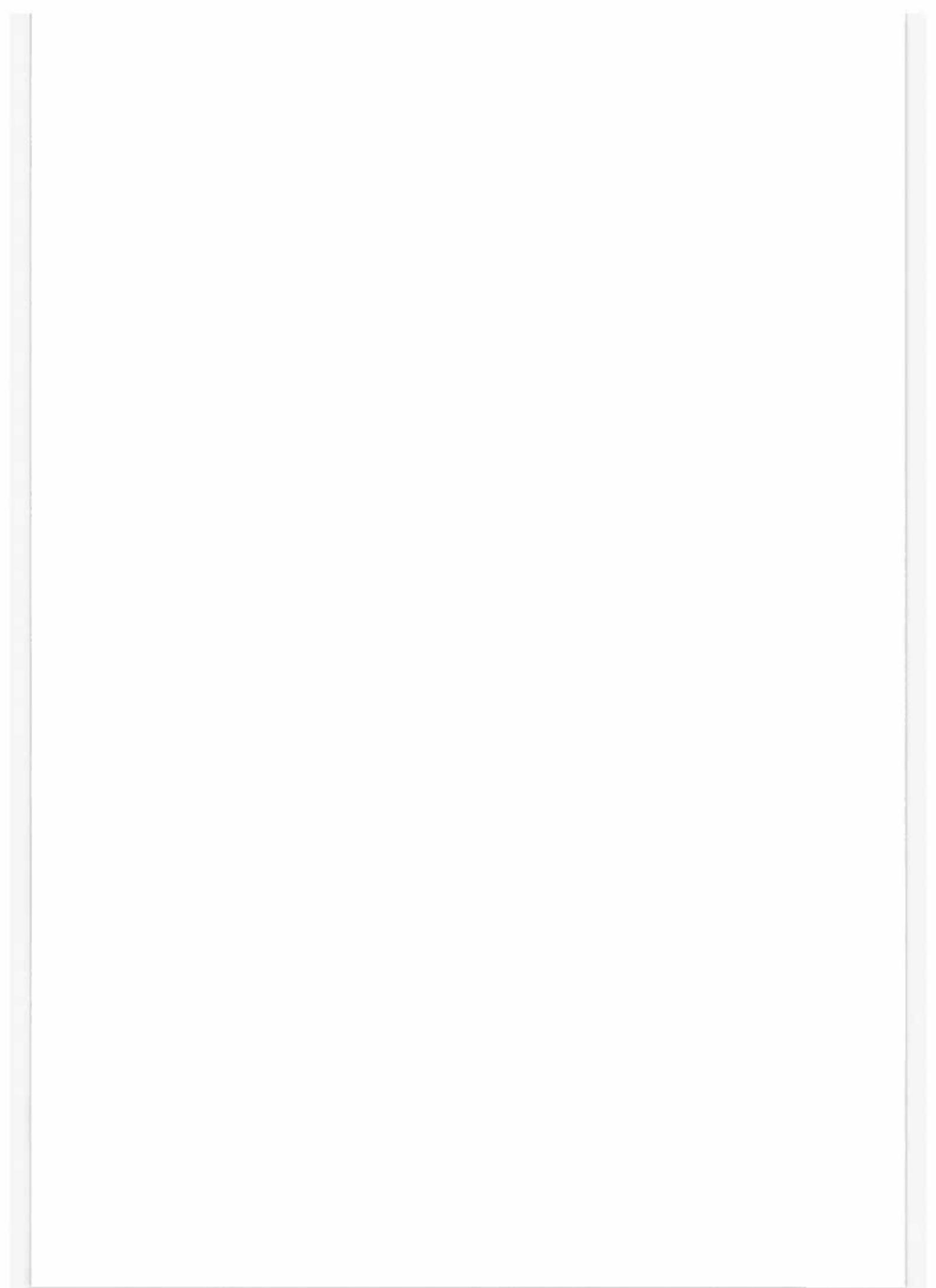
Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Markart  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hofburg, Rennweg 1  
 A-6020 Innsbruck  
 e-Mail: gerhard.markart@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Erich Lang  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hauptstraße 7  
 A-1140 Wien  
 e-Mail: erich.lang@fbva.bmlf.gv.at

Dipl.-Ing. Karl Hagen  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hauptstraße 7  
 A-1140 Wien  
 e-Mail: karl.hagen@fbva.bmlf.gv.at

Mag. Bernhard Kohl  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hofburg, Rennweg 1  
 A-6020 Innsbruck  
 e-Mail: bernhard.kohl@uibk.ac.at

Wolfgang Bauer  
 Bundesamt und Forschungszentrum für Wald  
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung  
 Hofburg, Rennweg 1  
 A-6020 Innsbruck  
 e-Mail: gw.bauer@uibk.ac.at



**FBVA-Berichte**  
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

			Preis in Euro
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	GRÜLL, H.; TRAUNINGER, W. Neuzeitliche Forstsaatguterzeugung in Pflanzplantagen. I. Teil, Plusbaumauswahl und Pflanzung. 73 Seiten	1,45
1956	5	HAFNER, F.; HEDENIGG, W. Planiergerät im forstlichen Straßen- und Wegebau. 75 Seiten	1,45
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 Seite	3,63
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	5,81
1986	11	STAGL, W.; DRESCHER, A. Wild - Vegetation - Forstschäden. Vorschläge für ein Beurteilungsschema. 19 Seiten	2,18
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	6,54
1986	16	HAUK, E.; HÖLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	6,54
1987	17	MERWALD, I. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1980/81 und 1981/82. 74 Seiten	5,81

1987	18	EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt/Salzburg). 102 Seiten	7,26
1987	19	HAUPOLTER, R. Baumsterben in Mitteleuropa. Eine Literaturübersicht. Teil I: 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	21,80
1987	22	JOHANN, K. Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker. 66 Seiten	4,36
1987	23	POLLANSCHÜTZ, J.; NEUMANN, M. Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse. 98 Seiten	7,26
1987	24	KLAUSHOFER, F.; LITSCHAUER, R.; WIESINGER, R. Waldzustandsinventur Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern. 94 Seiten	7,26
1988	25	JOHANN, K. Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen. 88 Seiten	6,54
1988	26	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1986. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 114 Seiten	8,72
1988	27	SMIDT, S. Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur. 72 Seiten	5,81
1988	28	Forum Genetik - Wald - Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Kongresshaus Innsbruck. 192 Seiten	14,53
1988	29	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase. 52 Seiten	3,63
1988	30	MARCU, GH.; TOMICZEK, C. Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht. 23 Seiten	2,18
1988	31	KILIAN, W. Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong. 50 Seiten	3,63
1988	32	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987. 234 Seiten	18,16
1988	33	ENK, H. 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. 124 Seiten	9,44
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	4,36
1988	35	SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87. 138 Seiten	10,53

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	9,44
1989	37	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 100 Seiten	7,63
1989	38	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84. 92 Seiten	7,26
1989 Sonderheft		SCHNEIDER, W. Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. 118 Seiten	14,53
1989	39	KREHAN, H. Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. 58 Seiten	4,36
1989	40	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldgebiet Österreichs. 134 Seiten	10,17
1990	41	KILLIAN, H. Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn. 162 Seiten	11,99
1990	42	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987. 98 Seiten	7,26
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	5,81
1990	44	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 33 Seiten	2,54
1990	44A	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988 (Anhang). Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 230 Seiten	20,34
1990 Sonderheft		KILIAN, W.; MAJER, C. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. 58 Seiten	5,08
1990	45	NEUMANN, MARKUS; SCHADAUER, K. Waldzustandsinventur. Methodische Überlegungen und Detailauswertungen. 88 Seiten	6,54
1990	46	Zusammenkunft der Deutschsprachigen Arbeitswissenschaftlichen und Forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten. Bericht über die 18.Zusammenkunft vom 18.-20.April 1990. 286 Seiten	24,70
1991	47	SMIDT, S. Beurteilung von Ozonmeßdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. 87 Seiten	6,54
1991	48	ENGLISCH, M.; KILIAN, W.; MUTSCH, F. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Erste Ergebnisse. 75 Seiten	5,81
1991	49	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. 128 Seiten	9,44
1991	50	SMIDT, S. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. 90 Seiten	6,54

1991	51	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien, I. 33 neue Bockkäfer aus der palaearktischen und orientalischen Region (Coleoptera, Cerambycidae). 75 Seiten	14,53
1991	52	FÜRST, A. Der forstliche Teil der Umgebungsüberwachung des kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr. Ergebnisse von 1981 bis 1990. 42 Seiten	3,23
1991	53	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1977-1979. 80 Seiten	5,81
1991	54	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1980-1982. 78 Seiten	5,81
1991	55	WIESINGER, R.; RYS, J. Waldzustandsinventur: Untersuchung der Zuwachsverhältnisse an Wald- und Bestandesrändern. 60 Seiten	4,36
1991	56	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 60 Seiten	6,90
1991	57	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1989/90. 28 Seiten	2,18
1991	58	STAGL, W.; HACKER, R. Weiden als Prosshölzer zur Äsungsverbesserung. 56 Seiten	4,36
1991	59	HOLZER, K.; OHENE-COFFIE, F.; SCHULTZE, U. Vegetative Vermehrung von Fichte für Hochlagenaufforstungen. Physiologische und phänologische Probleme der Anpassung. 73 Seiten	5,45
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	10,17
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	7,63
1992	62	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1983-1985. 72 Seiten	5,45
1992	63	FÜRST, A. Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. 37 Seiten	2,90
1992		DRAGOVIC, N. Sonderheft 1 Terminologie für die Wildbachverbauung. Fachwörterbuch deutsch - serbokroatisch. Terminologija Uredjenja Bujicnih Tokova. Recnik Strucnih Termina Srpskohrvatsko - Nemacki. 43 Seiten	3,63
1992	64	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1986-1988. 91 Seiten	6,90
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	14,53
1992	66	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1989. 60 Seiten	4,36
1992	67	Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal. Ergebnisse aus dem Projekt „Höhenprofil Zillertal“. 152 Seiten	13,08

1992	68	LUZIAN, R. Lawinereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91. 188 Seiten	14,53
1992	69	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien III. 57 neue Bockkäfer aus Asien. Vorwiegend aus China, Thailand und Vietnam (Coleoptera, Cerambycidae). 63 Seiten	8,72
1992	70	Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Erste Ergebnisse aus dem Projekt „Höhenprofile Achenkirch“. 103 Seiten	7,26
1992	71	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Beiträge zum WBS-Seminar vom 23. April 1992. 111 Seiten	8,35
1992	72	VOSHMIGIR, D. (BEARB.). Das Schrifttum der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Teil IV: 1974 bis 1990. 115 Seiten	5,81
1993	73	MÜLLER, F. Auswahl und waldbauliche Behandlung von Gen-Erhaltungswäldern. 24 Seiten	1,81
1993	74	Lawinenbericht 1991/92. Dokumentation und Fachbeiträge. 110 Seiten	5,81
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	7,26
1994	76	SCHADAUER, K. Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. 160 Seiten	14,53
1994	77	KAISER, A. Projekt „Höhenprofil Zillertal“ Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. 95 Seiten	5,81
1994	78	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Höhenprofil Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. 134 Seiten	8,72
1994	79	FÜRST, W.; JOHANN, K. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. 53 Seiten	3,99
1994	80	ANDRECS, P. Schadensereignisse in Wildbacheinzugsgebieten Österreichs 1990 und 1991. 47 Seiten	3,63
1994	81	GEBUREK, T.; MÜLLER, F.; SCHULTZE, U. Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. 113 Seiten	7,26
1994	82	KILIAN, W.; MÜLLER, F.; STARLINGER, F. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturgliederung nach walddökologischen Gesichtspunkten. 60 Seiten	5,08
1995	83	JOHANN, K. Ergebnis der Großdüngungsversuche St. Martin und Flachau Ertragskundlicher Abschlußbericht. 102 Seiten	7,26
1995	84	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 65 neuen Bockkäfern aus Europa und Asien, vorwiegend aus Thailand und China (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 63 Seiten	4,36
1995	85	KRISTOFEL, F.; POLLANSCHÜTZ, J. Entwicklung von Fichtenpflanzen nach Triebrückschnitten. 17 Seiten	1,45
1995	86	CECH, T.; TOMICZEK, C. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achenental. 46 Seiten	3,63

1995	87	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. 288 Seiten	32,70
1995	88	CECH, T.; PERNY, B.; DONAUBAUER, E. Wipfelsterben an Jungfichten in Österreich und beteiligte Mikropilze. 32 Seiten	3,63
1995	89	MARKART, G.; KOHL, B. Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetations- einheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. 38 Seiten	4,36
1995	90	LANG, E. Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen . 70 Seiten	7,26
1995	91	LUZIAN, R.; RAMMER, L.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenbericht 1992/93 - Dokumentation und Fachbeiträge. 52 Seiten	5,81
1995	92	SCHIELER, K.; BÜCHSENMEISTER, R.; SCHADAUER, K. Österreichische Forstinventur - Ergebnisse 1986/90. 262 Seiten	18,16
1996	93	NEUMANN, M. (HRSG.) Österreichisches Waldbeobachtungssystem Beiträge zum 4. WBS-Seminar in Wien am 23. November 1995. 177 Seiten	18,89
1996	94	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen. 291 Seiten	25,43
1997	95	MÜLLER, F. Waldbau an der unteren Waldgrenze. 129 Seiten	13,80
1997	96	LANG, E.; STARY, U.; KOHL, B.; MARKART, G.; PROSKE, H.; TRINKAUS, P.; ANDRECS, P.; GOTTSCHLING, H. Beiträge zur Wildbachforschung. 51 Seiten	5,81
1997	97	RASCHKA, H.-D. Forstliche Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. 29 Seiten	6,63
1997	98	KELLER, G. Mykosoziologische Studie über die Mykorrhizapilze der Zirbe - Artenspektrum und Sukzession in der hochsubalpinen Stufe der Tiroler Zentralalpen. 74 Seiten	7,99
1997	99	SMIDT, S. Lexikon für waldschädigende Luftverunreinigung mit Index Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch. 209 Seiten	23,10
1997	100	KRONFUSS, H. Das Klima einer Hochlagenaufforstung in der subalpinen Höhenstufe - Haggen im Sellraintal bei St. Sigmund, Tirol (Periode 1975 - 1994 ). 331 Seiten	29,06
1998	101	NEUMANN, M. Waldwachstumskundlicher Rauchhärteest „Arnodstein“ - Auswertung einer 25jährigen Fallstudie . 42 Seiten	4,36
1998	102	JUNGWIRTH, P. Zuwachsuntersuchungen an Fichte in verschiedenen Seehöhenstufen in den südlichen Zwischenalpen Österreichs . 54 Seiten	5,81
1998	103	SCHULTZE, U. Untersuchung der Angepaßtheit von Fichtensämlingen an die Seehöhe Klimakammertesting der Fichtenbeerntungen der Reifejahre 1991 und 1992. 38 Seiten	4,36
1998	104	ENGLISCH, M. & KILIAN, W. (HRSG.). Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. 112 Seiten	12,35

1998	105	HEINZE, B. Molekulargenetische Unterscheidung und Identifizierung von Schwarzpappeln und Hybridpappelklonen. 44 Seiten	5,08
1998	106	HEINZE, B. Erhaltung der Schwarzpappel in Österreich - forstwirtschaftliche, genetische und ökologische Aspekte. 33 Seiten	3,63
1998	107	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 68 neuen Bockkäfern aus Asien, überwiegend aus China und zur Synonymie einiger Arten (Coleoptera: Cerambycidae). 65 Seiten	7,26
1999	108	LANG, E.; HAGEN, K. Wildbacheinzugsgebiet Gradenbach – Analyse des Niederschlag- und Abflußgeschehens 1968 - 1996. 109 Seiten	11,62
1999	104	ENGLISCH, M. & KILIAN, W. (HRSG.). Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. 2. erweiterte Auflage, 114 Seiten	12,35
1999	109	ANDRECS, P. Wildbacheinzugsgebiet Graschnitzbach – Hydrologisches Nachschlagewerk mit Kommentaren. 107 Seiten	11,62
1999	110	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 71 neuen Bockkäfern aus Asien, vorwiegend aus China, Laos, Thailand und Indien (Coleoptera, Cerambycidae). 64 Seiten	7,26
2000	111	MÜLLER, F. (Hrsg.) Mariabrunner - Waldbautage 1999 Umbau sekundärer Nadelwälder. 237 Seiten	25,43
2000	112	FÜRST, W. & SCHAFFER, H. Konzept des neuen Österreichischen Waldentwicklungsgesamtplanes „WEP-Austria-Digital“. 22 Seiten	3,19
2000	113	HERMAN, F. (Hrsg.) Forschungsergebnisse und Forschungsbedarf zum Thema „Sustainable Future of Mountain Forests in Europe“. Beiträge für den 3. Internationalen Workshop in Igls/Tirol zur Umsetzung der Resolution S4 am 3.–5. Mai 2000. 83 Seiten	8,72
2000	114	JOHANN, K. † Ergebnisse von Düngungsversuchen nach 30 Jahren ertragskundlicher Beobachtung. 93 Seiten	10,17
2000	115	GARTNER, K. ; STARLINGER, F. Untersuchungen zum Wasserhaushalt einzelner Waldstandorte im Leithagebirge – Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen im nordöstlichen Teil des Leithagebirges in den Jahren 1991 bis 1996. 47 Seiten	5,08
2000	116	HAGEN, K. ; LANG, E. Schneehydrologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Gradenbaches (Kärnten) 67 Seiten	7,26
2000	117	MARKART, G. Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen - Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. 126 Seiten	13,80
2000	118	LUZIAN, R. Lawinenberichte Winter 1993/94 bis 1997/98 – Dokumentation und Sachbeiträge. 61 Seiten	
2001	119	HERMAN, F. ; SMIDT, S. ; ENGLISCH, M. (Hrsg.) Stickstoffflüsse am Mühleggerköpfl in den Nordtiroler Kalkalpen. 164 Seiten	18,16

2001	120	NEUMANN, M. (Hrsg.) Österreichische Intensivbeobachtungsflächen – Beiträge zum 5. WBS-Seminar in Wien am 19.10.1999. 81 Seiten	8,72
2001	121	VOSHMGIR, D.; SCHLIEBER, H. Die Forstwirtschaft im Internet. Dynamische Methoden zur Gewinnung forstlich relevanter Informationen im WWW. 67 Seiten	7,26
2001	122	NEUMANN, M., SCHNABEL, G., GÄRTNER, M., STARLINGER, F., FÜRST, A., MUTSCH, F., ENGLISCH, M., SMIDT, S., JANDL, R. & GARTNER, K. Waldzustandsmonitoring in Österreich Ergebnisse der Intensivbeobachtungsflächen(Level II). 235 Seiten	21,80
2001	123	MÜLLER, F. (Hrsg.) Mariabrunner Waldbautage 2000 – Ist die Versorgung mit forstlichem Saat- und Pflanzgut gesichert? 102 Seiten	10,90
2001	124	PRÖLL, W. (Hrsg.) Mariabrunner Forsttechniktage 2000. 68 Seiten	7,26
2001	125	HAGEN, K., STARY, U. Wildbacheinzugsgebiet Mödritschbach Analyse des Niederschlags- und Abflussgeschehen 1968-1995. 119 Seiten	13,08
2002	126	SCHULTZE, U., RASCHKA, H.-D. Douglasienherkünfte für den „Sommerwarmen Osten“ Österreichs – Ergrbnisse aus Douglasien-Herkunftsversuchen des Insitutes für Forstgenetik FBVA-Wien. 95 Seiten	10,45

### BFW-Berichte

(Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald)

Fortsetzung von: FBVA-Berichte (Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien)

2002	127	ANDRECS, P, BAUER, W., HAGEN, K., KOHL, B. , LANG, E., MARKART, G., PORZELT, M., SCHAUER, TH. Beiträge zur Wildbachforschung. 87 Seiten	7,90
2003	128	JANDL, R. Soil Chemistry as Indicator in Forest Ecology. 24 Seiten	2,64