



FBVA-BERICHTE Nr. 96/1997

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien
Waldforschungszentrum

Beiträge zur Wildbachforschung

*Contributions Relating to
Torrent Research*

E. LANG, U. STARY, B. KOHL, G. MARKART,
H. PROSKE, P. TRINKAUS, P. ANDRECS,
H. GOTTSCHLING

FDK 384.3:116.2:945.4:(436)



Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft

Empfohlene Zitierung:

Beiträge zur Wildbachforschung / E. Lang, U. Stary, B. Kohl, G. Markart, H. Proske, P. Trinkaus, P. Andrecs, H. Gottschling. FBVA-Berichte; Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 1997, Nr. 96, 51 S.

ISSN 1013-0713

Copyright 1997 by
Forstliche Bundesversuchsanstalt

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

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

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

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

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

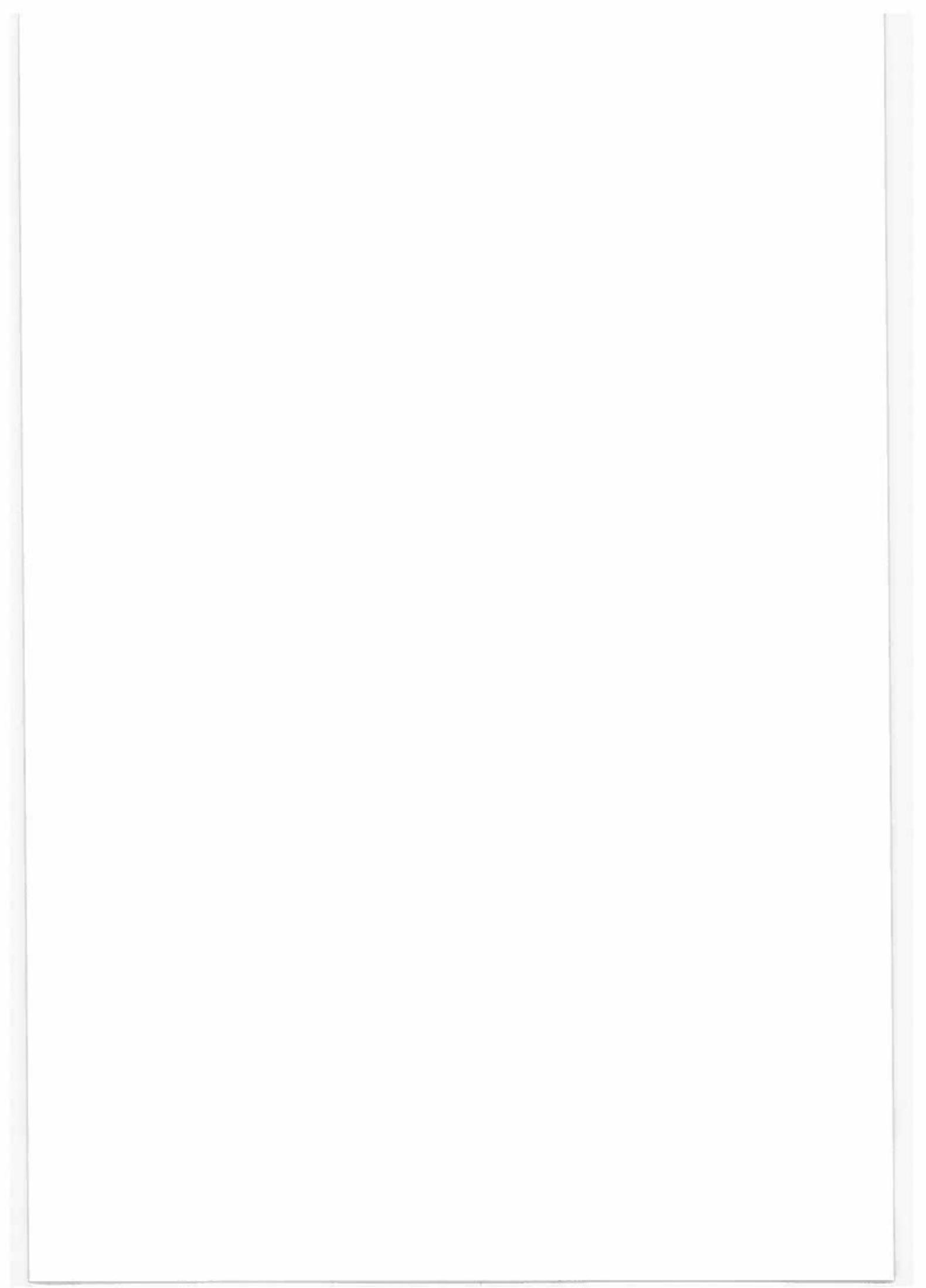
Vorbemerkungen

Die "Beiträge zur Wildbachforschung" stellen ein Bindeglied zwischen der Informationsweitergabe in Form von Artikeln in Fachzeitschriften und der detaillierten, umfangreichen Berichterstattung über langjährige Versuchs- und Meßreihen dar. Sie schließen somit zeitlich eine Lücke zwischen der Veröffentlichung von Arbeiten aus aktuellem Anlaß und solchen, die im Rahmen des Arbeitsprogrammes laufend durchgeführt werden.

Nach den schweren Hochwasserereignissen der Jahre 1965 und 1966 begann das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt mit dem Aufbau eines Meßdienstes zur Erforschung des Niederschlag-Abflußverhaltens von Wildbacheinzugsgebieten. Durch die ständige Verbesserung der meßtechnischen Ausstattung dieser Gebiete können nun einerseits auftretende Hochwasserereignisse wesentlich rascher untersucht werden, andererseits der Praxis des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung grundlegendes Datenmaterial zur Verfügung gestellt werden. Die Berichte aus den Mustereinzugsgebieten Oselitzbach (Kärnten) und Schmittenbach (Salzburg) kommen dieser Aufgabe nach.

Datenmaterial über das Abfluß- und Infiltrationsverhalten von Waldstandorten auf geologisch unterschiedlichen Bereichen liefert ein Bericht über Versuchsdurchführungen mit Beregnungsanlagen unterschiedlicher Bauart im Einzugsgebiet der Glein (Steiermark). Diesem Bericht wurde eine Charakterisierung des Einzugsgebietes in Form eines Beitrages des Institutes für Umweltgeologie und Ökosystemforschung (Joanneum Research), welches im Gebiet des Gleintales geo- und biowissenschaftliche Untersuchungen durchführt, zur Seite gestellt. Die Erhebungen dieser Forschungsanstalt bildeten auch die Grundlagen für die Auswahl von Standorten für die Beregnungsversuche des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung.

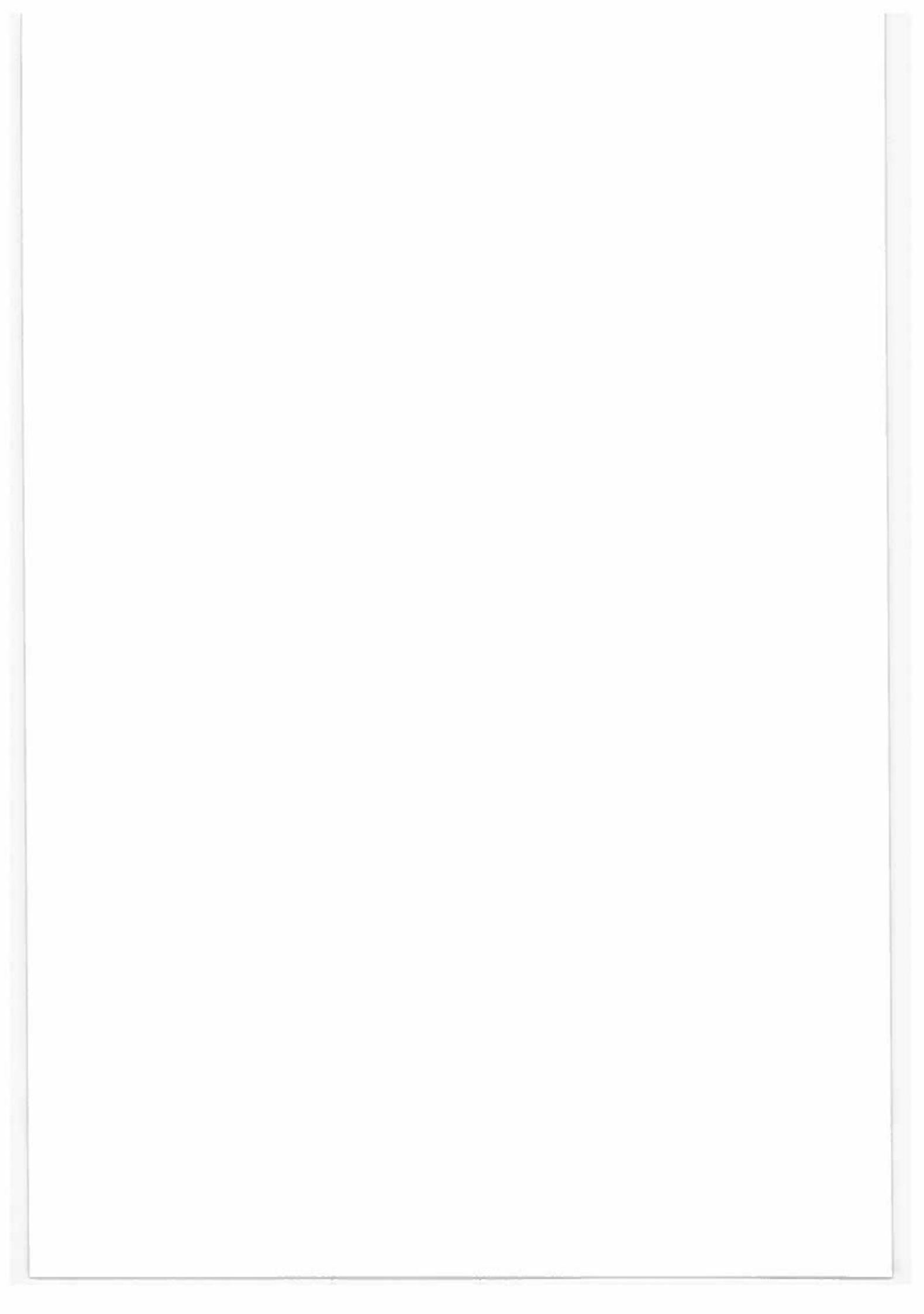
In einem weiteren Bericht wurden Einzugsgebietsbegehungen im Anschluß an ein Wildbachschadensereignis 1995 im Wetzelsbergerbach (Steiermark) zum Anlaß genommen, eine kritische Auseinandersetzung mit Berechnungsmethoden über Geschiebefrachten durchzuführen.



Inhaltsverzeichnis

Contents

Vorbemerkungen	3
LANG, E. Wildbacheinzugsgebiet Oselitzenbach - Spitzenwerte von Niederschlag und Abfluß 1987-1995 <i>Watershed Area of the Torrent Oselitzenbach - Peak Values of Precipitation and Runoff 1987 - 1995.....</i>	7
STARY, U. Niederschlag-Abfluß-Dokumentation eines Starkregenereignisses am Schmittenbach <i>Precipitation-Runoff Documentation of a Heavy Rainfall at Schmittenbach.....</i>	21
KOHL, B., MARKART, G., STARY, U., PROSKE, H., TRINKAUS, P. Abfluß- und Infiltrationsverhalten von Böden unter Fichtenaltbeständen in der Gleinalm (Stmk.). Vergleich zweier Großregenanlagen <i>Runoff and Infiltration Characteristics of Soils under Old Spruce Stands in the Gleinalm (Styria); Comparison between two Sprinkling Irrigation Installations.....</i>	27
PROSKE, H. Gebietscharakteristik des Gleintales bei Knittelfeld (Steiermark) <i>Characterization of the Area of the Gleintal Near Knittelfeld (Styria).....</i>	33
ANDRECS, P., GOTTSCHLING, H. Analyse eines Wildbach-Schadensereignisses im Einzugsgebiet des Wetzelsbergerbaches (Steiermark) <i>Analysis of a Torrent Damage in the Watershed Area of the Wetzelsbergerbach (Styria)</i>	37



Wildbacheinzugsgebiet Oselitzenbach - Spitzenwerte von Niederschlag und Abfluß 1987 - 1995

E. LANG

Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

Kurzfassung. Der Mangel an Meßdaten von Extremereignissen in kleinen Einzugsgebieten stellt nach wie vor eines der Hauptprobleme bei der Projektierung von Hochwasserschutzmaßnahmen für Wildbäche dar. Die geglückte meßtechnische Erfassung eines Hochwasserereignisses mit extrem hoher Jährlichkeit in einem solchen Gebiet wurde daher zum Anlaß genommen, dieses Ereignis zu bewerten, wie auch zu früheren Zeitpunkten aufgezeichnete Spitzenwerte von Niederschlag und Abfluß zu veröffentlichen. Diese reihen sich ins Vorderfeld bisher bekannter österreichweiter Vergleichsdaten und sind ein wesentlicher Beitrag für die räumliche Zuordnung solcher Werte.

Schlüsselworte: Wildbachforschung, Meßergebnisse, Starkregen, Mustereinzugsgebiete, Hochwasser

Abstract. [Watershed Area of the Torrent Oselitzenbach - Peak Values of Precipitation and Runoff 1987 - 1995.] As the lack of measuring data from extreme events in small watershed areas continues to be one of the major problems in connection with the planning of flood control measures for torrents, the successful measuring of a flood event with extremely high annual return was taken as an opportunity to evaluate this event as well as to publish peak values of precipitation and runoff recorded at earlier times. Those values follow comparable all-Austrian data and represent an important contribution to their spatial classification.

Keywords: Torrent research, measurement data, heavy rain, sample watersheds, flood

1. Einleitung

Das Einzugsgebiet des Oselitzenbaches in Kärnten wurde nach den folgenschweren Hochwasserereignissen im Gailtal (1983) als Mustereinzugsgebiet des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung ausgewählt. Es wurde sukzessive mit mehreren Niederschlags- und einer Abflußmeßstelle zum Studium der Abläufe von Hochwasserereignissen ausgestattet. Da für die Erforschung der Ursachen solcher Ereignisse, aber auch für die Übertragbarkeit gewonnener Erkenntnisse die Messung der oben genannten Parameter allein nicht ausreicht, wird das Untersuchungsprogramm durch kontinuierliche Messungen von Luftfeuchte und Temperatur und weitere Einzeluntersuchungen ergänzt. Im Winterhalbjahr z.B. erfolgen Schneemessungen an ausgewählten Meßlinien zur Beobachtung der Auf- und Abbauvorgänge der Schneedecke und zur Beurteilung des in ihr gebundenen und bei den Abschmelzvorgängen freiwerdenden Wasserpotentials, das

wesentlich zur Entstehung von Frühjahrshochwasser beiträgt. Eine Beurteilung von Gebietseigenschaften in Bezug auf das Abflußverhalten erfolgte mittels Durchführung von Starkregensimulationsversuchen auf verschiedenen bewirtschafteten Flächen des Einzugsgebietes. Über diese Versuche, die Ergebnisse der Aufnahmen von Vegetation und Boden auf den Versuchsstandorten, sowie über das Einzugsgebiet Oselitzenbach allgemein, wurde bereits ausführlich berichtet (LANG 1993 und 1995), daher sind sie nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Diese hat vielmehr den Zweck, über erste Ergebnisse des stationär eingerichteten Meßdienstes zu berichten und damit der Praxis, besonders dem Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung, für Projektierungsarbeiten (Bemessungsaufgaben) dringend benötigtes Datenmaterial zu liefern. Sind hydrologische Meßdaten von Wildbacheinzugsgebieten ohnehin Mangelware, so stellt die Aufzeichnung eines annähernd 100jährigen Hochwasserereignisses aus einem solchen Gebiet eine absolute Rarität mit größter

Bedeutung für Forschung und Praxis dar. Der vorliegende Bericht befaßt sich mit diesem Großereignis, liefert Datenmaterial der weiteren markanten Niederschlag- und Abflußereignisse im Einzugsgebiet des Oselitzenbaches und deutet mit der Darstellung von ursachenbedingt (Schneeschmelze bzw. Niederschlag) gänzlich verschiedenen Hochwasserabläufen das in den Meßdaten steckende Potential an, das es wegen der Komplexität der Vorgänge in solch extremen Einzugsgebieten erst zu erforschen gilt.

2. Niederschlag

2.1 Meßnetz und Meßtechnik

Im Jahr 1987 wurde die erste registrierende Niederschlagsmeßstelle errichtet. Je eine weitere Meßstelle folgte 1988, 1989 und 1993. Zur Verwendung kamen dabei Geräte mit einer Auffangfläche von 500 cm², bei welchen der Niederschlag über einen Einlauftrichter auf eine Wippe mit einer Auflösung von 0,1 mm gelangt. Die Bewegung der Wippe wird über einen elektronischen Geber registriert und der entsprechende Meßwert mit einem digitalen Datensammler aufgezeichnet. Der Abstand der Auffangfläche von der Erdoberfläche liegt bei 120 - 150 cm. Als Zusatzausstattung wurden alle Geräte mit einem Windschutzring versehen, da ungeschützte Geräte deutlich geringere Niederschlagswerte aufweisen als geschützte. Nach KRESSER (1982) kann dieser Fehlbeitrag, bei Stationen ohne Windschutzring bis zu 10 %, in einer Höhe über dem Meer von 3000 Metern, sogar mehr als 50 % betragen. Aus der Vielzahl von Systemen wurden für die Stationen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Nipherische Ringe, modifiziert nach ALTER (HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1992), mit einem Durchmesser von ca. 830 mm, als am besten geeignet befunden und in Verwendung genommen. Die ganzjährig betriebene Basismeßstelle (N_B) ist zusätzlich mit einem Heizsystem versehen, welches die Beeinträchtigung der Messungen durch Vereisung des Gerätes bzw. Schneeeansammlungen bestmöglich hält. Dieses System ist ausgestattet mit drei per Temperaturfühler gesteuerten Heizkreisen. Dadurch wird das Gerät vor Überhitzung und dem damit einhergehenden Auftreten von Verdunstungsfehlern bewahrt. Die übrigen drei Niederschlagsmeßstellen werden nur während des Sommerhalbjahres betrieben und

verfügen daher nicht über dieses aufwendige Heizsystem. Diese Meßstellenausstattung stellt derzeit den bestmöglichen Kompromiß zwischen Kostenaufwand, vorhandenen Mitteln und bestmöglichem Nutzen für die Erreichung der angestrebten Ziele dar.

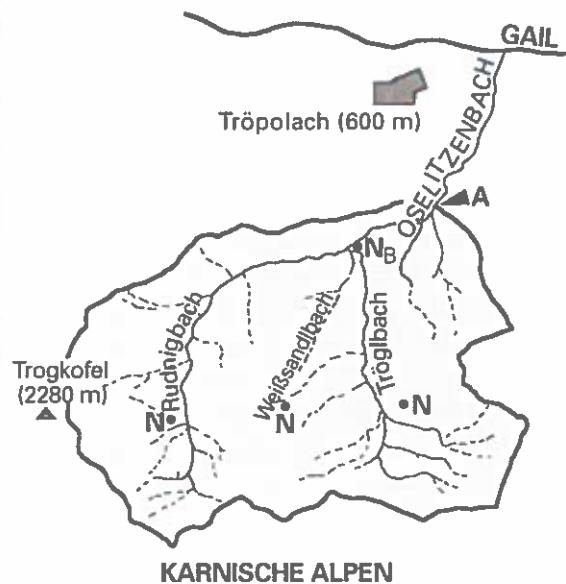
Die Aufstellung der Geräte erfolgte nach dem Gesichtspunkt möglichst guter Erfassung der Niederschlage, sowohl der flächenmäßigen Verteilung als auch der Höhe nach. So befindet sich z.B. die Basismeßstelle, die am tiefsten gelegene Station, auf einer Seehöhe von 980 m, während die höchstgelegene Niederschlagsstation auf einer Seehöhe von 1630 m angesiedelt ist. Der maximale Abstand der Stationen beträgt von Westen nach Osten rund 3,2 km, die größte Nord-Süd-Erstreckung liegt bei ca. 2,9 km. Eine Übersicht über das bis zur Abflußmeßstelle ca. 24,1 km² große Einzugsgebiet, die wichtigsten Teileinzugsgebiete und die Verteilung der Meßstellen gibt Abb. 1.

2.2 Niederschlagsverhältnisse

Zur Veranschaulichung der Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Oselitzenbaches wurden die größten gemessenen Monatssummen des Zeitraumes 1987-1995 in Tabelle 1 zusammengefaßt. Wegen der ungleichmäßigen Überregnung des

Abb. 1:

Mustereinzugsgebiet Oselitzenbach mit Teileinzugsgebieten: Das Bewaldungsprozent liegt bei ca. 50 %; Hauptgesteine sind Tonschiefer, Sandstein, Kalk und Dolomit; die Gesamtexposition ist Norden.



Tab. 1:

Maximale monatliche Niederschlagssummen in mm - Periode 1987 - 1995.

*Meßstellen nicht ganzjährig in Betrieb

Monat	Jahr									Periode 87-95
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	
Jänner	0,0	0,0	1,4	74,8	83,6	12,8	3,4	158,4	88,3	158,4
Feber	0,0	0,0	247,7	19,3	141,0	13,9	1,0	1,0	99,4	247,7
März	0,0	0,0	179,4	112,5	163,4	140,7	43,3	26,6	127,0	179,4
April	0,0	0,0	680,0	104,9	106,4	271,8	36,7	187,0	91,0	680,0
Mai	0,0	0,0	168,7	42,2	138,8	59,9	100,3	153,2	166,4	168,7
Juni	0,0	0,0	356,0	203,6	208,9	116,8	151,4	104,9	140,2	356,0
Juli	58,8	140,4	243,3	235,6	276,8	169,2	292,2	226,0	69,8	292,2
August	289,0	246,6	117,4	143,4	138,5	72,8	142,5	245,9	156,0	289,0
September	119,5	152,7	186,1	229,7	322,9	211,1	327,2	389,9	273,8	389,9
Oktober	308,4	154,6	16,7	286,1	240,7	397,4	669,0	162,0	0,1	669,0
November	0,0	7,0	239,2	755,6	276,3	276,3	66,6	72,1	51,0	755,6
Dezember	0,0	66,6	220,9	165,6	20,3	207,3	118,9	85,2	155,3	220,9
Summe	775,7*	767,9*	2656,8	2373,3	2117,6	1950,0	1952,5	1812,2	1418,3	2656,8

Gebieten stammen die Werte jeweils von der Station, die den höchsten Niederschlag zu verzeichnen hatte. Die größte gemessene Monatssumme betrug im Beobachtungszeitraum 755,6 mm (November 1990). Gefolgt wird dieser Wert von 680,0 mm (April 1989) und 669,0 mm (Oktober 1993). Vergleicht man diese Zahlen mit Meßdaten von nahegelegenen Stationen des Hydrographischen Dienstes Österreichs, so zeigt sich deren Ausnahmestellung mit aller Deutlichkeit. Die seit 1895 betriebene und in einer Seehöhe von 635 m gelegene Meßstelle Waidegg verzeichnete eine größte beobachtete Monatssumme von 559 mm (November 1926) und die erst 1984 in Betrieb gegangene und in 1530 m Seehöhe gelegene Station Naßfeld liefert - nach den vorliegenden Unterlagen - eine maximale Monatssumme von 459,0 mm (Juli 1985). Die Normalzahl der Station Waidegg, welche den durchschnittlichen Jahresniederschlag über die Periode 1931-1960 darstellt, wird mit 1471 mm angegeben (HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1992). Alle diese Werte liegen wesentlich unter den im Einzugsgebiet Oselitzenbach von Meßgeräten der FBVA verzeichneten Spitzenwerten. Dies hat seine Ursache einerseits in der (Höhen-) Lage der Meßstellen, aber andererseits auch in der eng begrenzten Ausdehnung von Niederschlagsfeldern, welche sich durch ein engmaschiges Netz von Meßstellen, wie das der FBVA, besser erfassen lassen. Aber selbst bei dieser relativ hohen Dichte von Meßgeräten im Einzugsgebiet gestaltet sich die Erfassung der tatsächlich auftretenden Niederschlagsspitzen als äußerst schwierig.

Dies kann durch Vergleich der Werte von Tabelle 1 mit den Ergebnissen der Messungen an der Basismeß-

stelle belegt werden. Die Addition der jeweils größten Monatssummen der gesamten Meßperiode ergab eine größte Jahressumme von 2656,8 mm (1989). Dieser Wert ist um 87,0 mm größer als die größte Jahressumme der Basismeßstelle im Einzugsgebiet. Betrachtet man die weiteren Jahre der Meßperiode, so zeigen sich wesentlich deutlichere Abweichungen. Der Stationsbetrieb im Jahr 1991, der mit einer Differenz von +579,7 mm Niederschlag in der Summe der maximalen Monatswerte gegenüber der in der Basismeßstelle gemessenen Jahressumme von 1537,9 mm zu Buche schlug, ist das extremste, ohne feststellbare Störung von Meßstellen zustande gekommene Beispiel. Die größte Differenz zwischen der Jahressumme der Maximalwerte der Meßstellengesamtheit und der Basismeßstelle lag 1993 vor. Durch eine Störung der Basismeßstelle im Juli und einen anschließenden Totalausfall im August lag die gemessene Jahressumme bei nur 1215,9 mm. Die Differenz zum vergleichbaren Tabellenwert beträgt damit 736,6 mm, was die Bedeutung des Vorhandenseins mehrerer Meßstationen in einem Einzugsgebiet weiter unterstreicht. Trotz dieser Meßausfälle lag der Mittelwert der Jahressummen des Niederschlages an der Basismeßstelle bei 1739,8 mm (Periode 1989-1995).

Neben dieser besseren Erfassung von extremen Niederschlagssummen wird, durch die Ergänzung des österreichweit betriebenen Stationsnetzes des Hydrographischen Dienstes durch engmaschige Meßnetze wie jenes der FBVA im Mustereinzugsgebiet Oselitzenbach, auch die Niederschlagsverteilung im untersuchten Gebiet präziser erfaßt, was nicht zuletzt der Realität näher kommende Werte für Aufgaben der Projektierung von Schutzmaßnahmen

liefert. Dies wurde auch bei den Arbeiten zur Aufstellung von Tabelle 2 deutlich, in welcher die maximalen Tages- und 60-Minuten Niederschlagssummen für den Zeitraum des Meßdienstes bis Ende 1995 zusammengestellt sind.

Tab. 2:
Maximale Tages- und 60-min. Niederschlagssummen "N"
in der Zeit von Juli 1987 - Dezember 1995.

Priorität : Tag			Priorität : Stunde		
Datum	Tag N [mm]	60 min N [mm]	Datum	60 min N [mm]	Tag N [mm]
25.08.87	195,8	46,8	19.07.94	54,7	63,7
25.11.90	185,3	21,9	24.07.92	51,4	51,6
01.11.90	170,0	30,2	23.06.93	50,2	83,5
22.11.90	131,7	18,0	18.07.94	47,3	77,0
14.10.93	130,1	38,3	25.08.87	46,8	195,8
02.10.93	123,5	18,7	13.08.91	44,4	47,0
14.09.94	119,1	40,6	21.06.95	41,6	50,2
30.09.91	118,6	30,1	06.08.94	41,1	43,2
24.09.90	118,1	22,5	14.09.94	40,6	119,1
08.10.93	112,7	18,6	14.10.93	38,3	130,1
16.11.92	101,9	7,8	23.09.90	37,6	84,3
12.10.91	101,2	12,0	27.06.91	35,4	67,1
10.02.91	100,7	7,4	10.07.89	33,8	47,9

Die in Tabelle 2 enthaltenen maximalen Tagessummen wurden von verschiedenen Meßstationen geliefert, wie auch - abhängig von der Niederschlagsverteilung - Tages- und 60-Minuten- Maxima an ein und demselben Tag nicht immer von derselben Station stammen. Als Beispiel sei der 8.10.1993 erwähnt, dessen maximale Tagessumme von der Basismeßstelle, dessen maximale 60-min. Summe aber von Meßstation 2 stammt.

Die Gegenüberstellung der Reihung der Werte nach Tagessumme und 60-Minutensumme streicht die relative Unabhängigkeit dieser Meßgrößen voneinander heraus. Die zu den vier größten Stundensummen gehörenden Tagessummen rangieren in der Liste der gemessenen Tageswerte weit hinten und scheinen daher in der abgebildeten Tabelle, mit der Priorität "Tag", deren Untergrenze mit 100 mm festgelegt wurde, nicht auf. Umgekehrt scheint der zweithöchste Wert in der Rubrik mit der Priorität "Tag" (185,3 mm) nicht in der gegenübergestellten Rubrik auf, da seine zugehörige Stundensumme weit unter den dort gereichten Werten liegt.

Diese, ihrer Größe nach festgestellten Unterschiede, die den Zellencharakter der Überregnung zahlenmäßig festhalten, haben besondere Bedeutung bei der Modellierung von Extremhochwässern in

kleinen Einzugsgebieten ($< 50 \text{ km}^2$). Die Eingangs- und Rahmenbedingungen für Modellrechnungen, zu welchen auch der Ereignisniederschlag - also der für den zur Berechnung vorliegenden Fall als maßgeblich erachtete Niederschlag - und damit die zu dessen Ermittlung herangezogenen Daten zählen, haben auf solche Berechnungen entscheidenden Einfluß.

Ein Vergleich mit aus der Literatur bekannten Werten von großen Niederschlagsereignissen zeigt ebenfalls die Außerordentlichkeit der vom Meßdienst des Institutes festgestellten Größenordnungen der Niederschläge. GUTKNECHT hat 1994 aus Österreich bekannte und zahlenmäßig festgehaltene Extremereignisse aus kleinen Einzugsgebieten ausgewertet. Vergleicht man die Werte aus Tabelle 2 mit diesen Auswertungen, so liegen z.B. die drei größten Tagessummen bei der "Verteilung der Tagessummen des Niederschlages $> 140 \text{ mm}$ in Österreich von 1895-1987", im mittleren Drittel der dort angeführten neun Klassen. Die "Niederschlagsintensitäten bei lokalen Extremereignissen in Österreich" wurden bei GUTKNECHT verglichen mit Grenzkurven größter Intensitäten aus Österreich und der Schweiz und mit den Kurven für hundertjährige Niederschläge für die K_{25} - K_{55} -Stationskriterien nach SCHIMPF (1970). Innerhalb der in Tabelle 2 genannten Ereignisse lag die höchste für eine Dauer von 5 Minuten festgestellte Niederschlagsintensität am 14.9.1994 vor und betrug 2,6 mm/min. Ordnet man diesen Wert in die zum Vergleich herangezogenen Diagramme, zählt er zusammen mit dem am 18.7.1994 festgestellten Wert von 2,5 mm/min zu den zehn größten in Österreich verzeichneten Starkregen. Da die Jahressumme des Niederschlages über 1500 mm liegt ist, nach der bei SCHIMPF (1970) angegebenen Gebietszuordnung, für das Einzugsgebiet Oselitzenbach das Kriterium K_{55} anzusetzen. Die für dieses Kriterium zugeordnete Beziehung weist bei einer Jährlichkeit von 100 und einer Dauer von einer Stunde einen Niederschlag von etwas unter 50 mm aus. Es sind daher den drei größten 60-Minuten-Niederschlagssummen aus Tabelle 2 Jährlichkeiten über 100 zuzuordnen.

In der einschlägigen Fachliteratur wird vielfach die wesentliche Rolle der Vorbefeuchtung des Einzugsgebietes auf den Abfluß betont. Zahlenangaben von Extremereignissen vorangegangenen Niederschlägen bzw. bei solchen Ereignissen aufgetretenen Abflüssen sind aber äußerst selten und daher umso wertvoller. Für den durch den Meßdienst des Institutes am Oselitzenbach erfaßten Zeitraum (1987-1995) liegen

2 Hochwassermeldungen seitens des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung vor, wobei die eine den 25.8.1987 und die andere den 2., 8. und 14.10.1993 betrifft. Die geschätzte Jährlichkeit des Abflusses wurde für das Ereignis im August 1987 mit 1-10 Jahren angegeben, die der Ereignisse im Oktober 1993 mit 50-100 Jahren. Die am 25.8.1987 gemessene Tagesniederschlagssumme von 195,8 mm traf auf ein Gebiet mit relativ geringer Vorbefeuchtung - Monatssumme für den Niederschlag im gesamten August 1987 289,0 mm und auch geringe Niederschläge im Juli 1987 - während im Jahr 1993 eine wesentlich höhere Vorbefeuchtung vorlag (s. Tabelle 1) und dadurch trotz deutlich geringerer Tagesmaxima (Höchstwert 130,1 mm) ein wesentlich größeres Abfluß-(Schad-)ereignis resultierte. Es kann also die wesentliche Rolle der Vorbefeuchtung durch die vorliegenden Meßwerte grundsätzlich bestätigt werden. Auf den dazugehörigen, markanten Einfluß der Niederschlagsintensität zur Auslösung einer extremen Hochwasserwelle wird in der Beschreibung der Abflußverhältnisse (Kap. 3.2) eingegangen.

3. Abfluß

3.1 Meßtechnik

Zur Erfassung des Abflußgeschehens wurden mehrere Meßstellen geplant, um sowohl den Abfluß aus den aus Abb. 1 ersichtlichen Teileinzugsgebieten als auch den Gesamtabfluß festzustellen. Aus Kostengründen kam es aber bisher nur zur Errichtung einer Meßstelle. Diese von RUF nach den Erfahrungen aus dem Betrieb von Meßanlagen in den Mustereinzugsgebieten des Institutes für Wildbach- und Lawinenforschung der FBVA (RUF 1981) geplante Abflußmeßanlage weist eine Gesamtlänge von rund 26 m auf, wovon ca. 19 m auf das Meßgerinne und die restliche Länge auf das Einlaufbauwerk mit Kolkbecken (Beruhigungsbecken) entfallen, und besitzt eine Breite des trapezförmigen Querschnittes von 15,2 m, bei einer Sohlbreite von 4,0 m und einem Böschungsverhältnis von 1:2. Die gesamte Sohle des mit einem Längsgefälle von 1% versehenen Gerinnes, sowie Teile der Böschung wurden zum Schutz vor Beschädigung durch Geschiebe und Abrieb mit Stahlplatten verkleidet. Die Messung und Aufzeichnung des Wasserstandes

erfolgt durch einen in einem Meßschacht positionierten Bandschreiberpegel, der zusätzlich mit einem Potentiometer versehen ist. Die von diesem Potentiometer gelieferten Meßwerte werden von einem digitalen Datensammler gespeichert, dessen Energieversorgung durch wartungsfreie Batterien erfolgt. Zur Verringerung des Wellenschlages im Meßschacht wurde dieser durch mit Bohrungen versehenen Metallklappen abgedeckt und der Schwimmer selbst in einem bis unter den theoretisch tiefsten Wasserspiegel reichenden Kunststoffrohr (vertiefter Meßschacht) geführt.

3.2 Abflußverhältnisse

Die Abflußmeßstelle im Oselitzenbach, für welche RUF (1985) in einer gutachtlichen Abschätzung das hundertjährige Hochwasser (HQ_{100}) mit $88,7 \text{ m}^3/\text{s}$ - für die dem Bereich der Abflußmeßstelle zugeordnete Einzugsgebietsfläche von $24,1 \text{ km}^2$ - angab, ging Ende Oktober 1990 in Betrieb. Schon am 14.10.1993 wurde das HQ_{100} mit großer Sicherheit erreicht, vermutlich überschritten. An diesem Tag endete, durch Bruch der Meßstelle, bei einem aus dem Pegelschlüssel errechneten Wert von $84,1 \text{ m}^3/\text{s}$, die Aufzeichnung. Diesem Spitzendurchfluß entspricht bei der gegebenen Querschnittsfläche eine mittlere Geschwindigkeit des Wasser-Geschiebe-Gemisches von $5,2 \text{ m/s}$. Ein beachtlicher hoher Wert, besonders unter dem Aspekt, daß die Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche noch deutlich höher sein kann (RUF 1990) und die Schleppkraft und Erosion u.a. wesentlich von der Fließgeschwindigkeit abhängt. Zur Verdeutlichung: LANGE & LECHER (1989) geben als maximal vertretbare Fließgeschwindigkeit für eine Sohlenbeschaffenheit mit Steinen mit einer Korngröße von 100 mm einen Wert von $2,0 \text{ m/s}$ an. Bei höheren Geschwindigkeiten ist von einer Mobilisierung dieser Kornfraktion auszugehen.

Schätzt man die bei dem Ereignis am 14.10.1993 herrschende Schleppspannung (T) an der Sohle des Meßgerinnes mit der Gebrauchsformel:

$$T = 10.000 \cdot R \cdot J$$

ab (RÖSSELT 1981), in welcher R für den hydraulischen Radius und J für das Energieliniengefälle stehen, so errechnet sich, auch bei einer sich an der Untergrenze bewegenden Annahme von 5 % für das Energieliniengefälle, was ungefähr dem Mindestlängsgefälle im Bach entspricht, ein Wert von rund 620 N/m^2 . Dieser Wert erhöht sich nach den Anleitungen zu dieser aus dem Flußbau stammenden

Formel bei starker Schwebstoffführung um einige Prozent, was zweifelsfrei für den vorliegenden Fall zutrifft. Aber schon die errechnete Schleppspannung reicht bei weitem aus, um grobes Geröll in Bewegung zu bringen, da schon die Grenzschleppspannung für Korngrößen mit 100 mm - bei horizontaler Lage der Sohle - mit nur 60 N/m² angegeben wird und für einen Steinwurf aus großen Steinen mit 240 N/m² anzusetzen ist (RÖSSERT 1981).

Tabelle 3 zeigt die Gesamtheit der aus der Meßperiode zur Verfügung stehenden Tagesspitzendurchflüsse. Liegt der größte Wert im Bereich des 100jährlichen Hochwassers, so ist der zweitgrößte Wert bereits kleiner als das gutachtlisch abgeschätzte 10jährige Hochwasser (55,4 m³/s).

*Tab. 3:
Tagesspitzendurchflüsse "Q_{max}" in der Meßperiode
Oktober 1990 - Oktober 1993.*

Tag	Q _{max} (m ³ /s)	Tag	Q _{max} (m ³ /s)
14.10.93	84,115	14.09.93	21,831
30.09.91	48,419	09.10.93	20,721
02.10.93	36,394	03.10.93	18,648
08.10.93	35,901	01.09.92	18,498
23.11.90	35,852	21.11.90	17,792
01.11.90	34,488	16.11.92	17,352
22.11.90	29,025	06.10.93	15,919
27.06.91	28,710	05.10.92	15,429
26.11.90	25,259	18.10.92	13,699
04.12.92	24,582	26.09.91	12,721
20.07.93	24,205	06.10.92	12,434
03.12.92	24,121	11.07.93	11,587
25.11.90	23,664	17.11.92	11,556
05.12.92	23,169	17.06.91	11,525

Zur Ermittlung der in Tabelle 3 aufscheinenden Durchflußwerte wurden sämtliche Wasserstände herangezogen, die in der Meßperiode eine Höhe von 60 cm überschritten und den jeweils höchsten, am genannten Tag aufgetretenen Wasserstand darstellen. Beim Ablauf mehrerer Wellen fand nur der höchste Wert des Tages Berücksichtigung. Von den 28 Tagesspitzendurchflüssen traten 21 in den Monaten September bis November auf. Dies war bei Vergleich mit den Niederschlägen aus Tabelle 1 und 2 auch zu erwarten. Drei der vier höchsten Monatsniederschlagssummen stammen aus diesen Monaten, wie auch 11 der 13 höchsten Tagessummen. Grund für diese Anhäufung hoher Niederschläge im Herbst ist die zu dieser Jahreszeit stattfindende Zufuhr feuchter Luft aus südlichen Richtungen, die sich in den Südalpen staut. Hier zeigt sich deutlich der Gegensatz

zu den Niederschlagsverhältnissen in den nördlichen Randgebieten der Alpen, in welchen das Maximum der Niederschläge in den Sommermonaten zu erwarten ist.

Untersucht man das Zustandekommen der Durchflüsse über 20 m³/s, so sind folgende Gemeinsamkeiten erkennbar:

- Im Monat des Ereignisses und/oder im Vormonat war die Niederschlagssumme außergewöhnlich hoch.
- Das Wasserretentionsvermögen der Böden war entweder durch lange Schneedeckendauer oder, bei den Herbstereignissen, durch Rückgang des Wasserverbrauchs der Vegetation zusätzlich herabgesetzt. Bemerkbar machen dürfte sich im untersuchten Gebiet mit seinem hohen (Nadel-)Waldanteil und großen Flächen mit Alpenrosen auch der - wie bei FRANZ (1979) beschriebene - Rückgang der Transpiration bei immergrünen Holzpflanzen, der durch Umstellung des Wasserhaushalts auf sparsamen Wasserverbrauch bedingt ist und bei jeder Kälteeinwirkung fortschreitet, auch wenn der Boden noch nicht gefroren ist.
- Zu dieser aus vorgenannten Gründen sehr hohen Vorbefeuchtung der Böden gesellten sich sehr hohe Tagessummen des Niederschlages. Die untere Grenze dieser zu Durchflüssen über 20 m³/s führenden Tagesniederschläge kann mit rund 85 mm angegeben werden.

Dieser Wert wurde nur an vier Tagen nicht erreicht, jedoch gingen drei dieser vier Tage deutlich höhere Niederschlagssummen am Vortag voraus, deren Wirkung durch die zeitliche Verschiebung des Abflusses bis in den nächsten Tag reichte, und beim vierten, im Frühjahr 1991 ablaufenden Ereignis, herrschten gänzlich andere Bedingungen, die nicht direkt mit den im zweiten Halbjahr aufgetretenen vergleichbar sind. Der mit 67,1 mm relative geringe Niederschlag vom 27.6.1991 traf mit hoher Intensität auf einen noch von der Schneeschmelze gesättigten Boden - die letzte Messung an einer Schneemeßlinie konnte noch am 11.6.1991 durchgeführt werden.

Bei Analyse der Werte von Tabelle 1 und 2 wird aber auch erkennbar, daß es zusätzlich zu den oben genannten Randbedingungen noch weiterer Faktoren bedarf, um ein Extremhochwasserereignis wie das am 14.10.1993 auszulösen. Der während der Meßperiode der Abflußmeßstelle festgestellte höchste Tagesniederschlag führte nämlich, trotz deutlich höherer Vorregensummen als beim Ereignis vom 14.10.1993 (s. Tab. 4), lediglich zu einer Durch-

flußspitze von ca. 30% des Höchstwertes des Abflusses. Dieser wiederum kam an einem Tag mit "nur" 130,1 mm Niederschlagsumme zustande.

Summe der Tage vor Durchgang der Abflußspitze	Ereignis vom	
	26.11.1990	14.10.1993
	Summe der Niederschläge in mm	
30	854,0	448,4
14	498,4	351,3
7	497,4	190,0
3	285,2	48,9
1	185,3	47,9
0	39,1	130,1

* Niederschläge gemessen an der Basismeßstelle

GUTKNECHT (1994) stellt fest, daß mit vielen Abflußmechanismen nicht stetiges, sondern ein sprunghaftes Verhalten verbunden ist, wenn bei Erreichen eines Schwellwertes ein anderer Zustand auftritt und eine andere Reaktion einsetzt. Dies kann

der Fall sein, wenn in Folge der Erreichung der Sättigung des Bodens anstelle von oberflächennahem Bodenabfluß Sättigungsflächenabfluß einsetzt. Dieser trat, wie aus der kurz nach dem Ereignis vom 14.10.1993 stammenden Aufnahme (Bild 1) ersichtlich, beim bisher einzigen beobachteten Extremereignis im Einzugsgebiet des Oselitenbaches auch auf.

Der Bereich, in welchem sich der Schwellwert befindet, läßt sich grob durch einen zusätzlich zu Tab. 4 erstellten Vergleich eingrenzen. Zu diesem Zweck wurden die zu den Abflußereignissen vom 26.11.1990 und 14.10.1993 gehörenden Niederschlagssummen, Niederschlagsintensitäten und deren zeitlicher Bezug zur Abflußspitze einander in Tabellenform (Tab. 5) gegenübergestellt.

Mit einer hohen Vorniederschlagssumme (s. Tab. 4) wurde zwar die Basis für das Auftreten hoher Abflüsse geschaffen, für die Entstehung eines Extremereignisses bedurfte es (s. Tab. 5) aber eines Niederschlagsereignisses mit anhaltend hoher Intensität über längere Zeit. Im Mittel betrug diese 18,3 mm/h über die Dauer von 6 Stunden, bzw. 25,1 mm/h über die Dauer von 3 Stunden. Zusätzlich kam es gegen Ende dieser Intensivniederschlagsphase zu einer

Bild 1:
Hangbegrünung am rechten Ufer des Oselitenbaches mit deutlichen Spuren von Oberflächenabfluß.



Tab. 5:
Gegenüberstellung der Meßdaten der Abflußereignisse vom 26.11.1990 und 14.10.1993.

Zeit-dauer	26.11.1990		14.10.1993		Differenz	
	Durchgang der Abflußspitze					
	0.30 Uhr		10.45 Uhr			
Niederschlagssummen und -intensitäten für die angegebene Zeitdauer vor Durchgang der Abflußspitze						
24 h	189,7 mm	7,9 mm/h	138,5 mm	5,8 mm/h	- 27,0 %	
12 h	165,4 mm	13,8 mm/h	126,3 mm	10,5 mm/h	- 23,6 %	
6 h	95,1 mm	15,9 mm/h	109,9 mm	18,3 mm/h	+ 15,6 %	
3 h	34,9 mm	11,6 mm/h	75,4 mm	25,1 mm/h	+116,0 %	
max. Niederschlagsintensität über 60 Minuten						
-	21,9 mm*		38,3 mm		+ 74,9 %	
Zeitdifferenz zwischen Auftreten der o.g. max. Intensität und der Abflußspitze						
-	ca. 5,5 h		ca. 0,5 h		- 90,9 %	
Zeitdifferenz zwischen Beginn des Niederschlagsereignisses und der Abflußspitze						
-	ca. 23,5 h		ca. 15,0 h		- 36,2 %	
abgeschätzte Jährlichkeit des Abflußereignisses						
-	<1		100		-	
*aufgetreten am 25.11.1990						

nochmaligen, deutlichen Steigerung der Intensität, mit einem Maximum von 38,3 mm/h. Ein ähnliches Verhaltensmuster zeigten auch die zum 30.9.1991 - dem Tag mit der zweithöchsten Durchflußspitze - gehörenden Meßwerte, allerdings bei deutlich geringeren Niederschlagshöhen. Es können die in den

Tabellen 4 und 5 genannten Werte für die Ereignisse vom 26.11.1990 und 14.10.1993 daher als Grenzwerte verstanden werden, innerhalb welcher der von GUTKNECHT (1994) genannte Schwellenwert für die Änderung der Abflußmechanismen im Gebiet erreicht bzw. überschritten wird. Eine genauere Angabe ist beim derzeitigen Stand der Untersuchungen, wegen der Vielfalt der Einflußfaktoren, nicht möglich. Denn selbst diese Eingrenzung des Bereiches verliert ihre Gültigkeit beim Zusammentreffen von Schneeschmelze und Regen. Meßdaten von Extremereignissen, welche auf diese Konstellation zurückzuführen sind, sind zwar aus dem untersuchten Gebiet noch keine vorhanden, doch gestatten die derzeit vorliegenden Daten zumindest einen Einblick in die unterschiedlichen Verläufe von einerseits durch Schneeschmelze und andererseits ausschließlich durch Niederschlag hervorgerufene Abflußentwicklungen.

Abb. 2 zeigt den wesentlich von der Schneeschmelze bestimmten Verlauf der Wasserstandsganglinie im Mai 1992.

Die an der Basismeßstelle aufgezeichnete Niederschlagssumme des gesamten Monats betrug nur 59,9 mm. Der Niederschlag war auf nur einige wenige Tage verteilt. Aus Aufzeichnungen des Institutes geht hervor, daß die Schneehöhen, gemessen an einer Meßlinie mit 10 Meßpunkten, am 7.5.1992 zwischen 100 und 152 cm lagen, während sie 14 Tage später, auf derselben Meßlinie, nur mehr zwischen 0 und 37 cm betrugen. Mit Ende der Schneeschmelze ging auch der Basisabfluß deutlich zurück und führte damit zu einer Entspannung der potentiellen Hochwassergefahr.

Abb. 2:
Wasserstand und Niederschlag am Oselitenbach vom 1. Mai 1992 bis 21. Mai 1992.

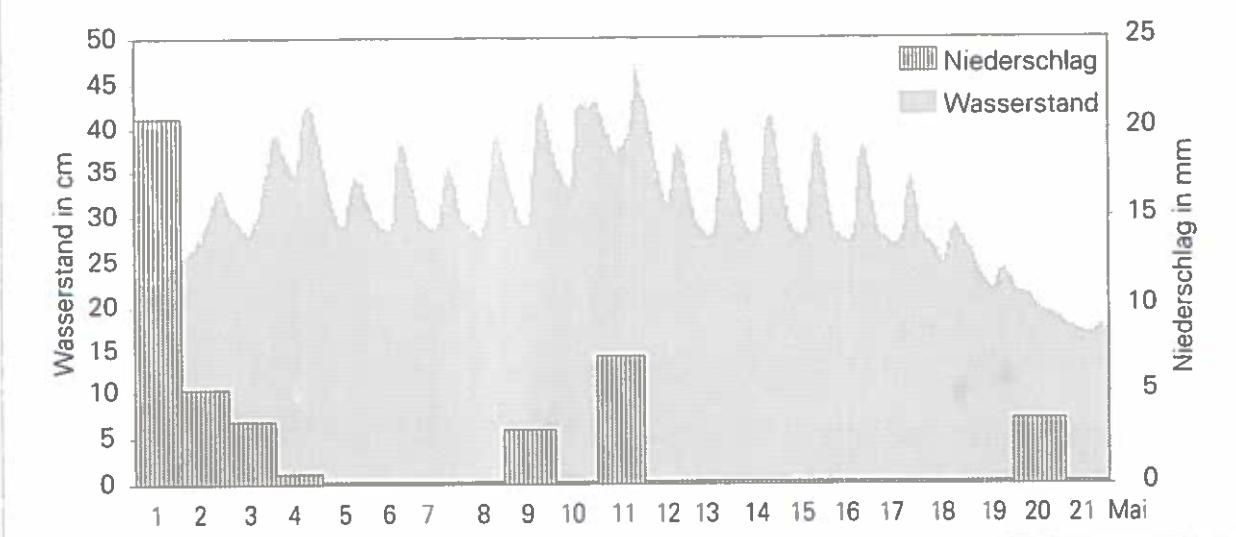
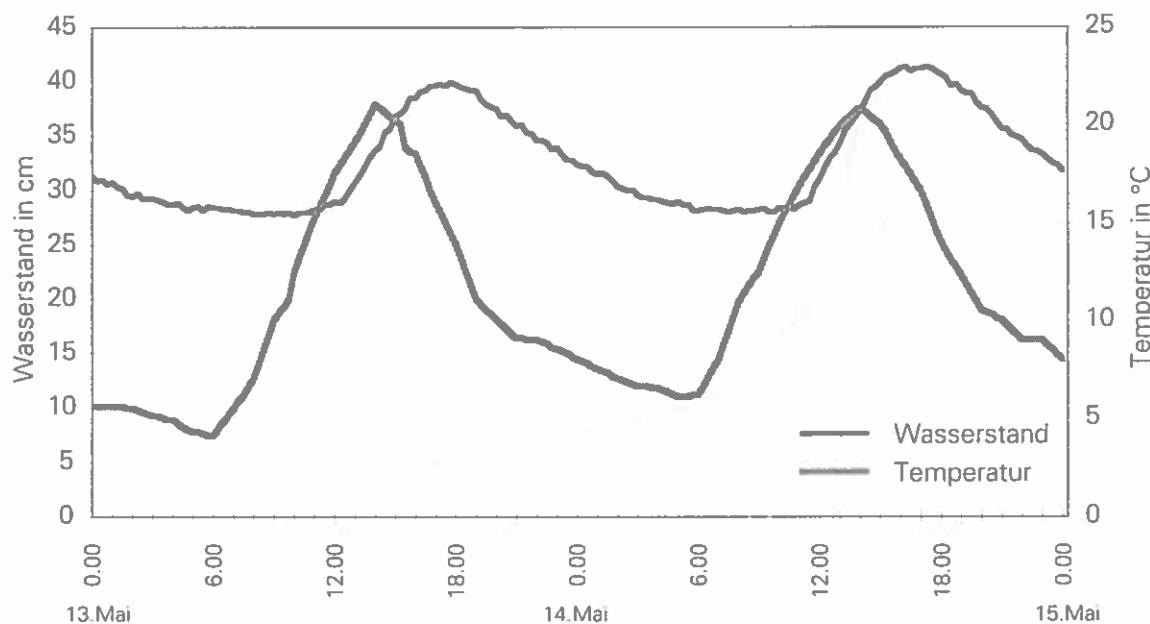


Abb. 3:

Wasserstand und Temperatur am Oselitenbach vom 13. Mai 1992 bis 14. Mai 1992.



Die Abhängigkeit der Schneeschmelze und damit des Abflusses von der Temperatur wird durch Abb. 3 verdeutlicht, in welcher der an der Basismeßstelle gemessene Temperaturverlauf und die Wasserstandsganglinie für einen kurzen Ausschnitt des in Abb. 2 gewählten Zeitraumes einander gegenübergestellt wurden. Die Schwankungsbreite des Abflusses liegt im gewählten Beispiel bei ca. $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Abbildung 4 zeigt, zeitversetzt um einen Monat, einen gleich langen Ausschnitt der Wasserstandsganglinie wie Abb. 2 und die in diesem Zeitabschnitt

an der Basismeßstelle verzeichneten Tagesniederschlagssummen. Die zwar geringen, aber häufig auftretenden Niederschläge prägen den Verlauf der Wasserstandsganglinie deutlich. Niederschlagsereignisse und Pegelreaktionen zeigen gute Übereinstimmung. Einzig der Anstieg des Wasserstandes in der Zeit von 10. bis 11. Juni fällt, angesichts der geringen Niederschlagshöhen, etwas aus den Rahmen. Die Erklärung dafür liegt mit größter Wahrscheinlichkeit darin, daß nur oberhalb der Basismeßstelle liegende Gebiete von höheren Niederschlägen betroffen

Abb. 4:

Wasserstand und Niederschlag am Oselitenbach vom 1. Juni 1992 bis 21. Juni 1992.

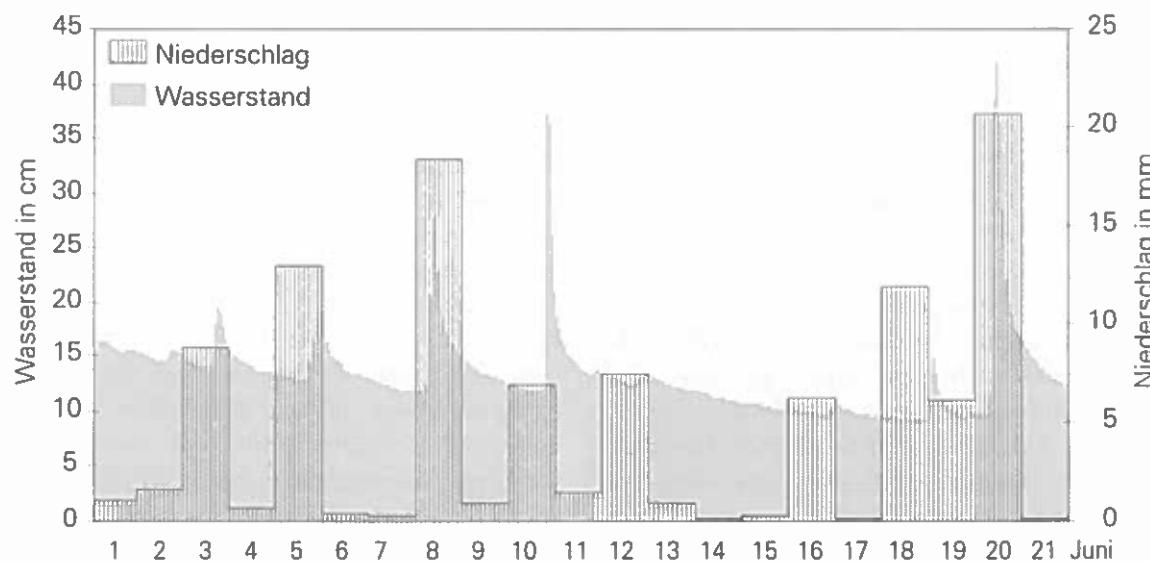
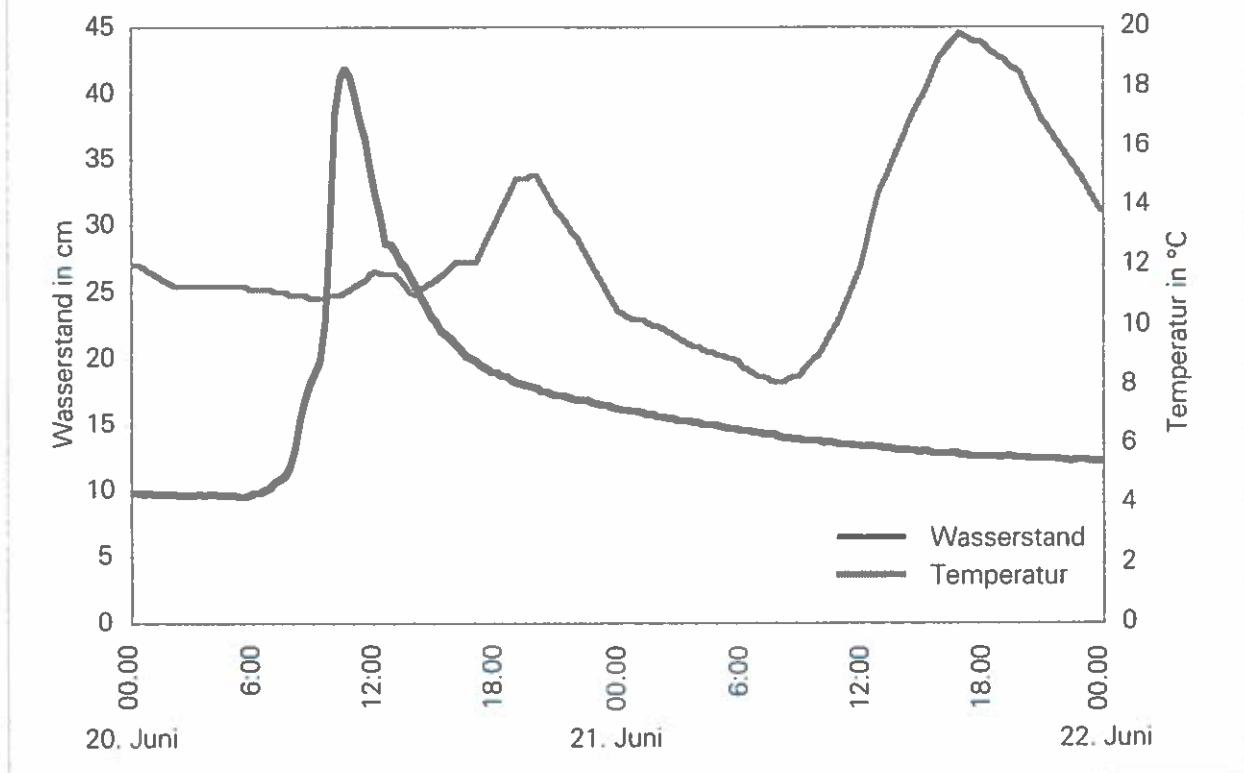


Abb. 5:

Wasserstand und Temperatur am Oselitzenbach vom 20. Juni 1992 bis 21. Juni 1992.



waren. Diese Vermutung kann durch einen Meßwert des Hydrographischen Dienstes des Landes Kärnten untermauert werden welcher für den 10. Juni 1992, an der in einer Seehöhe von 1530 m gelegenen Meßstelle "Nassfeld", eine Niederschlagshöhe von 17,8 mm aufweist (mündliche Auskunft).

Abbildung 5 zeigt den Gang des Wasserstandes vom 20.-21.6.1992 und den diesem Zeitraum entsprechenden Temperaturverlauf. Der Verlauf der Wasserstandsganglinie ist deutlich durch ein Niederschlagsereignis geprägt (s. Abb. 4: Tagessumme 20,5 mm am 20.6.1992) und unterscheidet sich wesentlich von dem in Abb. 3 gezeigten. Wegen fehlender Schneelage im Gebiet weist er keinen Zusammenhang mit dem Temperaturverlauf auf. Die heftige Reaktion des Wasserstandes auf den relativ geringen Niederschlag ist deutliches Indiz für den durch die vorhergegangene Schneeschmelze noch extrem hohen Sättigungsgrad der Böden des Einzugsgebietes. Wäre dieser Niederschlag früher aufgetreten und damit auf den durch die Schneeschmelze bedingten, erhöhten Basisabfluß getroffen, hätte auch dessen geringe Höhe zu einem beachtlichen Hochwasserabfluß geführt. Kombinationen dieser Faktoren sind realistisch, Meßwerte solcher Ereignisse daher unerlässlich bei Modellierung und Berechnung von Hochwasserabläufen.

4. Das "Jahrhundertereignis" vom 14.10.1993

Am 14.10.1993 kam es zum Bruch der Abflußmeßstelle Oselitzenbach. Im Verlauf eines Hochwassers mit annähernd 100jährlichem Wiederkehrintervall wurden im Betongrinne verankerte Stahlplatten - die zur Sicherung der Sohle und des unteren Teils der geböschten Seitenflächen eingebaut waren - und die stählerne Abdeckung eines für Geschiebemessung vorgesehenen Meßschachtes durch extremen Geschiebetrieb mit grobem Blockwerk weggerissen. In weiterer Folge wurde die dadurch freigelegte Krone regelrecht wegrasiert. Das Bauwerk selbst blieb zwar bestehen, jedoch wurde es derart beschädigt, daß es - wie aus Bild 2 zu ersehen - umfangreicher Sanierungsarbeiten bedurfte, um die Abflußmessungen wieder aufnehmen zu können. Die Meßgeräte lieferten aber bis zum Bruch der Meßstelle, der bei extrem hohem Abfluß erfolgte, wertvolle Daten. Es ist das erste Ereignis dieser Größenordnung, das von Meßgeräten des Institutes aufgezeichnet werden konnte und eines der wenigen mit dieser Genauigkeit in einem Wildbacheinzugsgebiet gemessenen Hochwasserereignisse überhaupt. Der sowohl kostenintensive wie auch aus Sicht des

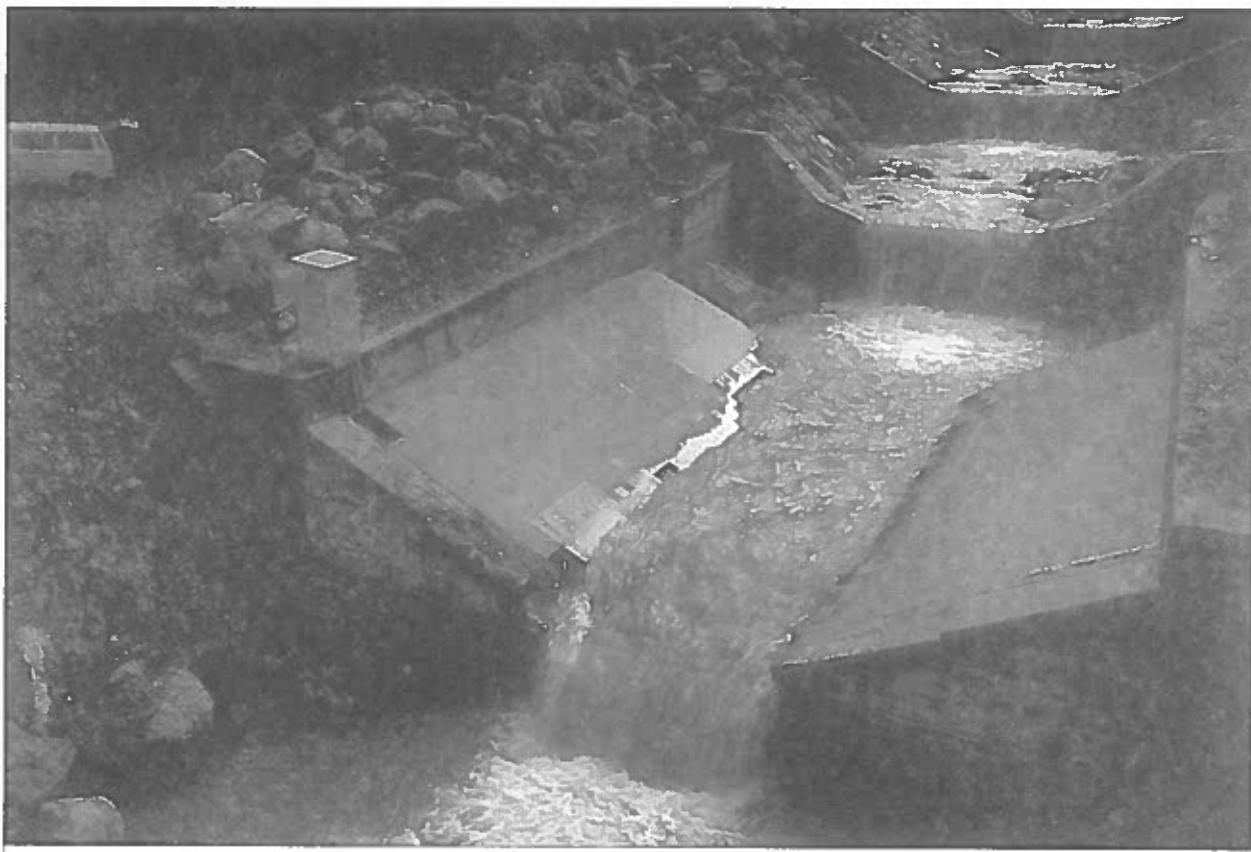


Bild 2: Abflußmeßstelle Oselitzenbach nach dem Ereignis vom 14.10.1993.

Meßdienstes bedauerliche Rückschlag bei der Beobachtung von Niederschlag-Abflußereignissen in kleinen Einzugsgebieten beinhaltet somit auch einen Lichtblick.

Wegen der Seltenheit von Aufzeichnungen über solche Ereignisse wurden, ergänzend zu den Auswertungen in Abschnitt 3, weitere, mehr ins Detail gehende Daten zusammenstellt (Tab. 6 und Abb. 6), um sie einem breiten Kreis von mit Hochwasserereignissen in kleinen Einzugsgebieten befaßten Personen zugänglich zu machen. Tabelle 6 zeigt die Tagessummen der an der Basismeßstelle im Oktober 1993 aufgezeichneten Niederschläge. Der Wert von 669 mm stellt die in der gesamten Meßdauer von 1987 bis 1995 festgestellte, drittgrößte Monatssumme dar. Auf den Zeitraum vom 1.10.-14.10. entfielen davon 481,3 mm.

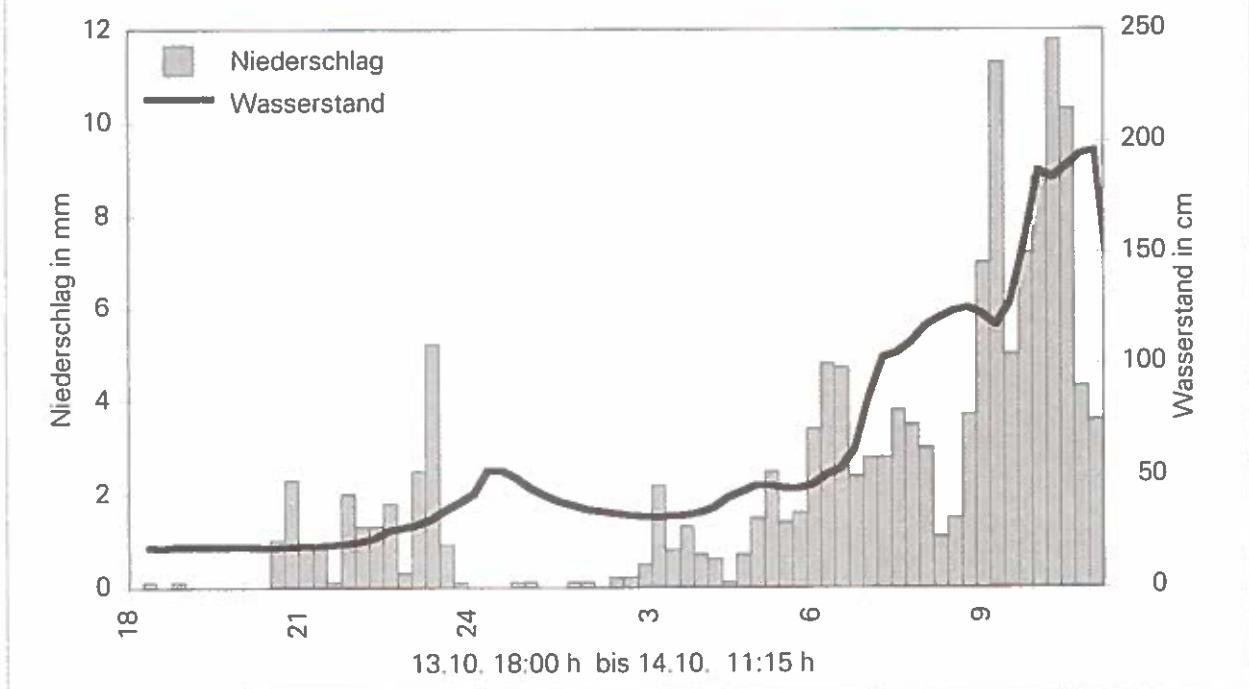
Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Niederschläge und den Verlauf der Wasserstandsganglinie am 13. und 14.10.1993. Da die Datenverwaltung für den Wasserstand derart gestaltet ist, daß Mittelwerte von drei im Abstand von 5 Minuten gemessenen Werten gebildet und gespeichert werden, wurden diesem Zeitintervall entsprechend lange Summen aus im

Minutenabstand gespeicherten Werten des Niederschlags errechnet und den Wasserstandswerten gegenübergestellt.

Tab. 6: Tagessummen der Niederschläge im Oktober 1993.

Tag	N [mm]	Tag	N [mm]
1. Oktober	26,9	16. Oktober	0,0
2. Oktober	88,6	17. Oktober	17,7
3. Oktober	2,4	18. Oktober	20,7
4. Oktober	0,2	19. Oktober	9,0
5. Oktober	0,1	20. Oktober	1,4
6. Oktober	43,0	21. Oktober	45,1
7. Oktober	4,0	22. Oktober	0,4
8. Oktober	112,7	23. Oktober	29,3
9. Oktober	24,4	24. Oktober	36,0
10. Oktober	0,0	25. Oktober	16,8
11. Oktober	0,0	26. Oktober	6,7
12. Oktober	1,0	27. Oktober	4,2
13. Oktober	47,9	28. Oktober	0,1
14. Oktober	130,1	29. Oktober	0,0
15. Oktober	0,3	30. Oktober	0,0
		31. Oktober	0,0
Gesamtsumme [mm]			669,0
max. Tagessumme [mm]			130,1

Abb. 6: Wasserstand und Temperatur am Oselitzenbach vom 13./14. Oktober 1993.



Der letzte plausible Meßwert für den Wasserstand wurde um 10.45 Uhr (Normalzeit) mit 201,7 cm aufgezeichnet, was rechnerisch einem Durchfluß von 84,1 m³/s entspricht. Bis zu diesem Zeitpunkt zeigte sich sehr gut die - zeitversetzte - Reaktion des Abflusses auf den Niederschlag. Danach fielen die Wasserstandswerte rapide ab. Fünfzehn Minuten später wurde bereits ein um 59 cm niedrigerer Meßwert gespeichert, wodurch deutlich der Bruch der Meßstelle markiert wird.

Die dem festgestellten höchsten Durchfluß entsprechende Abflußspende beträgt ca. 3,5 m³/s km². Sie liegt damit etwas unter dem Wert der Spendenkurve des Hydrographischen Zentralbüros für das Gailtal (HQ₁₀₀=3,8 m³/s km², SCHREIBER 1970), aber, bis auf eine einzige Ausnahme, über allen bei GUTKNECHT (1994) angeführten Höchstwerten der "Abflußspenden bei Extremereignissen" im Draugebiet 1951-1989, zu dessen Zubringern der Oselitzenbach - über die Gail - zählt. Der größte am 14.10.1993 gemessene 60-Minutenregen trat in der Zeit von 9.35 Uhr bis 10.35 Uhr auf und lag bei 38,3 mm. Die diesem Wert entsprechende Niederschlagsfracht liegt bei Annahme gleichmäßiger Verteilung bei 923.030 m³, was bei Zugrundelegung eines Abflußbeiwertes von 1,0 einen Abfluß von 256,4 m³/s zur Folge hätte. Diese Zahlenwerte sind zwar auf Grund der Annahme gleichmäßiger Verteilung rein theoretischer Natur, helfen aber ein Gefühl für die Größenordnung von im Bereich dieses Wildbaches ablaufenden Ereignissen zu

entwickeln. Bei vom Institut im Einzugsgebiet des Oselitzenbaches durchgeföhrten Starkregensimulationsversuchen auf verschieden bewirtschafteten Flächen lag die höchste auf einer Versuchsparzelle ermittelte Abflußfracht bei 44 % der aufgebrachten Niederschlagsfracht (LANG 1995), der Mittelwert der Versuchsreihen im Jahr mit der höchsten natürlichen Vorbefeuchtung (1989) bei 20,8 %. Da der Verhältniswert der Frachten zwar das Retentionsvermögen der Böden - das es auch zu untersuchen galt - sehr gut zum Ausdruck bringt, aber, speziell bei Parzellen mit hohem Retentionsvermögen, bei der Charakterisierung des möglichen Höchstabflusses sehr an Aussagekraft einbüßt, wurden die bei den Versuchen ermittelten Werte einer weiteren Analyse unterzogen. Im Verhältniswert von maximaler Abflußspende zu Niederschlagspende (l/s m²) wurde der für die Charakterisierung des Maximalabflusses brauchbare Ansatz gefunden. Die nach diesem Verfahren errechneten Werte liegen zum Teil deutlich über den aus Abfluß- und Niederschlagsfracht über die Versuchsdauer (in der Regel eine Stunde) errechneten. Im Vergleich zu den vorgenannten Zahlen lag der maximale Abfluß bei 56,3 % und der Mittelwert 1989 bei 28,9 %. Für die beim Ereignis 1993 gemessene Niederschlagsintensität von 38,3 mm/h würde sich mit diesem Mittelwert ein Spitzenabfluß von 74,1 m³/s errechnen. Da die Starkregensimulation aber nur auf bewirtschafteten Flächen durchgeföhrte wurde, andere Flächen, wie z.B. bachnahe und vegetationslose

Zonen sowie Fels, die im vorliegenden Fall ca. 10 % der Gesamtfläche des Gebietes ausmachen, davon ausgenommen waren, ist dieser Wert zu korrigieren. Bei entsprechender Berücksichtigung dieser Flächenanteile, denen nach LECHER (1982) Abflußbeiwerte bis 0,8 zuzuordnen sind, errechnet sich ein Spitzenabfluß von maximal 87,2 m³/s und eine dem entsprechende Abflußspende von 3,6 m³/s km². Die Starkregensimulation lieferte somit Werte in einer Größenordnung wie sie die Spendenkurve für das 100jährige Hochwasser für das Gailtal ausweist. Der mit diesen Werten errechnete Gebietsabfluß entspricht in etwa dem beim Großereignis aufgetretenen Spitzenabfluß, mit seinem annähernd 100jährlichem Wiederkehrintervall.

5. Zusammenfassung

Das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt betreibt seit 1987, im Einzugsgebiet des Oselitzenbaches, Meßstellen zur Beobachtung hydrologischer Faktoren. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Gewinnung hochwasserrelevanten Datenmaterials.

Trotz des relativ kurzen Untersuchungszeitraumes kann der Meßdienst bereits mit außerordentlichen Ergebnissen aufwarten. So lagen beispielsweise die festgestellten Niederschläge zum Teil deutlich über bisher bekannten Werten von dem Einzugsgebiet nahegelegenen Stationen. Bei der größten Monatssumme lag der Unterschied bei rund 35 %. Die größte Jahressumme lag rund 80 % über der Normalzahl einer seit 1895 betriebenen Station des Hydrographischen Dienstes Österreichs. Die Meßwerte des Niederschlages reihen sich auch nahtlos in die Auswertungen bisher aus Österreich bekannter Extremereignisse aus kleinen Einzugsgebieten (<50 km²). Die drei größten Tagessummen liegen im Mittelfeld der "Verteilung der Tagessummen des Niederschlages > 140 mm in Österreich von 1895-1987", die zwei größten festgestellten Niederschlagsintensitäten im Spitzensfeld der "Niederschlagsintensitäten bei lokalen Extremereignissen in Österreich". Ein Vergleich der größten 60-Minuten-Niederschlagssummen mit aus der Literatur bekannten Beziehungen zwischen Niederschlagsmenge, Zeitdauer und Jährlichkeit erlaubt die Zuordnung einer Jährlichkeit von mehr als 100 Jahren zu den drei größten festgestellten Meßwerten.

Über einen wesentlich kürzeren Zeitraum als für den Niederschlag stehen Abflußdaten zur Verfügung, da die Messung des Wasserstandes 1993 durch ein Hochwasser mit annähernd 100jährigem Wiederkehrintervall, welches die Meßstation schwerst beschädigte, abrupt unterbrochen wurde. Dieses Hochwasser übertraf mit einer Abflußspende von 3,5 m³/s km², bis auf eine einzige Ausnahme, alle in der angeführten Literatur verzeichneten Höchstwerte der "Abflußspenden bei Extremereignissen" im Draugebiet 1951-1989. Es war auch das mit Abstand größte Ereignis in der Beobachtungsperiode. Der zweitgrößte Abfluß war bereits kleiner als das gutachtlich abgeschätzte 10jährige Hochwasser. Eine Analyse der Abflußwerte ergab, daß beim Zustandekommen größerer Abflüsse (> 20 m³/s) folgende Umstände zusammentrafen: außergewöhnlich hohe Niederschlagssummen im Monat des Ereignisses und/oder im Vormonat, zusätzlich durch andere Umstände herabgesetztes Wasserretentionsvermögen der Böden und hohe Tagessummen der Niederschläge, wobei die Untergrenze dieser Tagesniederschläge mit 85 mm angegeben werden kann. Zur Auslösung eines Extremereignisses bedurfte es, zusätzlich zu den vorgenannten Umständen, einer hohen Intensität - im Bereich von 20 mm/h - des Niederschlages über eine Dauer von einigen Stunden.

Der Versuch den Bereich einzugrenzen, in welchem durch Änderung der Abflußmechanismen ein Extremereignis zu erwarten ist, stößt beim Zusammentreffen von Schneeschmelze und Regen, wegen des Fehlens von Meßdaten solcher Ereignisse, an seine Grenzen. Die derzeit vorhandenen Daten über "Hochwasserabläufe", welche durch Schneeschmelzvorgänge ausgelöst wurden, können aber einen guten Eindruck von der aus dieser Konstellation erwartbaren Hochwassergefahr liefern. Die Sanierung der Abflußmeßstation wurde vom Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung, nach Planung weiter verbesserter Schutzmaßnahmen für das Bauwerk, 1995 durchgeführt. Es ist daher zu erwarten, daß in Hinkunft auch über Extremereignisse, welche durch Überlagerung von Schneeschmelze und Regen entstehen, berichtet werden kann.

Da bereits innerhalb des kurzen bisherigen Beobachtungszeitraumes ausgesprochen hohe Meßwerte erfaßt werden konnten, ist davon auszugehen, daß die derzeit zur Dimensionierung von Verbauungsmaßnahmen im Oselitzenbach verwendeten Abflußspendenwerte revidiert werden müssen.

Literatur

- FRANZ H. 1979: *Ökologie der Hochgebirge*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 495 S.
- GUTKNECHT D. 1994: *Extremhochwasser in kleinen Einzugsgebieten*. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft Wien, 46(3/4): 50-57.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1992: *Anleitung zur Beobachtung und Messung von meteorologischen Parametern zur Erfassung des Wasserkreislaufes im Rahmen des Hydrographischen Dienstes in Österreich*. Wien, Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1992: *Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, 1987*. Wien, Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 95. Band.
- KRESSER W. 1982: *Hydrometrie*. Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 6. Aufl. Hamburg/Berlin, Parey.
- LANG E. 1993: *Starkregensimulation: Der Wald zeigt, was er kann*. Österr. Forstzeitung Wien, (1): 56-57.
- LANG E. 1995: *Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwassereignissen*. FBVA-Berichte, Wien, (90).
- LANGE G. & LECHER K. 1989: *Gewässerregulierung, Gewässerpflege*. Hamburg/Berlin, Parey.
- LECHER K. 1982: *Ingenieurhydrologie*. Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Aufl. Hamburg/Berlin, Parey.
- RUF G. 1981: *Abflußmeßanlagen in geschübebefüllenden Wildbächen*. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien, (138): 125-136.
- RUF G. 1985: *Oselitenbach: Hochwasserdurchfluß - Gutachtliche Abschätzung für den Bereich der Nikolobrücke*. Wien, unveröffentlicht.
- RUF G. 1990: *Fließgeschwindigkeiten in der Ruetz/Stubaital/Tirol*. Wildbach- und Lawinenverbau Salzburg, 54(115): 219-227.
- ROSSERT R. 1981: *Hydraulik im Wasserbau*. 5. Aufl. München/Wien, R. Oldenbourg Verlag.
- SCHIMPF H. 1970: *Untersuchungen über das Auftreten beachtlicher Niederschläge in Österreich*. Österr. Wasserwirtschaft Wien, 22(5/6): 121-127.
- SCHREIBER H. 1970: *Über Methoden zur Berechnung der n-Jährlichkeit von Hochwässern*. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Wien, (45): 138-153.

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

Niederschlag-Abfluß-Dokumentation eines Starkregenereignisses am Schmittenbach

U. STARY

Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

Kurzfassung. Am 27. Juli 1995 gingen in den Abendstunden beidseitig von Zell am See Muren ab, sodaß der Ort einige Stunden von der Umwelt abgeschnitten war. Diesen Vorfall nahm das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt zum Anlaß, aus ihrem Mustereinzugsgebiet Schmittenbach Niederschlags- und Abflußdaten von diesem Tag, die im Rahmen des Meßdienstes der Wildbachhydrologie erhoben wurden, zu veröffentlichen. Es soll dabei gezeigt werden, in welchem Umfang Daten am Institut gesammelt werden, in welcher Dichte sie vorhanden sind, in welcher Genauigkeit sie ausgewertet und für interdisziplinäre Arbeiten zur Verfügung gestellt werden können.

Schlüsselworte: Wildbachforschung, Hochwasser, Starkregen, Niederschlag-Abfluß-Analyse

Abstract. [Precipitation-Runoff Documentation of a Heavy Rainfall at Schmittenbach.] In the evening of July 27, 1995, debris flows were observed on either side of Zell am See so that the place was for several hours cut off from the outside world. The Institute of Avalanche and Torrent Research at the Federal Forest Research Centre took the opportunity to publish the precipitation and runoff data from its model catchment area of Schmittenbach of that day. The data had been surveyed in connection with the torrent hydrology measuring service. The paper is to inform about the amount of relevant data available at the Institute, about their density, and about the exactness of their evaluation, they can be made available for interdisciplinary activities.

Keywords: Torrent research, floods, heavy rain, precipitation-runoff analysis

1. Einleitung

Der Schmittenbach in Zell am See im Mittelpinztgau, Land Salzburg, war im vorigen Jahrhundert einer der gefährlichsten Wildbäche des Pinzgaus. Sein Einzugsgebiet war weitgehend entwaldet, Muren und Lawinen traten häufig auf. Die hauptsächlich 1880-1900 durchgeführte technische und biologische Verbauung (Regulierung des Unterlaufes, Abstaffelung der Gräben, Entwässerung und Begrünung der 30-ha Anbrüche), die Neuregelung der Bewirtschaftung im Einzugsgebiet (Einschränkung der Weide durch Kauf von 5 Almen und 150 ha Aufforstung) sowie die ergänzende Lawinenverbauung führten zu einer weitgehenden Sanierung. Das Katastrophenjahr 1966 zeigte jedoch, daß zunehmende Besiedlung und touristische Er-

schließung neue Probleme schaffen, die mit dem bestehenden Gefahrenpotential in Einklang zu bringen sind (KRONFELLNER-KRAUS 1981).

Das Einzugsgebiet des Schmittenbaches hat eine Gesamtfläche (bis zur Mündung) von 10,03 km². Die Einzugsgebietsfläche der Abflußmeßstation beträgt 7,26 km², davon sind 4,6 km², also 63 % bewaldet, und die restlichen 2,66 km² (37 %) sind Wiesen- und Weideflächen. Die Exposition ist Ost (von NO bis S), die Form ist rund (nierenförmig) und das Verhältnis Länge zu Breite beträgt 0,8. Der geologische Untergrund besteht aus Wildschönauer Schiefern mit gabbroiden Einschaltungen aus dem Altpaläozoikum. Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 1964 m Seehöhe, die Pegelstation hat eine Höhe von 905 m, das ergibt eine Höhendifferenz von 1059 m. Die Länge des Hauptgerinnes beträgt 3100 m und das Durchschnittsgefälle liegt bei 34 %.

2. Niederschlag

Im Einzugsgebiet befindet sich derzeit eine Niederschlagsmeßstelle im Ganzjahresbetrieb (Sonnalm) in einer Seehöhe von 1390 m. Eine zweite Station (Breitengräben) wurde in einer Seehöhe von 1380 m von 1978 bis 1991 als Sommermeßstelle (d.h. während der frostfreien Zeit) betrieben.

Im Monat Juli fielen insgesamt 138,2 mm Niederschlag, was einem Tagesmittel von 4,5 mm und einem Stundenmittel von 0,2 mm entspricht. In den 3 Tagen vor dem 27. Juli 1995 regnete es überhaupt nicht und die 7-Tagesumme vor dem 27.7. beträgt

6,4 mm, diese Summe liegt unter dem Durchschnitt (31,5 mm für 7 Tage) des Monates Juli.

Der Niederschlag vom 27.7.95 an der Station Sonnalm betrug also 45,8 mm. Der größte Teil davon fiel am frühen Abend in der Zeit von 17 Uhr bis 19 Uhr, und zwar von 17 Uhr bis 18 Uhr 33,8 mm und in der darauf folgenden Stunde immerhin noch 10,4 mm. Es handelte sich hierbei nach der Formel von Wussow (1933), die eine Beziehung zwischen Intensität von Starkregen und der Niederschlagsdauer herstellt, um ein Starkregenereignis.

$$N = (5 * t)^{1/2}$$

Legende: N = Niederschlag in mm, t = Zeit in min

Die Wetterdienststelle Salzburg betreut im Gebiet Zell am See zwei Stationen: die Station Zell am See in einer Seehöhe von 766 m und die Station Schmittenhöhe mit einer Höhe von 1973 m. Erstere verzeichnete am 27.7.1995 einen Niederschlag von 53,6 mm, wovon zwischen 17 Uhr und 18 Uhr 24,8 mm fielen und in der darauf folgenden Stunde 11,2 mm. An der zweiten, höher gelegenen Station betrug der Tagesniederschlag 35,5 mm. Davon fielen zwischen 17 Uhr und 18 Uhr 33,5 mm und zwischen 18 Uhr und 19 Uhr 1,7 mm, was in Summe beinahe schon die Tagessumme ergibt.

Tab. 2: Niederschlagsmaxima mit Starkregenkriterien.

Maxima	Summe	von	bis	Starkregenkriterium
1-min	2,5 mm	17:20	17:21	Starkregen größer als 2,2 mm
3-min	5,1 mm	17:19	17:22	Starkregen größer als 3,9 mm
5-min	7,3 mm	17:18	17:23	Starkregen größer als 5,0 mm
10-min	11,7 mm	17:14	17:24	Starkregen größer als 7,1 mm
15-min	15,5 mm	17:14	17:29	Starkregen größer als 8,7 mm
20-min	18,9 mm	17:13	17:33	Starkregen größer als 10,0 mm
30-min	24,6 mm	17:13	17:43	Starkregen größer als 12,2 mm
60-min	37,8 mm	17:12	18:12	Starkregen größer als 17,3 mm

Tab. 1: Monatsauswertung 1. Juli 1995 bis 31. Juli 1995 der Station Sonnalm.

3. Abfluß

Die Abflußmeßstelle Schmittenbach liegt in einer Seehöhe von 905 m, während sich die Mündung in den Zeller See in einer Höhe von 750 m befindet. Sie ist seit 1977 nach Bau eines Meßgeringes in Betrieb. Im Monat Juli 1995 floßen im Mittel 19.606,6 m³ pro Tag ab. Der mittlere Durchfluß betrug 0,22693 m³/sec. Der Wasserstand hat im Mittel des Monats Juli eine Höhe von 8,7 cm. In den 7 Tagen vor dem 27. Juli schwankte er zwischen 5,3 cm und 6,4 cm, wobei sich der höchste Wert am 22. Juli einstellte und von diesem Zeitpunkt an sank. Am 26. Juli betrug der mittlere Wasserstand somit 5,3 cm.

Die Aufzeichnung des Niederschlages an der Station Sonnalm begann um 17 Uhr 10, bereits um 17 Uhr 15 zeichnete die Abflußmeßstelle einen Anstieg des Wasserstandes von 5,9 cm (seit 12 Uhr 30 unverändert) auf 7,2 cm auf. Der nächste gemessene Wert um 17 Uhr 30 betrug 27,1 cm und bereits um 17 Uhr 45 war der höchste gemessene Wert mit 67,0 cm erreicht. Da nur alle 15 Minuten ein Mittelwert aus drei 5-Minutenwerten aufgezeichnet wird, kann sich natürlich kurz vorher oder nachher ein etwas höherer Wert eingestellt haben. Danach sank

der Wasserstand gleichmäßig und hatte um 20 Uhr 30 erstmals wieder einen Wert unter 20 cm, nämlich 18,6 cm.

Der höchste Wasserstand mit 67,0 cm bewirkte einen Durchfluß von 5,332 m³ pro Sekunde. Nach RUF, der die Wiederkehrswahrscheinlichkeit für Hochwasser berechnete und im "Exkursionsführer: Schmittenbach" veröffentlichte, handelte es sich bei diesem Ereignis um ein Hochwasser mit einer mittleren Wiederkehrperiode zwischen 30 und 50 Jahren.

4. Beziehung Niederschlag und Abfluß

Um Niederschlags- und Abflußwerte miteinander verknüpfen zu können, wurden die Niederschlagsdaten, die jede Minute aufgezeichnet werden, zu Viertelstundensummen zusammengefaßt. Alle Viertelstunde wird an der Abflußmeßstelle ein Wasserstand als Mittelwert aus drei 5-Minutenwerten aufgezeichnet. Aus diesem wurde nun mittels Pegelkurve ein Durchfluß in m³ pro Sekunde berechnet und für die davorliegende Viertelstunde eine Abflußfracht berechnet.

Tab. 3: Wasserstände am 27. Juli 1995 zwischen 17 Uhr und 21 Uhr.

Uhrzeit	Wasserstand in cm
17:00	5,900
17:15	7,200
17:30	27,100
17:45	67,000
18:00	59,000
18:15	57,400
18:30	55,200
18:45	51,600
19:00	46,500
19:15	34,200
19:30	32,700
19:45	27,000
20:00	26,300
20:15	25,600
20:30	18,600
20:45	17,400
21:00	17,000
21:15	16,300
21:30	15,400
21:45	14,900
22:00	14,700

◆ nicht maßstabsgerechte grafische Darstellung (◆ teilen den Bereich zwischen 15 cm und 70 cm gleichmäßig)

Tab. 4: Niederschlags- und Abflußfrachten von 27./28. Juli von 17 Uhr bis 2 Uhr.

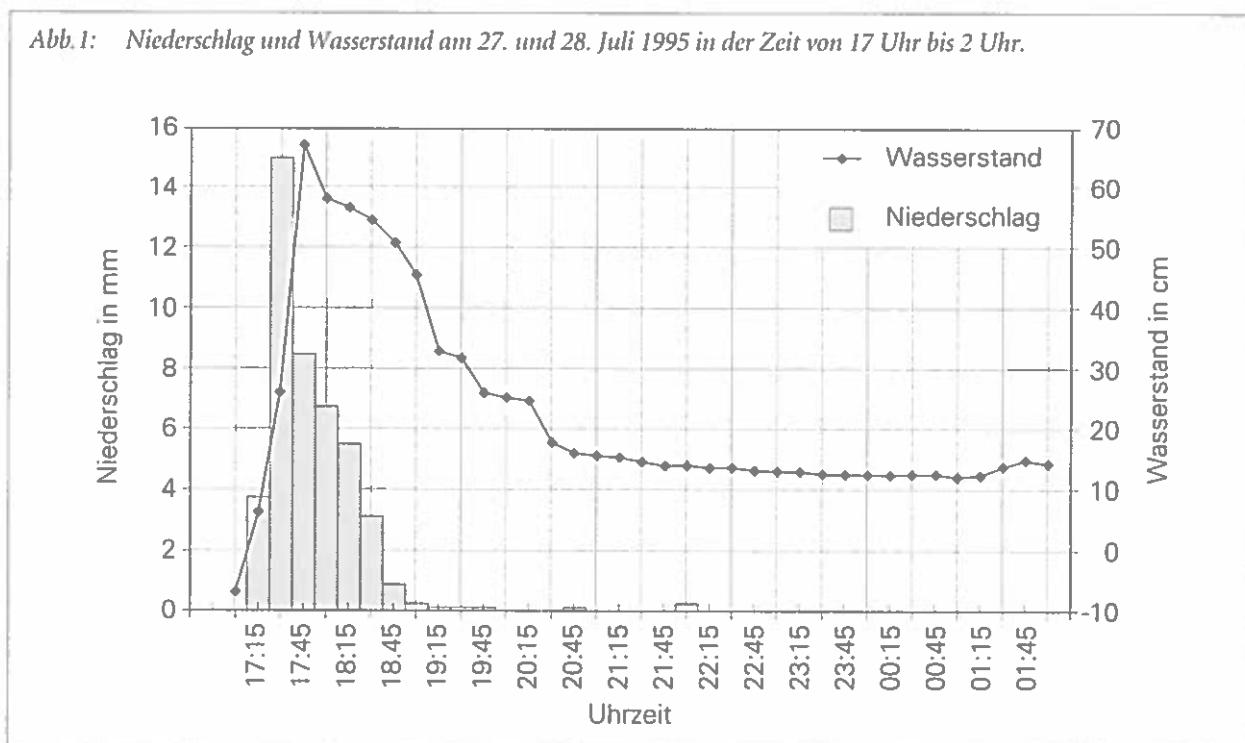
Datum	Uhrzeit bis	Niederschlag (mm)	Niederschlagsumme (mm)	Wasserstand (cm)	Durchfluß (m³/s)	Fracht (m³)	Summe (m³)
27. 7.	17:00	(0,0)	(0,0)	(5,9)	(0,11839)	(106,55)	(106,55)
	17:15	3,7	3,7	7,2	0,16175	145,57	145,57
	17:30	15,1	18,8	27,1	1,29079	1.161,71	1.307,28
	17:45	8,5	27,3	67,0	5,33152	4.798,37	6.105,64
	18:00	6,9	34,2	59,0	4,36834	3.931,51	10.037,15
	18:15	5,5	39,7	57,4	4,18414	3.765,73	13.802,88
	18:30	3,4	43,1	55,2	3,93559	3.542,03	17.344,91
	18:45	0,9	44,0	51,6	3,54090	3.186,81	20.531,72
	19:00	0,2	44,2	46,5	3,00809	2.707,28	23.239,00
	19:15	0,1	44,3	34,2	1,85871	1.672,83	24.911,84
	19:30	0,1	44,4	32,7	1,73256	1.559,30	26.471,14
	19:45	0,1	44,5	27,0	1,28333	1.155,00	27.626,14
	20:00		44,5	26,3	1,23158	1.108,42	28.734,56
	20:15		44,5	25,6	1,18060	1.062,54	29.797,10
	20:30		44,5	18,6	0,71568	644,11	30.441,21
	20:45	0,1	44,6	17,4	0,64466	580,20	31.021,41
	21:00		44,6	17,0	0,62159	559,43	31.580,84
	21:15		44,6	16,3	0,58196	523,76	32.104,60
	21:30		44,6	15,4	0,53240	479,16	32.583,76
	21:45		44,6	14,9	0,50556	455,01	33.038,76
	22:00	0,3	44,9	14,7	0,49497	445,47	33.484,23
	22:15		44,9	14,6	0,48970	440,73	33.924,97
	22:30		44,9	14,4	0,47923	431,31	34.356,28
	22:45		44,9	14,2	0,46884	421,96	34.778,23
	23:00		44,9	14,0	0,45854	412,68	35.190,92
	23:15		44,9	13,9	0,45341	408,07	35.598,99
	23:30		44,9	13,8	0,44831	403,48	36.002,47
	23:45		44,9	13,6	0,43817	394,36	36.396,83
28. 7.	00:00		44,9	13,5	0,43314	389,82	36.786,65
	00:15		44,9	13,4	0,42812	385,31	37.171,96
	00:30		44,9	13,3	0,42312	380,81	37.552,77
	00:45		44,9	13,3	0,42312	380,81	37.933,58
	01:00		44,9	13,1	0,41320	371,88	38.305,46
	01:15		44,9	13,7	0,44323	398,91	38.704,37
	01:30		44,9	15,6	0,54327	488,95	39.193,31
	01:45		44,9	16,5	0,59318	533,86	39.727,18
	02:00		44,9	15,5	0,53783	484,04	40.211,22

(...) Werte in Klammer gehören nicht zum HW-Ereignis und wurden somit bei der Summenbildung nicht berücksichtigt

Die obenstehende Tabelle wurden bis 2 Uhr ausgeführt, da um diese Zeit wieder Niederschläge aufgezeichnet wurden, die aber wahrscheinlich im Süden des Gebietes schon früher begannen, was das leichte Ansteigen des Wasserstandes um 1 Uhr 30 erklären könnte. Ein früherer Niederschlagsbeginn im Süden wäre auch eine mögliche Erklärung, warum um 17 Uhr nur so ein kurzer Zeitraum zwischen Aufzeichnungsbeginn der Niederschläge und Anstieg des Wasserstandes liegt.

In neun Stunden sind 40.211,22 m³ abgeflossen, das 10,5 fache des davorliegenden Abflusses gleicher Dauer. Nimmt man nun an, der Abfluß wäre ohne Niederschlag gleich geblieben, berechnet daraus einen sogenannten Basisabfluß und subtrahiert diesen von der Fracht, so bleiben immerhin 36.375,38 m³ als Hochwasserfracht übrig. Daraus ergibt sich eine Gesamtabflußspende von 5.538 m³/km² in neun Stunden und vermindert durch den Basisabfluß, eine Abflußhöhe von 5,01 mm.

Abb. 1: Niederschlag und Wasserstand am 27. und 28. Juli 1995 in der Zeit von 17 Uhr bis 2 Uhr.



5. Zusammenfassung

Die Murenereignisse vom 27. 7. 1995 in Zell am See nahm das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung/Abteilung Wildbachhydrologie zum Anlaß, aktuelle Niederschlags- und Abflußdaten von einem Einzelereignis aus diesem Mustereinzugsgebiet zu veröffentlichen. Zur Verbesserung der Anschaulichkeit der an diesem Tag aufgezeichneten Werte wurde für das Starkregenereignis mit 44,9 mm Niederschlag eine Hochwasserwelle berechnet, die vermindert durch den Basisabfluß eine Abflußhöhe von 5,01 mm erreichte. Basierend auf dem höchsten Durchfluß mit 5,332 m³ pro Sekunde handelte es sich nach RUF bei diesem Ereignis um ein Hochwasser mit einer mittleren Wiederkehrwahrscheinlichkeit zwischen 30 und 50 Jahren. Ein Ereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren würde einen Durchfluß von ca. 7,4 m³ pro Sekunde bewirken.

Literatur

- AULITZKY H. 1987: *Studienblätter zur Vorlesung Grundlagen der Wildbach- und Lawinenverbauung*. Wien, Univ. Bodenkultur, Eigenverlag.
- KRONFELLNER-KRAUS G.; RUF G. & SCHAFFHAUSER H. 1981: *Exkursionsführer für den Schmittenbach in Zell am See im Mittelpinztal, Land Salzburg*. Wien, Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- WUSSOW G. 1933: *Untere Grenzwerte dichter Regenfälle*. Meteorologische Zeitschrift.

Verfasserin: Dipl. Ing. Ulrike Stary
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung
Hauptstraße 7
1140 Wien

Abfluß- und Infiltrationsverhalten von Böden unter Fichtenaltbeständen in der Gleinalm (Stmk.)

Vergleich zweier Großregenanlagen

B. KOHL¹⁾, G. MARKART¹⁾, U. STARY¹⁾, H. PROSKE²⁾, P. TRINKAUS²⁾

¹⁾*Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Innsbruck*

²⁾*Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Joanneum Research, Graz*

Kurzfassung. An Waldstandorten in geologisch unterschiedlichen Bereichen mit verschiedenen Hangstabilitätsverhältnissen wurden Infiltrations- und Speicherleistung sowie der oberflächliche Abfluß bei Starkniederschlägen anhand von künstlichen Starkniederschlägen überprüft. Zum Vergleich kamen zwei Großregenanlagen zum Einsatz. Trotz sehr hoher Niederschlagsintensität (ca. 100 mm/h) wurde auf keiner Versuchsfäche die minimale Infiltrationsrate der jeweiligen Böden erreicht. Weder Oberflächenabfluß noch Interflow waren erkennbar. Bodenfeuchtemessungen ergaben auf Böden über Bänderamphibolit sehr hohe Sickerraten, während Böden über Augengneis über ein höheres Speichervermögen verfügen. Der geringfügig höhere Tongehalt in Verbindung mit einem geringeren Makro- bzw. Sekundärporenvolumen sind für diese höhere Speicherleistung ausschlaggebend. Das wesentlich höhere Gewicht dieser Böden bei Starkniederschlägen kann in Zusammenhang mit dem Forstwegebau als Auslöser von Hanginstabilitäten angesehen werden.

Schlüsselworte: Beregnungsversuch, Abfluß, Infiltration, Speichervermögen

Abstract. [Runoff and Infiltration Characteristics of Soils under Old Spruce Stands in the Gleinalm (Styria); Comparison between two Sprinkling Irrigation Installations.] Surface runoff and water retentiveness of soils under old spruce stands in different geological zones with different landsliding tendency were estimated by means of heavy rain simulation. Two comparative sprinkling irrigation installations for large plots were used. In spite of a very high rain intensity (appox. 100 mm/h) the minimum rate of infiltration was not reached on any plot. Neither surface runoff nor interflow was perceptible. Soils on Bänderamphibolit show very high rates of infiltration, whereas soils on Augengneis show a higher retentiveness. This depends on smaller macroporosity and little higher clay content. In connexion with forest road building, the significant higher mass of this soils during heavy rainfall may release landslides.

Keywords: Sprinkling irrigation, runoff, infiltration, retentiveness

1. Einleitung und Problemstellung

Hochwässer unterschiedlicher Intensitäten im Gleinbach (z.B. Katastrophe von 1972) und beträchtliche Waldschäden im Gebiet machten das Gleintal zu einem interessanten Forschungsobjekt. Seit etwa 1980 erhoben in erster Linie die Forstliche Bundesversuchsanstalt und die Universität für Bodenkultur Daten in umfassendem Ausmaß. Geologische, geotechnische und hydrogeologische Parameter wurden in einer interdisziplinären Verknüpfung von der Forschungsgesellschaft Joanneum Research bearbeitet (PROSKE ET AL. 1994). Die hier dargestellten, 1994 und 1996 durchgeföhrten Beregnungsversuche

sind in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung dieser Institution durchgeführt worden. Anhand der Regenimulation sollte die Infiltrations- und Speicherleistung sowie der oberflächliche Abfluß bei Starkniederschlägen an Waldstandorten in geologisch unterschiedlichen Bereichen mit verschiedenen Hangstabilitätsverhältnissen, überprüft werden.

Eine geringmächtige, grobkornreiche Verwitterungsdecke, die nur ein geringes Wasserrückhaltevermögen besitzt, kennzeichnet den Bereich der Bänderamphibolite. Demgegenüber stehen die wesentlich feinkornreicheren und tiefgründigeren Böden über Augengneis. Die Klüftung der Gesteine ist zwar in beiden Bereichen intensiv, die hydrogeo-

logische Wirksamkeit der Klüfte ist jedoch in der Augengneiszone durch eingeschwemmte Feinteile aus dem Verwitterungshorizont bzw. durch Kluftletten verringert, so daß hier nur wenig Wasser in tiefere Bereiche eindringen kann (PROSKE ET AL. 1994). In der Profilmorphologie kommt nach MAJER ET AL. (1989) das unterschiedliche Ausgangsmaterial kaum zum Ausdruck. Auch ihre Untersuchungen der Bodenart zeigen eine Konzentration auf einen recht engen Bereich zwischen lehmigem Sand und sandigem Lehm. Den relativ höchsten Tongehalt stellen sie jedoch in den Böden auf Augengneis fest, was als Folge einer stärker chemisch betonten Verwitterung interpretiert wird.

Im Zuge der Untersuchungen 1994 kamen zwei Beregnungsanlagen zum Einsatz, um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der ermittelten Abflußkennwerte beider Anlagen zu testen.

2. Methodik

Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte vom Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Joanneum Research. Im September 1994 wurden vier Waldstandorte auf Bänderamphibolit beregnet. Jeder Standort wurde zu Vergleichszwecken mit zwei Beregnungsanlagen, deren Unterschiede in Tabelle 1 aufgezeigt werden, aufeinanderfolgend bewässert. Die Bodenfeuchte wurde mittels TDR-Sonden im Oberboden (0 - 20 mm) vor und nach jedem Beregnungsexperiment gemessen.

Der Standortsvergleich (drei Beregnungen an Waldstandorten auf Augengneis) konnte erst im Mai 1996 durchgeführt werden. An diesen drei Flächen

kam nur noch eine Anlage (Nr.1) zum Einsatz. Die Bodenfeuchtemessung erfolgte an diesen Standorten während der gesamten Beregnungsdauer.

Für alle Beregnungsversuche wurde je nach Verfügbarkeit des Wassers eine Intensität von 80 bis 100 mm/h und eine Niederschlagsdauer von eineinhalb bis zwei Stunden gewählt.

Die boden- und vegetationskundliche Beschreibung aller Flächen erfolgte durch Mitarbeiter der Forschungsgesellschaft Joanneum Research (vgl. Tab.2 und Tab.3).

3. Ergebnisse

3.1 Abfluß

Auf den Bänderamphibolit-Flächen ist der registrierte Oberflächenabfluß vernachlässigbar gering (max. 0,05 % der Auftragsmenge). Annähernd die gesamte aufgebrachte Wassermenge wurde vom Bodenkörper aufgenommen und in tiefere Kluftsysteme weitergeleitet. Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Abflußcharakteristik der Beregnungsfläche 94-4. Trotz der überdimensional hohen Niederschlagsintensität von 180 mm (18 m³) in einem Zeitraum von zwei Stunden konnte kein Oberflächenabfluß gemessen werden. Die Intensität des höchsten seit 1971 aufgezeichneten natürlichen Starkregenereignisses wird mit 74 mm in eineinhalb Stunden angegeben. Ereignisse zwischen 70 und 100 mm pro Tag dürften nach PROSKE ET AL. (1994) keine Seltenheit sein, und solche mit 130 mm pro Tag durchaus alle 10 bis 20 Jahre auftreten.

Alle Beregnungsversuche an den Waldstandorten auf Bänderamphibolit fügten sich in dieses Abfluß-

Tab.1: Unterschiede der beiden verwendeten Großregenanlagen.

Unterschied	Beregnungsanlage 1	Beregnungsanlage 2
Meßfläche	Länge 20 m, Breite 5 m	Länge 25m, Breite 4m
Beregnungsfläche	seitliche Mitberegnung um laterale Abdrift zu verhindern	Meßfläche
Veränderbarkeit der Auftragsmenge	über die Anzahl druckregulierter Düsen mit definiertem Ausstoß	über den Betriebsdruck wird der Durchfluß gesteuert
Kontrolle der Auftragsmenge	Wasserzählablesung nach Beregnungsende	Durchflußzähler mit Online-Registrierung
Abflußmessung	Ablesung an kalibrierten 300 l Auffangbehältern	Quantifizierung über Drucksonden in 500 l Auffangbehältern

Tab.2: Bodenprofilaufnahmen der Beregnungsflächen (H. PROSKE, P. TRINKAUS).

Beregnungsfläche 94-1

Hangneigung: 22 °
 Grundgestein: Bänderamphibolit
 Geröllspektrum im Hangschutt: Augengneis, Glimmerschiefer, Bänderamphibolit
 Boden: podsolige Felsbraunerde
 Gründigkeit: 45 cm
 0 - 15 cm Sand, schluffig, kiesig; krümelig, stark durchwurzelt, Holzkohlereste
 15 - 30 cm Sand, schluffig, kiesig; stark durchwurzelt
 30 - 45 cm Sand, schluffig, sehr kiesig; gering durchwurzelt

Beregnungsfläche 94-2

Hangneigung: 22 °
 Grundgestein: Bänderamphibolit
 Geröllspektrum im Hangschutt: Augengneis, Glimmerschiefer, Bänderamphibolit
 Boden: schwach podsolige Felsbraunerde
 Gründigkeit: 40 cm
 0 - 20 cm Sand, sehr schluffig, gering tonig, gering kiesig; stark durchwurzelt, Holzkohlereste
 20 - 40 cm Sand, schluffig, kiesig; mäßig durchwurzelt, Holzkohlereste

Beregnungsfläche 94-3

Hangneigung: 20 °
 Grundgestein: Bänderamphibolit
 Geröllspektrum im Hangschutt: Glimmerschiefer, Bänderamphibolit, Aplit
 Boden: podsolige Felsbraunerde
 Gründigkeit: 50 cm
 0 - 10 cm Sand, schluffig, krümelig, stark durchwurzelt
 10 - 25 cm Sand, sehr schluffig, gering tonig, kiesig; stark durchwurzelt
 25 - 50 cm Sand, schluffig, kiesig; gering durchwurzelt

Beregnungsfläche 94-4

Hangneigung: 20 °
 Grundgestein: Bänderamphibolit
 Geröllspektrum im Hangschutt: Glimmerschiefer, Bänderamphibolit;
 Boden: podsolige Felsbraunerde

Beregnungsfläche 96-1

Seehöhe: 1260 m
 Exposition: ENE; Hangneigung: 38 °
 Relief: Mittelhang, Muldenrandlage, ausgeglichen
 Grundgestein: gebänderter Granatamphibolit
 Geröllspektrum im Hangschutt: Granatamphibolit, Glimmerschiefer
 Boden: schwach podsolige Braunerde
 Gründigkeit: 100 cm
 Wasserhaushaltsstufe: sehr frisch
 Begrünungsgrad: 100 %
 Waldaltersklasse: 5 (81 - 100 Jahre)
 10 - 8 cm L Fi-Nadelstreu, locker, nicht durchwurzelt
 8 - 3 cm Of Graswurzeln, Wurzelfilz, zersetzte Fi-Streu
 3 - 0 cm Oh mehliger Moder - Mull, stark durchwurzelt, allmählich übergehend
 0 - 20 cm Ah schluffiger Sand (Grobanteil 10 - 30 %), stark humos, Farbe: 5YR3/1, karbonatfrei, stark durchwurzelt, Holzkohlereste
 20 - 90 cm Bv schluffiger Sand; Steine und Blöcke bis 30 cm (Grobanteil 30 %), Farbe: 10YR4/6, mittel durchwurzelt
 ab 90 cm BC schluffiger Sand, Grobanteil über 60 %, karbonatfrei, schwach durchwurzelt

Beregnungsfläche 96-2

Seehöhe: 1260 m
 Exposition: W
 Hangneigung: 29 °
 Relief: Mittelhang, Rücken, ausgeglichen
 Grundgestein: granatführender Amphibolit; Augengneis
 Geröllspektrum im Hangschutt: granatführender Amphibolit, Granat-glimmerschiefer, Augengneis
 Boden: schwach podsolige Braunerde
 Gründigkeit: 80 cm
 Wasserhaushaltsstufe: frisch
 Begrünungsgrad: 100 %
 Waldaltersklasse: 5 (81 - 100 Jahre)
 8 - 4 cm L Fi- und Lä-Streu, Grasreste, locker
 4 - 1 cm Of zersetzte Streu und Graswurzeln
 1 - 0 cm Oh schwach ausgebildet, locker, stark durchwurzelt
 0 - 25 cm Ah schluffiger Sand, einige Steine und Blöcke bis 30 cm (Grobanteil ca. 30 %), stark humos; Farbe: 5YR2/2, karbonatfrei, stark durchwurzelt, allmählich übergehend
 25 - 45 cm Bv1 Sand, Kies, Steine und Blöcke bis 30 cm (Grobanteil ca. 50 %), karbonatfrei, mittel durchwurzelt, allmählich übergehend
 45 - 80 cm Bv2 Sand, Kies, Steine und Blöcke bis 30 cm (Grobanteil ca. 60 %), Farbe: 10YR5/4, karbonatfrei, schwach durchwurzelt
 ab 80 cm BC schluffiger Sand, Grobanteil 60 - 80 % (Kies, Steine und Blöcke bis 50 cm), karbonatfrei, nicht durchwurzelt

Beregnungsfläche 96-3

Seehöhe: 1420 m
 Exposition: NNW
 Hangneigung: 37 °
 Relief: Mittelhang, Muldenrandlage, ausgeglichen
 Grundgestein: Augengneis
 Geröllspektrum im Hangschutt: Augengneis, gebänderter Gneis, Granatamphibolit
 Boden: Felsbraunerde
 Gründigkeit: 60 cm
 Wasserhaushaltsstufe: frisch
 Begrünungsgrad: 100 %
 Waldaltersklasse: 6 (über 101 Jahre)
 2,5 - 2 cm L Fi-Nadelstreu, locker
 2 - 0,5 cm Of Wurzelfilz, kompakt
 0,5 - 0 cm Oh schwach ausgeprägt
 0 - 8 cm Ah schluffiger Sand, geringer Grobanteil (5 - 10 % Grus, Steine); karbonatfrei, stark durchwurzelt, Übergang wellig
 8 - 40 cm Bv1 schluffiger Sand, Grobanteil 20 % (überwiegend Steine - Augengneis und gebänderter Gneis), karbonatfrei, Hauptwurzeln zwischen Ah und Bv1, stark durchwurzelt, allmählich übergehend
 40 - 60 cm Bv2 schluffiger Sand, Grobanteil 30 - 40 % (Steine - Augengneis und gebänderter Gneis und Granatamphibolit), karbonatfrei, schwach durchwurzelt
 ab 60 cm Bv3 gering schluffiger Sand, Grobanteil 30 % (Steine und Blöcke bis 30 cm - Augengneis und gebänderter Gneis, Granatamphibolit ungeordnet), karbonatfrei, nicht durchwurzelt

schema (siehe Tab. 4) ein. Auch ein Zwischenflächenabfluß war in keiner der unterhalb der Versuchsfächen geöffneten Profilgruben erkennbar.

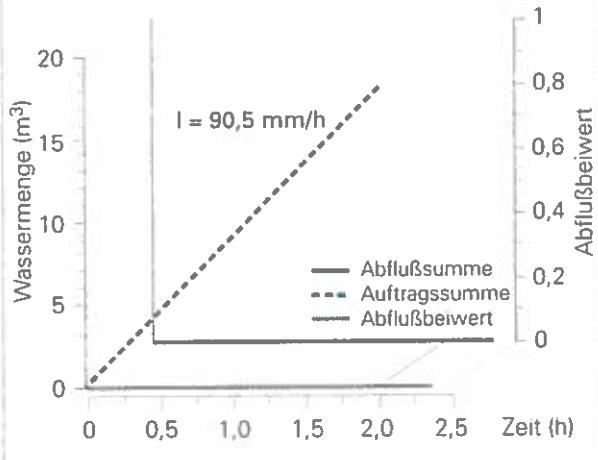
Im Vergleich der zwei verwendeten Beregnungsanlagen hatte weder die unterschiedliche Breite, noch die seitliche Mitberegnung bzw. Nicht-Mitberegnung einen Einfluß auf das Meßergebnis.

Tab.3: Vegetationsaufnahmen der Beregnungsflächen (H. PROSKE, P. TRINKAUS).

Beregnungsfläche	94-1	94-2	94-3	94-4	96-1	96-2	96-3
Baumschicht							
Picea abies							
Picea abies	5	4	5	5	3	1	3
Larix decidua		2a				1	
Strauchsicht							
Picea abies	1	1	+	+	2a	1	1
Larix decidua	1		r	+		+	
Rubus idaeus					2a	2a	
Sorbus aucuparia			+				
Krautschicht							
Vaccinium myrtillus	3	3	3	3	+	2m	4
Avenella flexuosa	3	3	2a	2b	r	4	
Luzula luzuloides	1	1	1	1	1	+	1
Oxalis acetosella	1	1	+	1	2m	3	3
Picea abies	1	1	1	1	1		1
Calamagrostis arundinacea	2a	2a	2a	2a			5
Athyrium filix-femina		+	+	+	1	1	1
Vaccinium vitis-idaea	1	+	1	1		+	
Rubus idaeus	+			+	1	+	+
Homogyne alpina	2m	1	1	1			
Gymnocarpium dryopteris	1		1	+	1		
Calamagrostis varia					4	5	
Luzula pilosa	+						4
Ajuga pyramidalis						1	
Veronica officinalis	+	+			1	+	
Sorbus aucuparia	+			+		1	1
Hieracium sylvaticum	+	1				r	
Lycopodium annotinum		+	1				+
Senecio fuchsii					1	1	+
Gentiana asclepiadea	r					1	
Hypericum maculatum				2m	+		
Digitalis lutea					1		
Linaria vulgaris					1		
Paris quadrifolia					1		
Tussilago farfara					1		
Ajuga reptans					+		
Fragaria vesca					+		
Galeopsis tetrahit					+		
Scrophularia nodosa					+		
Verbascum nigrum					+		
Viola sp.					+		
Luzula sylvatica					2a		
Cerastium caespitosum						1	
Larix decidua						1	
Silene vulgaris						+	
Veratrum album						+	
Prenathes purpurea				r			
Gnaphalium dryopteris					r		
Sambucus racemosa						r	

Der etwas höhere Feinkornanteil der Böden über Augengneis in Verbindung mit wesentlich größerer Hangneigung der Standorte ließ bei den 1996 erfolgten Beregnungsversuchen deutlich höhere Abflußmengen erwarten. Aber selbst die am stärksten geneigte Fläche (Abb.2), ein frischer Waldstandort in einer Muldenrandlage vermochte, wie auch die zwei Vorhergehenden, die gesamte aufgebrachte Wassermenge aufzunehmen (28 m³ in drei Stunden; 92 mm/h).

Abb.1: Abflußcharakteristik der Beregnungsfläche 94-4.



3.2 Bodenfeuchte

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Beregnungsversuche und der Bodenfeuchtemessungen dargestellt. Während, wie erwähnt, auf keinem Standort Oberflächenabfluß feststellbar war, zeigt die Messung des Wassergehaltes ein differenzierteres Bild. Bedingt durch anhaltende Niederschläge während mehrerer Tage vor den Beregnungsversuchen lag die Ausgangsfeuchte aller Flächen auf vergleichbarem Niveau. Sie war zwischen 22 und 27 Prozent im Bereich der Feldkapazität dieser Böden zu finden. Ein erhöhter Ausgangswassergehalt wurde unter vergleichbaren Vorbedingungen lediglich auf der Fläche 96-3 gemessen. Durch die lange Beregnungsdauer (jeweils über 1,5 Stunden) wurde der Porenraum der Böden annähernd vollständig aufgesättigt. Der nach dem Ende der Beregnung gemessene Wassergehalt des Bodens setzt sich aus Haftwasser und langsam beweglichem Sickerwasser zusammen. Hier lagen die Werte der Bänderamphibolit-Böden bei durchschnittlich 31 Volumenprozent. Die Wassergehalte der Böden über Augengneis waren jedoch deutlich höher (rund 42 %).

Tab.4: Ergebnisse der Beregnungsversuche und Bodenfeuchtemessungen (OA = Oberflächenabfluß):

Beregnungsfläche	94-1		94-2		94-3		94-4		96-1	96-2	96-3
Beregnungsanlage	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1
Intensität (mm/h)	84	97	80	90	87	93	91	100	93	99	92
Auftragsmenge (m ³)	13	15	16	18	13	14	18	20	19	20	28
Dauer (h)	1,5	1,5	2	2	1,5	1,5	2	2	2	2	3
maximaler OA (%)	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
OA gesamt (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wassergehalt (Vol%)											
vor Beginn	27	25	23	24	23	27	25	22	26	26	33
Sättigung									47	50	59
nach der Beregnung	30	32	33	30	32	32	30	30	36	44	46



Abb.2: Beregnungsfläche 96-3.

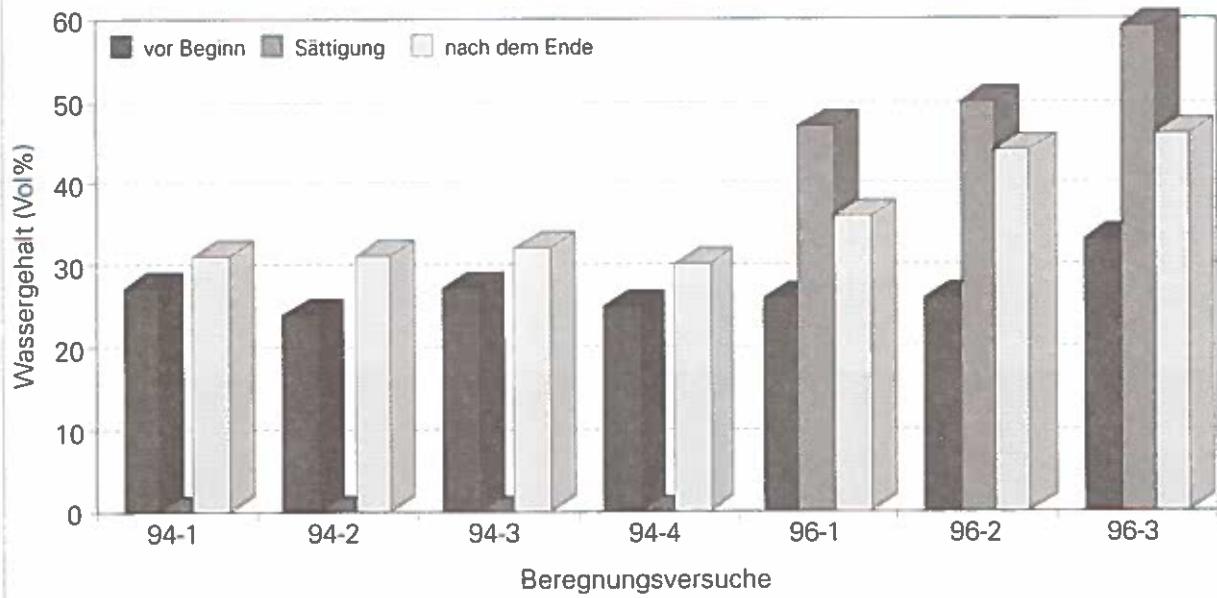
4. Diskussion und Schlußfolgerung

Die geringe Erhöhung der Volumsfeuchte der Bänderamphibolit-Böden (durchschnittlich 7 %) kann als Indikator für ein sehr hohes Makro- bzw. Sekundärporenvolumen angesehen werden (lockere Struktur des Bodens). Die Wirkung der bindigen Textur wird durch die lockere Struktur überprägt (CZELL 1972). Ein Großteil des Niederschlagswassers versickert rein gravitativ, ohne Bindung durch die

Bodenmatrix. Hangparallele Wasseraustritte waren weder am Bodenschlitz unterhalb der Versuchsfächen noch an der steilen Wegböschung zu beobachten. Trotz der hohen Intensität der Starkregen-simulation (ca. 100 mm/h) wurde auch auf den sehr schluffreichen Böden über Augengneis die minimale Infiltrationsrate nicht erreicht. Auch hier waren weder Oberflächen- noch Zwischenabfluß erkennbar. Beide Abflußformen sind daher auf diesen Waldböden nicht als direkte Auslöser von Abtragsprozessen und Rutschungen anzusehen. Ein wesent-

Abb.3:

Bodenwassergehalt vor, während und nach der Starkregensimulation (100 mm/h);
Die Messung des Sättigungswertes war auf den Bänderamphibolit-Flächen (94-1 bis 94-4) nicht erfolgt.



licher Unterschied zu den Bänderamphibolit-Böden besteht in der erhöhten Wasserspeicherkapazität (vgl. Abb. 3). Der etwas höhere Tongehalt (ca. 20 % Ton, MAIER ET AL. 1989) in Verbindung mit einem geringeren Makro- bzw. Sekundärporenvolumen sind für dieses vermehrte Speichervermögen ausschlaggebend. Durch diese Eigenschaften werden derartige Böden bei Eindringen von Niederschlag sehr schwer. Die Entwicklung der Schäden im Gleintal belegen, daß der Eingriff in den Hangwasserhaushalt durch den Forstwegebau für diese mitverantwortlich ist (PROSKE 1994). Das bei Starkniederschlägen erhöhte Eigengewicht der talseitigen Straßenböschung kann in Kombination mit Ableitungen der Oberflächenwasser des Forstweges an ungeeigneten Stellen massenbewegungsauslösend wirken. Den Zusammenhang zwischen Rotationsanbrüchen und sehr hohen Speicherfähigkeiten der betroffenen Böden belegen auch sehr deutlich die Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (BUNZA ET AL. 1996).

Auf Böden, deren minimale Infiltrationsrate bei Starkregensimulationen (100 mm/h) nicht überschritten wird, lieferten die verwendeten Großregenanlagen auch hinsichtlich der Bodenfeuchtemessung keine unterschiedlichen Ergebnisse.

5. Literatur

BUNZA G., JURGING P., LÖHMANNSRÖBEN R., SCHAUER TH. & ZIEGLER R. 1996: Abfluß- und Abtragsprozesse in Wildbach-einzugsgebieten; Grundlagen zum integralen Wildbachschutz. Schriftreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, (27): 90.

CZELI, A., 1972: Wasserhaushaltmessungen in subalpinen Böden. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, (98):1-109.

MAIER CH., KILIAN W. & MUTSCH F. 1989: Die Böden im Gleinalmgebiet. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, (163/I): 33-128.

PROSKE H., LAZAR R. & TRINKAUS P. 1994: Erfassung und Darstellung geogener bedingter Boden- und Gebirgsinstabilitäten unter besonderer Berücksichtigung einer Katastrophenvorsorge. Joanneum Research, Graz, S. 163.

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

Dipl.-Ing. U. Stary
 Forstliche Bundesversuchsanstalt
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung
 Hauptstraße 7
 A - 1140 Wien

Mag. H. Proske
 Mag. P. Trinkaus
 Joanneum Research Forschungsgesellschaft
 Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung
 Elisabethstraße 16-18/1
 A - 8010 Graz

Gebietscharakteristik des Gleintales bei Knittelfeld (Steiermark)

H. PROSKE

Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Joanneum Research, Graz

Kurzfassung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung sowie des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wurden in den Jahren 1992 bis 1994 in einem Teilbereich des Gleintales östlich von Knittelfeld (Steiermark) geo- und biowissenschaftliche Erhebungen durchgeführt. Diese sollten einen Beitrag zur Klärung des Problemkreises Erosion und Massenbewegungen in diesem Raum liefern (LAZAR, PROSKE & TRINKAUS 1994). Die Datenerhebung konzentrierte sich auf geologische, geomorphologische, hydrogeologische und klimatologische Fragestellungen, da der Boden- und Vegetationskomplex durch frühere Studien der Forstlichen Bundesversuchsanstalt und der Universität für Bodenkultur weitgehend abgedeckt war. Die Ausbildung der Schuttüberlagerung sowie das Vorhandensein von Stauhorizonten an der Grenze zum unterlagernden Festgestein waren im Untersuchungsgebiet für die Beurteilung der Hangstabilität von vorrangiger Bedeutung. Für die Entwicklung der Erosionsschäden im Gleintal waren in erster Linie die unangepaßte Bauweise der Forstwege und die damit verbundenen Eingriffe in den Hangwasserhaushalt verantwortlich. Die damals entstandenen Erosionsflächen stellen heute bevorzugte Angriffsflächen für weitere Abtragsvorgänge dar.

Schlüsselworte: Erosion, Massenbewegungen, Geologie, Klimatologie

Abstract. [Characterization of the Area of the Gleintal Near Knittelfeld (Styria).] A test area in the Glein Valley east of Knittelfeld (Styria) was chosen for geo- and bioscientific investigations on erosional processes and mass movements. This research was supported by the Austrian Ministry of Science and Research and the Styrian Department of Science. Special emphasize was laid on combining existing data on vegetation and pedology with new geological, geomorphological, hydrogeological and climatological data. Potential sliding predominantly turns up at the contact between the bedrock and the talus deposits and secondary within the talus deposits due to the clayey/silty interlayers. Forestry road construction proved to be the main triggering factor favouring surficial mass movements. Being weak points the existing sliding surfaces are enlarged continually by erosional processes.

Keywords: Erosion, mass movements, geology, climatology

1. Einleitung

Das etwa 10 km² große Untersuchungsgebiet liegt am NW-Abfall der Gleinalpe im Steirischen Randgebirge und umfaßt im wesentlichen den Talschlußbereich des Gleintales, das sich von St.Margarethen bei Knittelfeld westwärts bis zum Gleinalmsattel erstreckt. Die Landschaft im Untersuchungsgebiet ist durch taleinwärts sich verengende Täler mit steilen Flanken geprägt. Die überwiegend E-W- bzw. NW-SE-verlaufenden Kerbtäler weiten sich im Talschluß zu Quelltrichtern auf. Die Höhenlagen zeigen gerundete Kuppen und langgestreckte Rücken, die durch sanfte Sättel unterbrochen werden. Lediglich im Norden des Speikkogels, bereits außerhalb des

Arbeitsgebietes, ist eine Karbildung angedeutet, im übrigen fehlen glaziale Landschaftsformen. An den Steilhängen findet man stellenweise ruinenhafte Felsköpfe und weit verbreitete Decken aus grobem Hangschutt.

Seit etwa 1980 ist das Gleintal als Gebiet mit beträchtlichen neuartigen Waldschäden bekannt (DONAUBAUER 1989). Im Rahmen der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung wurde das Gleintal daher für ein interdisziplinäres Forschungsprogramm ausgewählt. Die in erster Linie durch die Forstliche Bundesversuchsanstalt, die Universität für Bodenkultur und die Universität Graz erhobenen Daten umfassen vor allem vegetations- und bodenkundliche Parameter.

2. Der Gleinbach

Im Gleinbach waren u.a. in den Jahren 1938, 1949, 1963, 1969 und 1972 Hochwässer unterschiedlicher Intensität zu verzeichnen. Besonders schwerwiegend waren die Folgen der Katastrophe von 1972. Die Schäden, die vor allem im Unterlauf unterhalb der Ortschaft Glein registriert wurden, waren unmittelbarer Anlaß zur Ausarbeitung eines Detailprojektes zur Verbauung des Gleinbaches durch die Forsttechnische Abteilung der Wildbach- und Lawinenverbauung. Die projektierten Regulierungsmaßnahmen beschränkten sich auf den Unterlauf des Gleinbaches. Für den steileren Oberlauf wurden im Erhebungsbericht der Wildbach- und Lawinenverbauung (1973) als Folge des Hochwassers von 1972 zwar "zahlreiche Anrisse und Hangschlüpfe" festgestellt, das Gefährdungspotential wurde jedoch aufgrund des Fehlens großräumiger Geschiebequellen als gering eingeschätzt.

3. Niederschlagsverhältnisse

Aufgrund seiner Lage südlich des Alpenhauptkamms wird das Niederschlagsgeschehen im Arbeitsgebiet nur noch wenig von Strömungslagen aus West bis Nord beeinflußt. Hingegen nehmen Tiefdrucklagen im Süden eine Vorrangstellung ein, vor allem betrifft dies Situationen mit Strömungen aus dem Sektor Südost bis Nordost, wodurch die Gleinalpe zum Primärstaugebiet mit exzessiven Niederschlägen wird.

Im Sommer prägen Gewitter die Niederschlagsverteilung in hohem Maße: Mit 40 bis 45 Gewittertagen im Jahr zählt die Gleinalpe zu den gewitterreichsten Landstrichen Österreichs. Ähnlich wie die Fischbacher Alpen und der Wechsel muß die Gleinalpe wegen ihrer exponierten Lage zu jenen Abschnitten gerechnet werden, die als Entstehungsgebiete ("Herdentwicklungszonen") für schwere Gewitter anzusehen sind.

Für Starkniederschläge im Herbst und im Frühjahr ist von Bedeutung, daß nach polaren Kaltlufteneintrüchen mit Schneefällen ein Mittelmeertief mit Warmluftadvektion ergiebige Regenfälle bis über die Waldgrenze hinaus bescheren kann. Die daraus resultierenden Schmelz- und Niederschlagswässer verursachen erhebliche Abfluß spitzen und begünstigen besonders die Auslösung von oberflächennahen Hangrutschungen.

Für die Untersuchung des Themenkomplexes Erosion und Massenbewegungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geographie der Universität Graz in einer ersten Phase zunächst die Niederschlagsdaten des amtlichen Stationsnetzes herangezogen, auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft und einer Analyse in Hinblick auf Extremniederschläge unterzogen. Diese zeigte, daß Ereignisse zwischen 70 und 100 mm keine Seltenheit sind und solche bis 130 mm durchaus alle 10 bis 20 Jahre auftreten. Das Hauptproblem bei der Auswertung liegt in dem für derartige Untersuchungen zu weitmaschigen Stationsnetz. Alle bisherige Versuche einer Bestimmung der Niederschlagszunahme mit der Höhe bei Staulagen aus Südost bis Ost (Tief im Süden) sind relativ vage. In einer zweiten Untersuchungsphase soll daher zur Zeit mit Hilfe eines eigenen Sonderstationsnetzes eine entsprechende Datengrundlage geschaffen werden.

4. Geologie und Tektonik

Das Arbeitsgebiet wird zur Gänze von den metamorphen Gesteinen des Stub-Gleinalpenkristallins eingenommen. Die neuesten geologischen Bearbeitungen (SCHUMACHER 1972, BECKER 1980) untergliedern die im Untersuchungsgebiet auftretenden Gesteine in einen vulkanogenen Komplex ("Gleinalm-Kerngesteine") und in einen im Hangenden folgenden Amphibolitkomplex.

Der vulkanogene Komplex besteht im Arbeitsgebiet fast ausschließlich aus Aplit- und Bänderamphiboliten, während der Amphibolitkomplex über einem basalen, mehrere 100 m mächtigen Augengneiszug vorwiegend Gemeinen Amphibolit, Granatamphibolit und Granatglimmerschiefer aufweist. Bei der geologischen Neukartierung des Untersuchungsgebietes wurde auf die Erfassung der für die geotechnische Beschreibung und Klassifizierung erforderlichen Parameter Gesteinsart, Lithologie, Struktur, Textur, Verwitterungsbeständigkeit, Entfestigungsgrad, Lagerung und Trennflächengefüge besonderes Augenmerk gelegt.

Das hervorstechende tektonische Bauelement im oberen Gleintal ist eine in Talnähe etwa WSW-ENE (und damit annähernd talparallel) verlaufende Großantiklinale.

Sowohl in der Karte der Bruchlinien in Österreich nach Satellitenbildern (TOLLMANN 1977) als auch in der Karte der Landsat-Bildlineamente von Öster-

reich 1:500.000 (BUCHROITHNER 1984) ist der Verlauf des Gleintales als Teil einer vom Ostrand des Fohnsdorfer Beckens über Rachau, den Gleinalmsattel bis in das Murtal NE von Frohnleiten verfolgbaren Bruchstruktur ausgewiesen, die sich in ein System subparalleler Störungslinien im Bereich der Gleinalpe einfügt.

Die Deutung des auffallend geradlinig verlaufenden oberen Gleintales als Ausräumungszone aufgrund tektonischer Zerrüttung ist zwar naheliegend, lässt sich im Gelände jedoch nur anhand weniger Indizien belegen. Hinweise auf das Vorhandensein einer regional wirksamen Bruchstruktur ergeben sich in erster Linie aus der extrem starken Gesteinsauflockung, die vor allem im Talbereich unmittelbar westlich des Gleinalmsattels beobachtbar ist. Aufgrund des hohen Zerlegungsgrades in teilweise nur cm-große Bruchstücke sind die Gesteine besonders tiefgründig zu sandig-grusigem Material verwittert.

Die Orientierung und Ausbildung von Trennflächen (Kluft- und Schieferungsflächen) im Gestein erwies sich bei der Ursachenanalyse von Massenbewegungen als ausschlaggebendes Kriterium. Insbesondere hangparallele Kluftsysteme mit hohem Durchtrennungsgrad stellen entsprechende Gleithorizonte für oberflächennahe Rutschungen dar. Eine Analyse der geologischen Situation bei den vorhandenen Rutschflächen zeigt, daß die Bewegungen besonders häufig auf solchen Trennflächen erfolgen, die durch Kluftmittel im mm- bis cm-Bereich verfüllt sind. Kluftsysteme, die diese Voraussetzung aufweisen, sind vor allem im Augengneis und Glimmerschiefer am Nordabfall der Roßbachalpe weit verbreitet.

Setzt man die beobachtbaren Hauptkluftrichtungen mit dem Verlauf des Talnetzes in Beziehung, stimmen beide Richtungen miteinander gut überein, d.h. die Täler folgen den Hauptkluftrichtungen. Diese Tatsache unterstreicht den geomechanischen Zusammenhang des Trennflächengefüges mit landschaftsformenden Prozessen. Das rezente geotektonische Spannungsfeld ist demnach mitausschlaggebend für Talanlagen. Dieses Spannungsfeld besitzt bei der Interpretation von Bewegungsvorgängen und damit in Verbindung stehenden Auflockerungszonen große Bedeutung, da die bevorzugte Bewegungsrichtung in der Regel zu einer der Tal-/Kluftrichtungen parallel, zur anderen ungefähr orthogonal verläuft (HAUSWIRTH & SCHEIDECKER 1980).

5. Verwitterungsverhalten der Gesteine

Für die Beurteilung der Hangstabilität waren die Mächtigkeit und Zusammensetzung der Schuttüberlagerung und oberflächennahe Wasserwegigkeiten bzw. Stauhorizonte an der Grenze zum unterliegenden Festgestein von vorrangiger Bedeutung.

Aplit- und Bänderamphibolite sind im Untersuchungsgebiet jene Gesteine, die die größte Widerstandsfähigkeit gegenüber Verwitterungseinflüssen aufweisen. Dies ist einerseits durch den hohen Quarzgehalt, andererseits durch die Ausbildung des Trennflächengefüges, das infolge der vergleichsweise geringen Kluftzahl nur beschränkte Angriffsflächen bietet, erkärbare. Der Verwitterungsschutt dieser Gesteine ist daher generell relativ grobkörnig und kantig, verzahnt sich gut und weist eine hohe Standfestigkeit auf.

Biotitgneise, Biotitschiefer und Glimmerschiefer bilden wesentlich tiefgründigere und feinkornreichere Verwitterungsdecken. Die Grobkomponenten besitzen oft geringe Druckfestigkeiten und zerfallen leicht. Böschungen im Hangschutt dieser Gesteine neigen bei Durchfeuchtung zu Rutschungen und Anbrüchen.

Häufig tiefgründige Verwitterungerscheinungen und reicherlicher Schuttanfall kennzeichnen in der Regel auch die Augengneise, wobei der Auflockerungs- und Verwitterungszustand der Gesteine auf engem Raum stark variiert. Frisches, kaum verwittertes, mittelständig geklüftetes Gestein unter einer geringmächtigen Bodenauflage liegt mitunter unmittelbar neben engständig geklüftetem, vergrustem und brüchigem Fels, der in einzelne verrutschte Blöcke aufgelöst ist.

6. Hydrogeologie

Zur Interpretation der Zusammenhänge zwischen Hanginstabilitäten und dem Hangwasserhaushalt kommt der hydrogeologischen Kartierung mit Erfassung der Dichte und des Verlaufes des Oberflächen-Abflußnetzes, von Quellen und Vernässungen, von Auflockerungszonen und Lockersedimenten mit hohem Versickerungsanteil und der Messung hydrochemischer und hydrophysikalischer Basiswerte von Quellen eine zentrale Rolle zu. Bei der Quellenaufnahme wurden außer der Schüttung die Parameter Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Gesamt-härte, Calcium-, Magnesium- und Aluminiumgehalt bestimmt. Mit Hilfe der ermittelten Parameter war

eine nähere Charakterisierung des Einzugsgebietes möglich, die Bestimmung des wasserlöslichen Aluminiums sollte darüberhinaus erste Hinweise auf Bereiche mit verstärkten Bodendegradationsprozessen liefern.

Bezüglich der Schüttungen zeigt sich das typische Bild eines kristallinen Einzugsgebietes: In praktisch allen geologischen Einheiten eine große Zahl kleiner und kleinster Wasseraustritte, die mit Ausnahme extremer Niederschlagsereignisse eine recht konstante Schüttung aufweisen. Dies gilt vor allem für die Glimmerschiefer, Augengneise und Granatamphibolite, während im Bereich der Bänder- und Aplitamphibolite teilweise stärkere Schüttungsschwankungen zu registrieren sind. Die Gründe dafür sind einerseits im größeren Anteil an offenen Klüften, andererseits im geringeren Wasserrückhaltevermögen der grobkörnigen und geringmächtigen Verwitterungsdecken zu finden. Beides begünstigt ein rasches Versickern von Niederschlägen und führt zu einer ungleichmäßigeren Wasserspende.

Während und kurz nach Starkniederschlägen treten zahlreiche zusätzliche Wasseraustritte mit zum Teil beträchtlichen Schüttungen auf. Dieser kurzfristige oberflächennahe Abfluß konzentriert sich auf die Glimmerschiefer, Augengneise und Granatamphibolite, wo die feinkornreichere Verwitterungsdecke, das weitgehende Fehlen offener Klüfte bzw. das großflächige Vorhandensein hangparalleler Kluftsysteme das Versickern großer Wassermengen verhindern. Der bei derartigen Verhältnissen bestehende Poren- bzw. Kluftwasserdruck ist einer der entscheidenden Einflußfaktoren bei der Auslösung flachgründiger Massenbewegungen.

Die Meßwerte für die Leitfähigkeit, die Gesamthärte sowie den Ca- und Mg-Gehalt zeigen die äußerst geringe Mineralisation der Quellwässer, die einerseits auf die geringe Löslichkeit der kristallinen Gesteine, andererseits auf die kurze Verweildauer des Wassers im Untergrund zurückzuführen ist.

Als einer der Indikatoren für degradative Vorgänge im Boden kann der Gehalt an wasserlöslichem Al verwendet werden. Unter dem Aspekt, daß sich die Meßwerte nicht auf Bodenlösungen sondern auf Quellwässer beziehen, daß also beträchtliche Verdünnungseffekte mitzuberücksichtigen sind, weisen die in mehreren Gebieten festgestellten Al-Gehalte von 0,2 bis 1,0 mg/l auf massive Ionenaustauschvorgänge in den Böden des Einzugsgebietes hin. Ein eindeutiger Bezug zu den geologischen Verhältnissen ist nicht herstellbar, erhöhte Al-Gehalte treten in allen Gesteinseinheiten auf.

7. Massenbewegungen

Dominierend, insbesondere im Bereich südlich des Gleinbaches, sind im Untersuchungsgebiet flachgründige Erd- und Schuttgänge, deren Entstehung überwiegend auf die Erschließungsmaßnahmen der vergangenen 15 Jahre zurückzuführen ist. Wie die Entwicklung der Schäden im Gleintal belegt, ist für diese nicht in erster Linie die unangepaßte Bauweise der Wege, sondern der Eingriff in den Hangwasserhaushalt durch den Straßeneinschnitt und die Ableitung von Oberflächenwässern an ungeeigneten Stellen mitverantwortlich. Die bestehenden Erosionsflächen stellen einerseits aufgrund der fehlenden Vegetation und des veränderten Wasserhaushaltes bevorzugte Angriffsflächen für weitere Abtragsvorgänge dar, andererseits sind durch die Umlagerungsprozesse Feststoffherde in Talnähe entstanden, die potentielle Ausgangspunkte für Murgänge bilden und damit die gesamte Problematik der Wildbachaktivität, die in der Vergangenheit in diesem Raum nur in extremen Ausnahmefällen von Bedeutung war, aufleben lassen.

Literatur

- BECKER L.P. 1979: *Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50.000, Blatt 162 Köflach*. Wien, Geologische Bundesanstalt
- BECKER L.P. 1980: *Erläuterungen zur Geologischen Karte, Blatt 162 Köflach*. Wien, Geologische Bundesanstalt
- BUCHROITHNER M. 1984: *Karte der Landsat-Bildlineamente von Österreich 1:500.000 (mit Erläuterungen)*. Wien, Geologische Bundesanstalt
- DONAUBAUER E. 1989: *Das Walderkrankungssyndrom im Gleinalmgebiet*. Wien, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, (163/I): 5-9
- HAUSWIRTH E.K. & SCHEIDECKER A.E. 1980: *Tektonische Vorzeichnung von Hangbewegungen im Raum von Badgastein*. Tagungspublikation Interpraevent 1980, Bd. 1, 159-178.
- LAZAR R., PROSKE H. & TRINKAUS P. 1994: *Erfassung und Darstellung geogen bedingter Boden- und Gebirgsinstabilitäten unter besonderer Berücksichtigung einer Katastrophenvorsorge*. Graz, Joanneum Research (unveröffentl. Endbericht).
- SCHUMACHER R. 1972: *Die Geologie des Südwest-Randes des Gleinalm-Massivs*. Graz, Universität Graz (unveröffentl. Diss.).
- TOLLMANN A. 1977: *Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild*. N.Jb. Geol. Paläont. Abh. Stuttgart, (153/1): 1-27.

Verfassers: Mag. Herwig Proske
Joanneum Research
Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung
Elisabethstraße 16-18
A-8010 Graz

Analyse eines Wildbach-Schadensereignisses im Einzugsgebiet des Wetzelsbergerbaches (Steiermark)

P. ANDRECS & H. GOTTSCHLING

Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

Kurzfassung. Eine der Zielsetzungen des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung ist es, im Rahmen des Projektes "Katastrophenuntersuchungen in Wildbächen" Erfahrungsmaterial über Ursachen und Ablauf von Wildbach-Schadensereignissen zu gewinnen. Ausgehend von einem Schadensereignis des Jahres 1995 (Wetzelsbergerbach (Gemeinde St. Georgen ob Judenburg; ST)) werden im folgenden Bericht Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt. Dabei erfolgt einerseits eine ausführliche Beschreibung des Schadenshergangs, andererseits werden die in der Praxis zur Verfügung stehenden Methoden der Ermittlung von Geschwindigkeit und Kubatur solcher Ereignisse beurteilt.

Schlüsselworte: Wildbach-Schadensereignisse, Geschiebefracht, Gefahrenzonenpläne

Abstract. [Analysis of a Torrent Damage in the Watershed Area of the Wetzelsbergerbach (Styria).] One of the objectives of the Institute of Avalanche and Torrent Control is to obtain data about causes and circumstances of torrential damage events in the course of the project "Investigations of torrential catastrophes". Starting from an event in 1995 (Wetzelsbergerbach (municipality of St. Georgen ob Judenburg, Styria)), the following report describes results of those investigations. A detailed description of course and circumstances of the damage event is given and the methods that are available in practice to determine their velocity and cubature are assessed.

Keywords: Torrential damage events, sediment discharge, risk zoning

Einleitung

Grundlage für diesen Bericht stellen Erhebungsarbeiten im Anschluß an ein Wildbach-Schadensereignis dar: Ein Hochwasserereignis im Zuständigkeitsbereich des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Gebietsbauleitung Oberes Murtal, verursachte in der Nacht vom 1. zum 2. Juli 1995 zahlreiche Schäden in der Gemeinde St. Georgen ob Judenburg (ST). Gemeinsam mit Dipl. Ing. PÖLLINGER von der Gebietsbauleitung und Dr. HÜBL vom Institut für Wildbach- und Lawinenschutz der Universität für Bodenkultur erfolgte am 10. Juli eine Begehung des betroffenen Einzugsgebietes. Eine am darauffolgenden Tag von den Autoren durchgeföhrte neuere Begehung des Einzugsgebietes diente der Aufnahme von bachspezifischen Parametern als Ausgangspunkt für die Gegenüberstellung verschiedener Berechnungsverfahren.

1. Aufbereitung des über den Bach bereits vorhandenen Informationsmaterials sowie der bei den Begehungen gewonnenen Erkenntnisse

1.1 Lage und Charakteristika des Einzugsgebietes Wetzelsbergerbach

Der Wetzelsbergerbach ist ein linksufriger Zubringer der Mur und entwässert den südlichen, 1 km² großen, kesselförmigen Bereich des Wetzelsberges (1276 m). Die Bachlänge kann mit ca. 1,5 km angegeben werden, wobei der Ursprung in ca. 1080 m, die Mündung in die Mur bei einer Höhe von 718 m liegt. Bezüglich der Bachbeschreibung sei aus dem im Jahre 1989 genehmigten Gefahrenzonenplan zitiert:

"Der Bach hat einen deutlichen, aber alten Schwemmkegel aufgebaut, in den er sich derzeit



Photo 1: Das Einzugsgebiet des Wetzelsbergerbaches.

eintieft. Rezente Aufträge sind nicht wahrnehmbar. Am Schwemmkegelhals (Kapelle in 770 m) beginnt eine Schluchtstrecke, deren Sohle stark verfüllt ist. Die Einhänge sind oft vernässt und neigen insbesondere im Unterhang zu Abrutschungen und sind teilweise bis 10 m hoch angerissen.

Weiters ist allgemein ein starker Anfall von Unholz in Form von Schwemmhölzern, Wurzelstöcken etc. zu bemerken. Besonders um 900 m ist eine Verfüllung mit Schneedruckhölzern gegeben. Um 870 m ist eine Verflachung oberhalb einer Felsstufe zu beobachten, welche einen Ansatzpunkt für Verklausungen darstellt. Insgesamt hält der Charakter einer stark verfüllten, ausräumbaren Schluchtstrecke bis ca. 1000m an. Dieser Bach kann als der am meisten verwilderte unter den Bächen der Sonnseite angesprochen werden und kann als murfähig eingestuft werden."

1.2 Geologie des Einzugsgebietes

Das Einzugsgebiet des Wetzelsbergerbaches liegt in den steirischen Zentralalpen nördlich des breiten, West-Ost verlaufenden, glazialangelegten Murtales. Der Höhenzug um den Ort Wetzelsberg wird im

Nordosten vom Pölsatal, im Süden vom Murtal begrenzt und bildet eine kristalline Mittelgebirgslandschaft mit Höhen von 1250-1500 m (Gerschkogel, Wetzelsberg, Wagnerkogel und Habring). Das Gebirge, nach TOLLMANN als Mittelostalpin zu bezeichnen, besteht aus Altkristallin und ist im nördlichen Bereich aus höher metamorphen Steinsserien aufgebaut. Am häufigsten sind Biotitschiefer vertreten, in die Amphibolite, Marmore und Quarzite in mächtigen Zügen eingeschaltet sind. Die Biotitschiefer kommen als dunkelgraue bis schwarze, schiefrige Gesteine vor. Sie bestehen aus Glimmer, Feldspat, Quarz und teilweise Granat. Die vorkommenden Kalkschiefer wurden in der Metamorphose mit den Biotitschiefern gebildet. In die Biotitschiefer sind noch größere Linsen von hell- bis dunkelgrau gefärbten Silikatmarmoren eingefaltet.

Der Wetzelsbergerbach selbst ist durch eine Nord-Süd-Störung entstanden. In diesen störungsbedingt vorgezeichneten Graben wurde in der Eiszeit sowohl Moränen- als auch autochthones Schuttmaterial abgelagert. Dieses Material wurde am Ende der Glazialzeit durch das Abschmelzen des Murgletschers abgetragen und ausgeräumt. Ober- und Mittellauf des Wetzelsbergerbaches bestehen aus steilen, in der

Postglazialzeit gebildeten Grabenabschnitten. Die im Bach vorhandenen Steilstufen aus Marmoren wurden in der Abschmelzphase des Gletschers gebildet.

Das Verwitterungsmaterial ist in diesen Bereichen 10-20 m mächtig. Das Gestein ist z.T. völlig zerstört und nur mehr als grusiges, sandiges Material mit geringem Tonanteil und einzelnen Gerölle als Härtlingsauslese zu erkennen. An einer durch das Schadensereignis entstandenen Erosionsrinne (siehe auch Photo 5), die in den Wetzelsbergerbach entwässert, wurden gutgerundete Geröllhärtlinge (Amphibolite, Quarze und Feldspat-Glimmerschiefer) gefunden.

1.3 Das Schadensereignis vom 2. Juli 1995

1.3.1 Witterungsmäßige Ausgangslage

Der dem Schadensereignis vorangegangenen Monat Juni wurde von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik als "überwiegend kühler und in weiten Landesteilen niederschlagsreicher Frühsommermonat" eingestuft. Ein Großteil der Niederschläge fiel bei Gewittern und Schauern - ein Umstand, der die Übertragbarkeit von Niederschlagsmeßwerten von Meßstationen auf benachbarte Gebiete erschwerte. Die dem Einzugsgebiet am nächsten gelegene Niederschlagsmeßstation des Österreichischen Hydrographischen Dienstes ist Unzmarkt - die Luftlinie zum Einzugsgebiet beträgt ca. 6 km. In Unzmarkt zeichnete der Ombrometer für den Juni eine Gesamtniederschlagssumme von 103,6 mm auf. Dieser Wert entspricht ziemlich genau dem aus einer 40jährigen Meßperiode abgeleiteten Mittelwert (106,9 m) für diesen Monat. (Zum Vergleich dazu: die höchste Niederschlagssumme für den Juni wurde 1973 mit 189 mm gemessen.) Erst in den letzten drei Junitagen herrschte niederschlagsfreies sommerliches Schönwetter.

Der konkrete niederschlagsspezifische Auslöser für das Wildbach-Schadensereignis war ein ca. einstündiges Gewitter am 2. Juli um 2 Uhr nachts. Ein Augenzeuge berichtete, daß die "Regentropfen mit solcher Wucht niedergingen, daß man den Eindruck bekam, sie würden vom Boden wieder zurückprallen." Anhaltspunkte für eine direkte Rekonstruktion der Niederschlagsintensität im Einzugsgebiet boten sich aller-

dings keine. Die Meßstation Unzmarkt verzeichnete für den 1. und 2. Juli 1995 Tagesniederschläge von 14,7 mm bzw. 6,3 mm. Diese keineswegs auffälligen Tageswerte verdeutlichen einmal mehr die Problematik, die sich bei räumlich begrenzten, kurzen Starkregenereignissen im Zusammenhang mit der hydrologischen Beurteilung kleiner Einzugsgebiete ergibt.

1.3.2 Ablauf und Auswirkungen des Schadensereignisses

Im oberen Einzugsgebiet entstanden oberhalb eines Güterweges zwei größere Hanganbrüche von jeweils 8-10 m³. Ca. 30 m unterhalb dieser Stelle kam es entlang einer Böschungskante ebenfalls zu mehreren, allerdings kleineren Muschlanbrüchen, deren Gesamtkubatur auf 8 m³ geschätzt wurde (Photo 2). Ebenso wie auch bei den Anbrüchen oberhalb der Straße kam das dabei gelöste Material (Feinmaterial) in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Ablagerung.

Photo 2: Anbrüche ober- und unterhalb der Straße im oberen Teil des Einzugsgebietes.

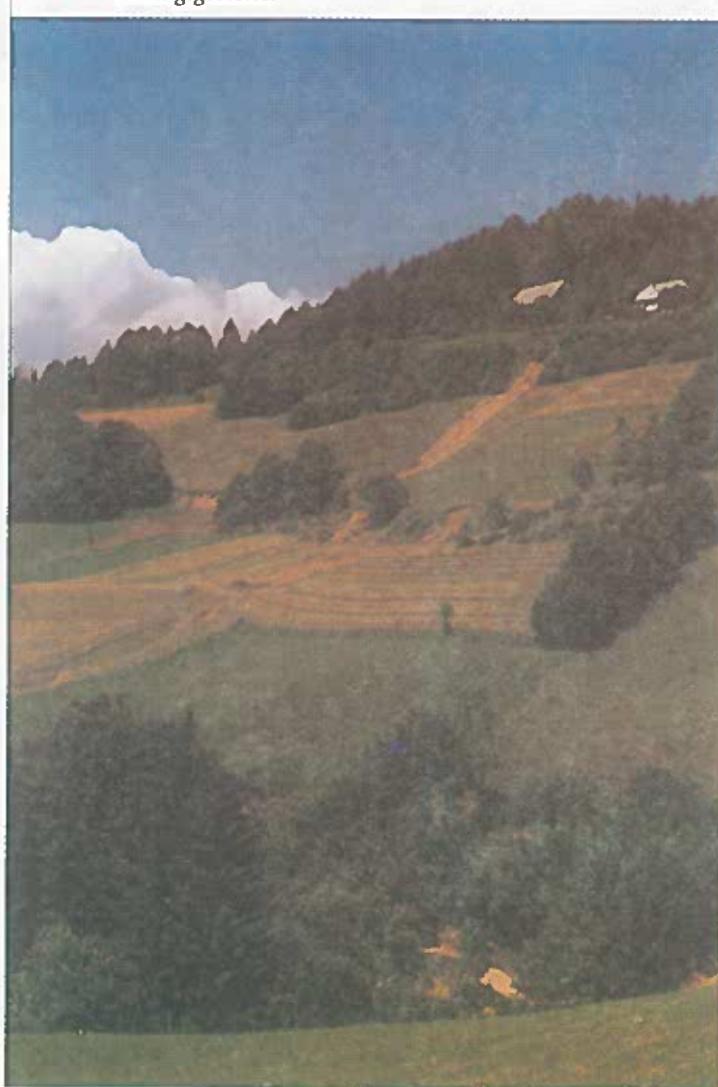
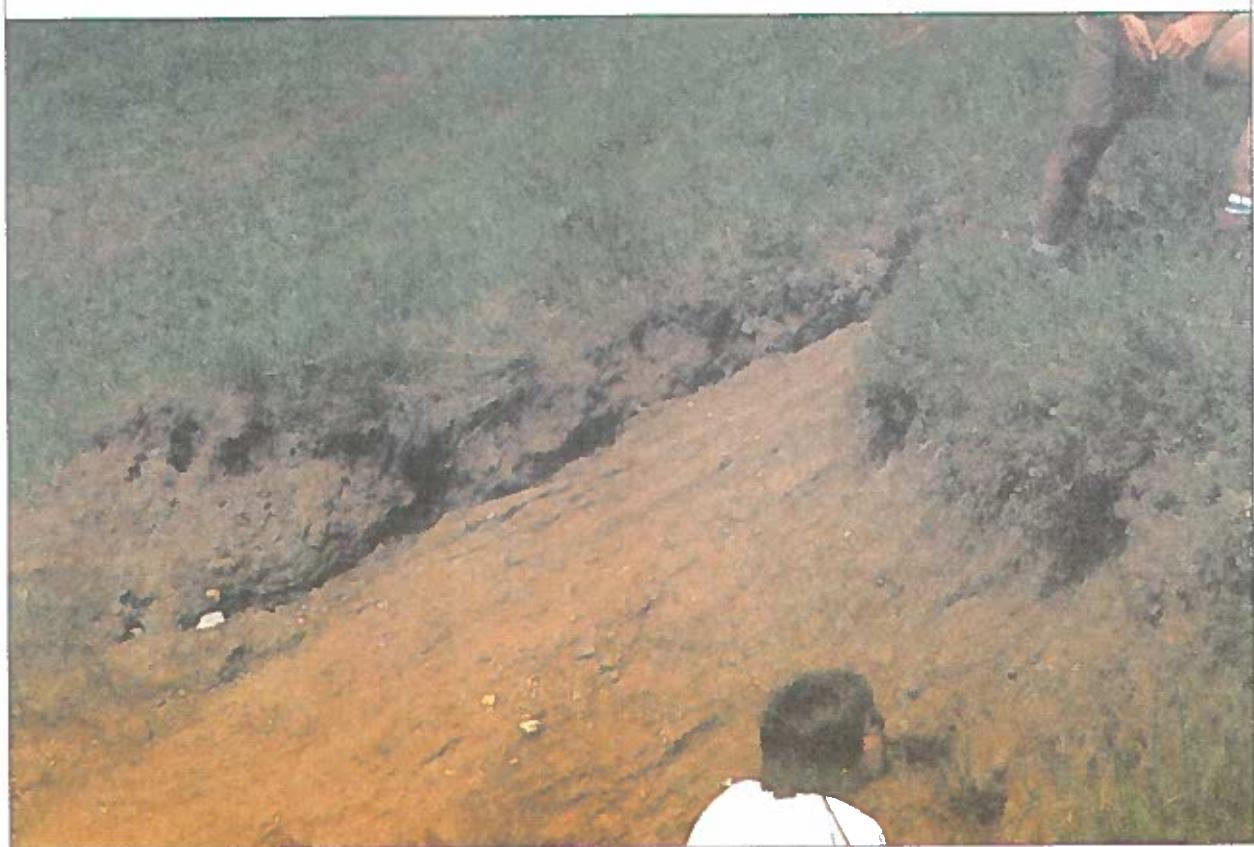




Photo 3: Hanganbrüche an einer Terrassenkante im oberen Teil des Einzugsgebietes.

Photo 4: Nahaufnahme eines auf Photo 3 ersichtlichen Anbruches.



An einer weiter östlich gelegenen alten Pflugterrasse kam es ebenfalls zu Hanganbrüchen (Photo 3). Der Boden dieses Standortes kann als seichtgründige Feinbraunerde bezeichnet werden, die sich deutlich vom darunterliegenden Verwitterungsmaterial abhebt. Der Umstand, daß diese Felsbraunerde aufgrund der Grasnarbe einen höheren Erosionswiderstand als das darunterliegende, feinsandige Verwitterungsmaterial besitzt, führte dazu, daß das in Höhe des einheitlichen Graswurzelhorizontes in ca. 20-30 cm Tiefe abfließende Hangwasser Abbrüche verursachte (Photo 4).

Das Gesamtvolumen dieser Anbrüche wurde auf ca. 5 m³ geschätzt. Das Abtragsmaterial wurde größtenteils in einem direkt unterhalb in einer Hangverebnung angelegten Gemüsegarten abgelagert und nur zu einem geringen Prozentsatz dem Wetzelsbergerbach zugeführt.

Westlich von diesen Anbrüchen ist im Vordergrund des Photos 3 auch eine Erosionsrinne zu erkennen, die durch den konzentrierten Angriff von Oberflächenwasser entstanden ist. Dabei prägte sich ein treppenförmiges Längsprofil aus, wobei sich das

Wasser bis zu 50 cm in die Wiese eingetieft hatte. Es wurde dabei sandiges Verwitterungsmaterial freigelegt, wobei auch eine Härtlingsauslese der Gesteine bis zu einer Größe von 10 cm³ stattfand. Um ein Fortschreiten der Tiefenerosion an diesen Punkten zu verhindern, wurden diese Stellen nach dem Schadensereignis von dem Grundstücksbesitzer mit Steinen abgesichert (Photo 5).

In Anbetracht der Gesamtblagerungsmenge des Schadensereignisses, welche von Gebietsbauleiter BARTOLEIT in einer am Tag nach dem Ereignis durchgeführten Begutachtung auf 3.000 m³ geschätzt wurde, kann die gesamte Materialzufuhr aus dem obersten Einzugsgebiet als unbedeutend eingestuft werden. Das Geschiebe des Schadensereignisses stammte vielmehr aus dem unmittelbaren Bachbereich.

Der Bachlauf selbst ist durch sehr steile Grabeneinhänge gekennzeichnet, die durch das Vorhandensein einer 10-20 m mächtigen, grusigen, auf dem Altkristallin dieses Gebietes aufliegenden Verwitterungsdecke erklärbar sind. Photo 6 vermittelt einen Eindruck von der Steilheit der Grabeneinhänge.

Photo 5: Schmale, durch konzentrierten Oberflächenwasserabfluß entstandene Erosionsrinne.



Photo 6: Grabeneinhänge des Wetzelsbergerbaches.





Photo 7: Durch das Schadensereignis verursachte Seitenerosion.

Photo 8: Natürlicher Seitenerosionsschutz durch Pflanzenwurzeln.



Durch Hangfußunterschneidungen kam es an zahlreichen Stellen zu Abrutschungen. Die größte dieser Abtragsflächen stellte in ca. 900 m Höhe eine bis zur Böschungsoberkante reichende, ca. 30 m lange und 10 m breite Hangrutschung dar, die zwar nicht tiefgründig war, trotzdem jedoch ausreichte, einige Bäume, darunter auch eine Tanne von ca. 50 cm BHD, abrutschen zu lassen (siehe ebenfalls Photo 6).

Den eigentlichen Geschiebeherd stellte die starke Bachverfüllung sowie die im nahezu dem gesamten Bachlauf durch Seitenerosion angerissenen Bachufer (Photo 7) dar. Anhand von Photo 8 lässt sich die Widerstandskraft, die starke Durchwurzelung einem Erosionsangriff entgegenzusetzen vermag, erahnen.

In der Schluchtstrecke verläuft der Bach auf Marmorzügen, wobei während des Schadensereignisses das bachverfüllende Material beinahe auf der ganzen Länge vollständig ausgeräumt wurde. Durch die Erosionstätigkeit am Unterhang verursacht, präsentierte sich der Bach nach dem Schadensereignis in weiten Bereichen einem Felskanal ähnelnd (Photo 9).

An einigen Stellen entlang des Baches konnten an Erosionsaufschlüssen bis zu vier verschiedene, begrabene Bodenhorizonte festgestellt werden, die auf bereits früher stattgefundenen Überdeckungsergebnisse hinwiesen. Besonders deutlich war dies in einem Bachabschnitt unterhalb der Einmündung eines westlichen Seitengrabens in den Wetzelsbergerbach zu erkennen. Knapp vor dieser Einmündung wurden in diesem Seitengraben Holzkohlebruchstücke freigelegt. (Nach Auskunft einer Ortsansässigen war im Bereich des Wetzelsbergerbaches bis vor ca. 30 Jahren eine Schmiede vorhanden.)

Aufgrund von Bachbegehungen und der dabei durchgeführten Erstellung einer Geschiebebilanz wurde das Geschiebepotential für das 150jährige Bemessungsergebnis der Gefahrenzonenplanung von Bartoleit mit 3.100 m³ angenommen. Das Schadensereignis vom 2. Juli 1995 entsprach nach Schätzungen ziemlich genau dieser Kubatur. Im Zusammenhang

mit geschätzten Jährlichkeiten von Schadensereignissen sei an dieser Stelle auch ein Bezug zu der am Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der FBVA installierten Datenbank der Hochwassermeldungen der WLV des Zeitraumes 1972-1993 hergestellt: In dem angeführten Zeitraum wurden in der Steiermark insgesamt nur sechs Wildbach-Schadensereignisse als über 100jährlich eingestuft. Nur ein einziges entfiel dabei auf die Gebietsbauleitung Oberes Murtal, nämlich das Schadensereignis vom 12. 06. 1977 im Kühbach (Gemeinde St. Lambrecht).

In Höhe des Leitnerhofes (810 m) befindet sich unmittelbar vor einem Steilabfall eine flachere Bachstrecke, wo eine Aufschließungsstraße den Bach mittels einer Furt quert. Auf einer Fläche von ca. 100 m² erfolgte hier eine erste größere Geschiebeab-

*Photo 9:
Bachbett nach dem Schadensereignis vom 2. Juli 1995 unterhalb des Leitnerhofes.*



lagerung, wobei ein landwirtschaftlicher Anhänger beschädigt wurde (Photo 10).

Das Geschiebe verlegte die Furt, außerdem wurde ein Teil des Güterweges in diesem Bereich zerstört. Der größte auf dieser Fläche abgelagerte Block ist ebenfalls auf Photo 10 erkennbar - seine Kubatur wurde auf $0,15 \text{ m}^3$ geschätzt. Das Wohngebäude blieb von Schäden verschont, lediglich der Eingangsbereich eines als Stall und Scheune dienenden landwirtschaftlichen Gebäudes wurde mit Schlamm verlegt, war aber zum Zeitpunkt der Begehung schon wieder intakt.

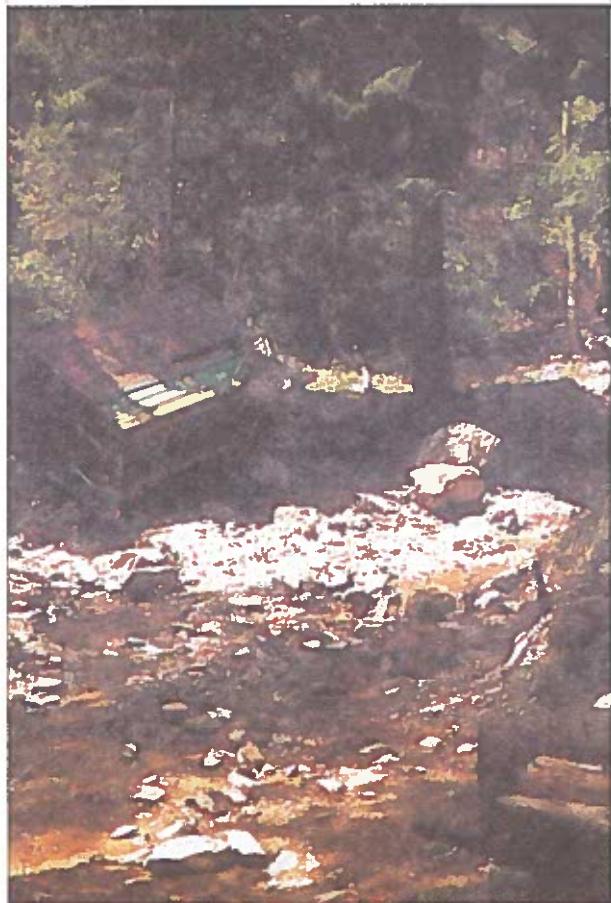
Am Ende der Schluchtstrecke baute der Bach auf einem gegenüber dem jetzigen Bachverlauf um ca. 1,5 m überhöhten, rechtsufrigen Bereich einen ersten kleinen Schwemmkegel mit einer Gesamtkubatur von einigen Kubikmetern auf. Das Gefälle dieses Bereiches entsprach dabei jenem des Hauptablagerungsortes.

Am Ende des Schwemmkegelhalses kreuzt der Güterweg zum Leitnerhof den Bach, der an dieser Stelle mittels eines Betondurchlasses von 50 cm Durchmesser unterhalb der Straße durchgeführt

wird. In Anbetracht des hohen Unholzanteiles des Schadensereignisses kommt dabei einer Diskussion über die Rohrdimensionierung sicherlich nur nachgeordnete Bedeutung zu. Während des Schadensereignisses wurde dieses Rohr sehr rasch verlegt, die Geschiebemassen wurden aufgestaut und in weiterer Folge murenähnlich über die Straße transportiert. Dabei wurde auch die betonierte Stirnwand unterhalb der Straße rechtsufrig herausgerissen. Die Höhe des Geschiebestromes ließ sich an dieser Stelle anhand der kleinen Kapelle gut nachvollziehen: die Kapelle war an der Rückseite bis zu 50 cm hoch angerissen, die Schlammsspritzen reichten bis knapp über 2 m hinauf (Photo 11).

Der Schwerpunkt der Schädigungen lag unterhalb des Schwemmkegelhalses im direkten Ortsbereich des Dorfes Obere Einöd. Hier lagerten sich geschätzte 2/3 der Geschiebemassen auf einer 9,5 % geneigten, ca. 160 m langen und bis zu 30 m breiten Fläche unterhalb der Straße ab, wobei insbesondere die großen Blöcke (bis $0,3 \text{ m}^3$) dort zum Stillstand kamen. Angesichts der zum Zeitpunkt der Begehung bereits fortgeschrittenen Aufräumungsarbeiten war

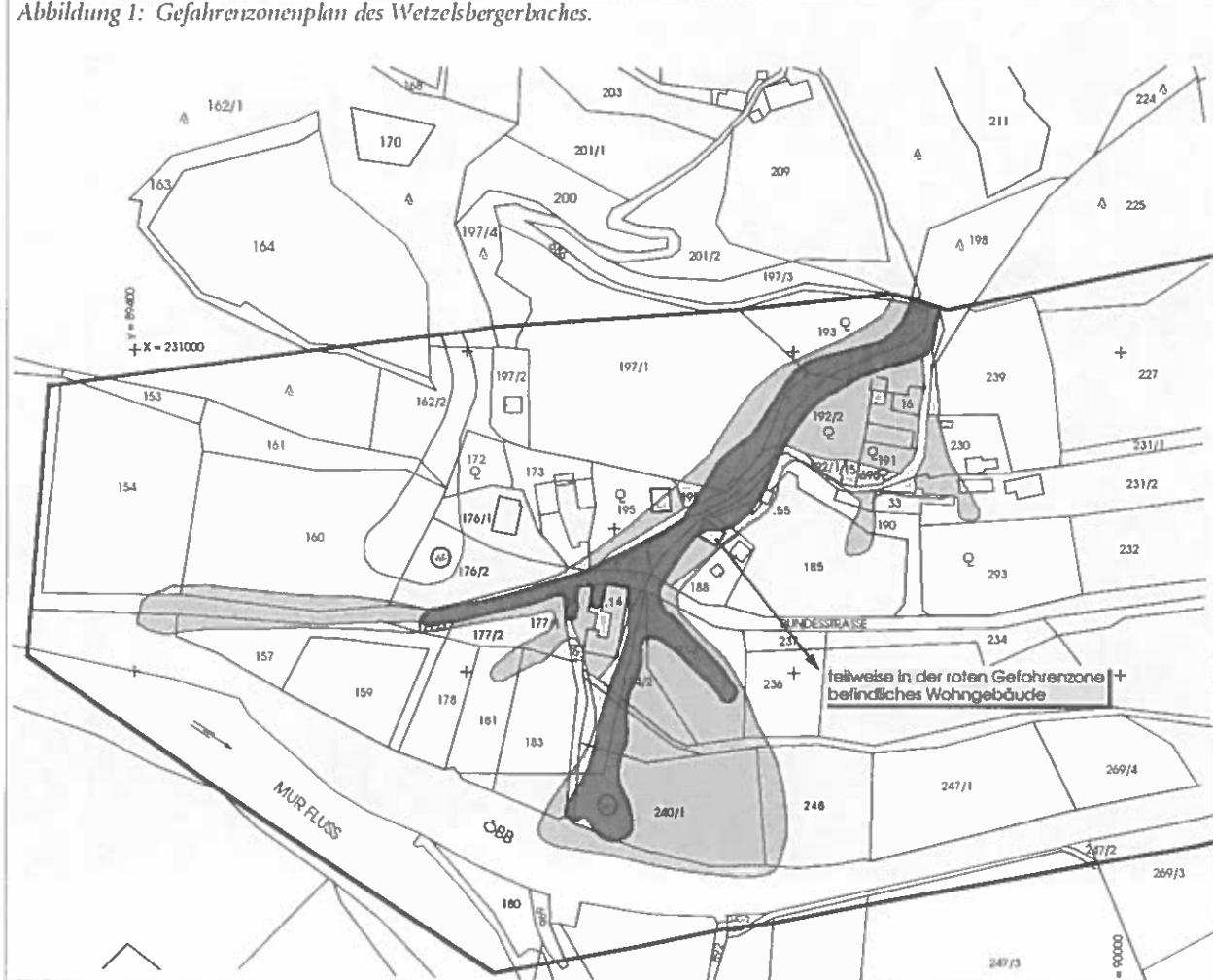
*Photo 10:
Geschiebeablagerung im Nahbereich des Leitnerhofes.*



*Photo 11:
Kleine, rechtsufrig am Schwemmkegelhals befindliche Kapelle.*



Abbildung 1: Gefahrenzonenplan des Wetzelsbergerbaches.



eine exakte Beurteilung der Ablagerungsformen schwierig. Es fehlten jedoch die für Muren typischen ablagerungsmorphologischen Kennzeichen: so waren weder ein Murkopf, noch seitlich begrenzende Murfirste zu erkennen. Das Schadensereignis ist daher nicht als ein Mureneignis im engeren Sinn zu klassifizieren, es könnte vielmehr als Wildbach-Schadensereignis mit sehr starker Geschiebeführung bezeichnet werden. Zweifelsohne kam es jedoch an der auf Photo 11 ersichtlichen Stelle infolge der Verlegung des Rohrdurchlasses zu einem zeitweiligen Geschiebestau, wodurch die Geschiebeführung in diesem Bereich murenähnlichen Charakter bekam.

Am unteren Rande dieser großen Ablagerungsfläche begann sich der Geschiebestrom zu teilen. Der linke Teil erfaßte dabei ein auf Parzelle 187 errichtetes Wohngebäude, welches teilweise im roten Bereich der Gefahrenzonenplanung (Bauverbotszone) liegt (Abbildung 1).

Der Bach wird wenige Meter vor diesem Haus in einem dem natürlichen Bachlauf nicht entsprechenden Linksbogen an dem Gebäude vorbeigeführt

und mittels eines ca. 20 m langen Rohres (Durchmesser 50 cm) unterhalb der Hauszufahrten durchgeleitet (Photo 12). Wie wenig diese Maßnahme im Hochwasserfall Unheil von dem Haus abhalten konnte, wird durch Photo 13 veranschaulicht, wo, aus etwas größerer Entfernung aufgenommen, dieser Rohrdurchlaß eigentlich gar nicht mehr zu erkennen ist. Deutlich ist auf diesem Photo hingegen der große Anteil des Wildholzes an den Ablagerungen ersichtlich. Auch die Höhe der Schlammbefleckung am Wohngebäude ist gut erkennbar.

Die bei den nordöstlichen Kellerfenstern eindringenden Geschiebe- und Schlammassen vermurten den Stiegenaufgang und Kellerbereich des Hauses bis auf eine Höhe von einem halben Meter, rissen Türen in dieser Höhe ab und bahnten sich an der Rückseite des Hauses durch Zerstörung der dortigen Türen wiederum ihren Weg nach außen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit es sinnvoll ist, Teile von Wohngebäuden verschiedenen Gefahrenzonen zuzuordnen, sofern nicht gebäudebauliche Maßnahmen eine solche Differenzierung rechtfertigen.

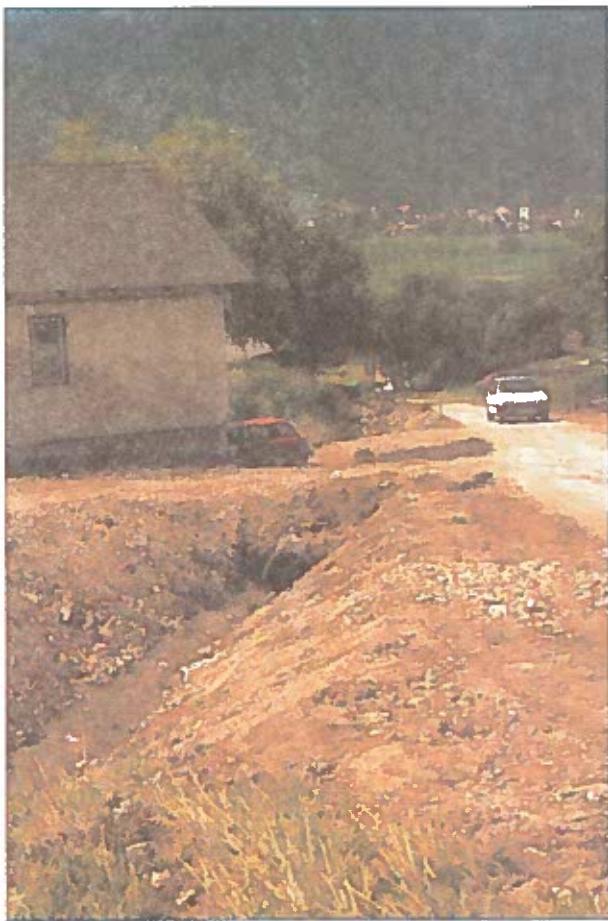


Photo 12 (links oben) und 13 (unten):
Wohngebäude auf Parzelle 187.

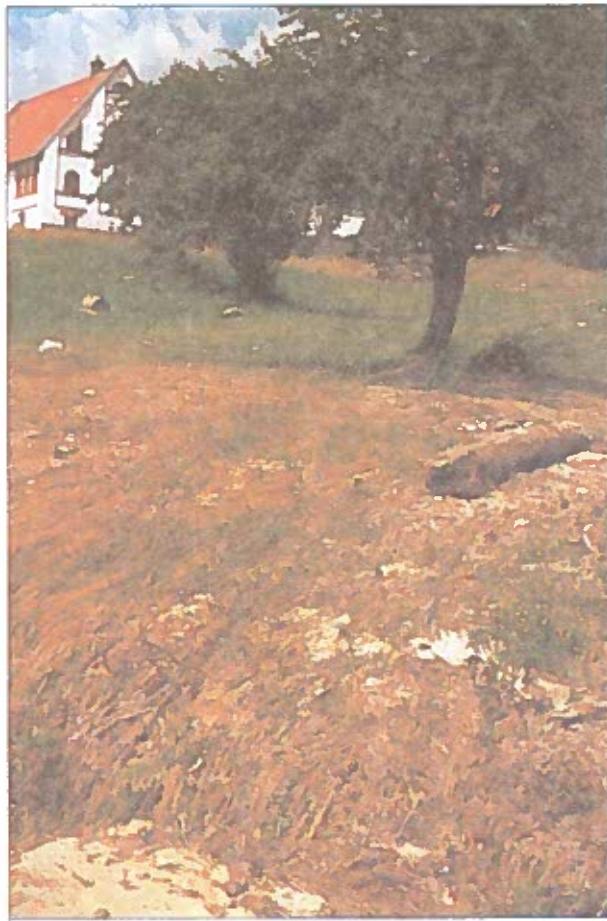


Photo 14: Geschiebeablagerung im Nahbereich des Vorfluters.



tigen. Hätten sich zum Zeitpunkt des Unglücks Personen in dem, der gelben Zone zugerechneten Kellerbereich des Hauses aufgehalten, so hätte es wahrscheinlich Todesopfer gegeben. Im gegenständlichen Fall blieben die Hausinsassen durch das, nach ihren Aussagen "ungewöhnliche und laute Rauschen des Baches" vorgewarnt, von körperlichen Schäden verschont, ihr finanzieller Verlust ist in Anbetracht eines fehlenden Versicherungsschutzes jedoch beträchtlich. Die Baubewilligung für dieses Gebäude liegt ca. 20 Jahre zurück. Obwohl zu diesem Zeitpunkt noch kein Gefahrenzonenplan vorhanden war, erscheint diese Bewilligung als ausgesprochen fragwürdig bzw. scheint sie die Notwendigkeit der Gefahrenzonenplanung eindrücklich zu bestätigen.

Für die Geschiebemassen kann die Funktion dieses Wohngebäudes überspitzt als die eines Murbrechers bezeichnet werden. Die geschiebestromlenkende Wirkung des Gebäudes war sicherlich auch mitverantwortlich dafür, daß ein Teil des Geschiebes in weiterer Folge in östlicher Richtung entlang der Bundesstraße abfloss. Der Transport des direkt rechts und links des Hauses vorbeifließenden Geschiebes erfolgte in südlicher Richtung und querte dabei die Bundesstraße (B 114). Der Geschiebestrom folgte einerseits dem ursprünglichen Bachbett, andererseits drang er unter Beschädigung der Gemeindestraße flächenhaft, einen Großteil der in der Gefahrenzonenplanung gelb umrahmten Fläche umfassend, bis zum Bahndamm vor. Auf dieser flachen Auslaufstrecke lagerten sich auch die verbliebenen Geschiebemengen ab. Das Geschiebe bestand in diesem Abschnitt überwiegend aus Feinmaterial, allerdings waren auch zahlreiche Steine (bis zu ca. 0,03 m³) sowie mitgeschwemmtes Wildholz zu erkennen (Photo 14).

Ein Teil des Geschiebes wurde entlang der Bundesstraße in östliche Richtung hin abtransportiert. Einiges Material (vor allem Wildholz in größerem Umfang) wurde nach ca. 100 m in südliche Richtung über die Felder zur Mur hin transportiert. Ca. 200 m weiter in Richtung des Bahnhofes St. Georgen ob Judenburg kam es zu einem Zugsunglück. Schlamm und Schotter aus dem westlich des Wetzelsbergerbaches gelegenen Gieferbaches lagerten sich auf dem Gleiskörper ab und ließen eine aus Richtung Judenburg kommende Lok der ÖBB entgleisen. Die Lok kam erst nach ca. 600 m Fahrt (dabei ca. 1.000 Betonschwellen zerstörend) neben den Gleisen zum Stillstand. Es kann in diesem Fall jedoch noch von großem Glück gesprochen werden, daß die Lok auf der dem Bahnsteig gegenüberliegenden Seite aus den

Gleisen geworfen wurde und somit Bahnhofseinrichtungen unzerstört blieben und etwaige Personenschäden verhindert wurden. Der Zugsverkehr mußte in diesem Bereich für einige Stunden unterbrochen werden, ein Umstand, der zu medialer Präsenz dieses Wildbach-Schadensereignisses führte. Nach Angaben der ÖBB-Streckenleitung Leoben beläuft sich die Kostenschätzung für die volle Wiederherstellung der Bahnanlage auf über vier Millionen Schilling.

Augenzeugen zufolge dauerte das gesamte Schadensereignis etwa eine halbe Stunde, wobei die Hauptgeschiebemassen während eines Zeitraumes von ca. zehn Minuten aus der Schluchtstrecke heraustransportiert wurden.

2. Bewertung von Methoden, die für die quantitative Berechnung des vorliegenden Wildbach-Schadensereignisses eingesetzt wurden

2.1 Formeln zur Berechnung der Geschiebefracht

Am Beispiel des Schadensereignisses des Wetzelsbergerbaches wurden verschiedene, für quantitative Aussagen zur Verfügung stehende Formeln angewandt. Zweifelsohne wird eine ausreichende Beurteilung dieser Formeln anhand eines einzigen Schadensereignisses unmöglich sein und dem Aufwand, der in der Entwicklung eben dieser Berechnungsmethoden steckt, keineswegs gerecht. Es sollen aber an dieser Stelle einige Aspekte aufgezeigt werden, die sich bei der konkreten Anwendung dieser Formeln ergeben haben.

Die drei im Anschluß vorgestellten Formeln lassen sich schon allein aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisdefinitionen ("Geschiebefracht" (HAMPEL), "Extreme Feststofffracht eines Einzelereignisses" (KRONFELLNER-KRAUS), "150jährliche Geschiebefracht" (ZEDLACHER)) nicht direkt gegenüberstellen, zielen jedoch alle darauf ab, mittels bestimmter Ausgangsparameter Schlußfolgerungen über Gefahrenpotentiale zu ermöglichen.

2.1.1 Berechnung der Geschiebefracht (HAMPEL 1990)

Die von HAMPEL in langjähriger Arbeit kontinuierlich modifizierte Formel wurde in der 1990 publizierten Form verwendet, welche folgendermaßen lautet:

**Geschiebefracht (GF) =
Hochwasserfracht (HW) • Geschiebeanteil (G%)**

Die Hochwasserfracht definiert sich auf folgende Weise:

$$HW = E \cdot h_{100} \cdot \psi_0 \cdot (1 - H_u / 2400)$$

E = Einzugsgebietsgröße [km²]
h₁₀₀ = 100jährlicher 24-Stunden-Regen [mm]
H_u = Seehöhe des Talbodens im Bereich der Mündung [m]
ψ₀ = Abflußreduktion durch Versickerung

Bei dieser Berechnungsmethode ergeben sich neben dem oftmaligen Fehlen geeigneter Niederschlagsmeßwerte, der Anschätzung der Abflußreduktion und der Tatsache, daß die durchschnittliche Regenintensität mit zunehmender Einzugsgebietsgröße abnimmt, auch alle anderen Problematiken der Hochwasservorhersage.

Die Formel für den Geschiebeanteil beinhaltet als Parameter das Gefälle des Schwemmkegels (J%) sowie den Durchmesser des Mittelkornes (d_m) und lautet:

$$G\% = \left(\frac{J\% - 55 d_m^{1.65}}{3.6} \right)^{(0.42 - 0.4 d_m)^{-1}}$$

Das Gefälle des Schwemmkegels wird dabei als Wert betrachtet, der als "Visitenkarte" des Wildbaches die Steilheit des Gerinnes, den Geschiebeanteil und Korngrößenmitteldurchmesser auf bestimmte Art und Weise inkludiert, wobei HAMPEL Beziehungen zwischen diesen Größen anhand seiner Modellversuche (1968) ableitete. Für den Fall, daß keine Geschiebeanalysen zur tatsächlichen Bestimmung des Mittelkorndurchmessers vorliegen, schlägt HAMPEL die Annahme eines Mittelkorndurchmessers von 0,1 m vor.

Anhand von Geschiebepotentialsbewertungen in der Natur stellte HAMPEL fest, daß die Geschiebefrachtformel unter Hinzunahme eines Korrekturgliedes (13/J%) bessere Werte liefert. Unter Einbeziehung dieses Korrekturfaktors und unter Annahme eines Mittelkorndurchmessers von 0,1 m stellt sich die endgültige Formel für die Geschiebefracht folgendermaßen dar:

$$GF = \frac{4,47 \cdot E \cdot h_{100} \cdot \psi_0 \cdot (1 - H_u / 2400) \cdot (J\% - 1,23)^{2,63}}{J\%}$$

Für das Schadensereignis des Wetzelsbergerbaches wurden nun für die einzelnen Parameter folgende Werte in Rechnung gestellt:

E = 1 km²
h₁₀₀ = Mit 95%iger Sicherheit liegt der h₁₀₀ bei 85 mm +/- 13 mm.
(Berechnung mittels Gumbelanalyse aus einer 40jährigen Meßreihe der Niederschlagsmeßstation Unzmarkt)
ψ₀ = 0,43
(50 % Waldanteil, 50 % landwirtschaftlich genutzt)
H_u = 718 m
J% = 9,5 %
d_m = 0,1 m (Vereinfachung nach HAMPEL)

Anhand dieser Parameter ergibt sich eine Geschiebefracht von 3.120 m³ - ein Wert, welcher der geschätzten Ablagerungskubatur des Schadensereignisses entspricht. Durch die Berücksichtigung des Abriebes läßt sich aus dieser Größe das gesamte Geschiebepotential ableiten:

Der Abrieb wird dabei durch die Festlegung eines Abriebkoeffizienten (s) sowie durch die Lauflänge des Geschiebes (l) formelmäßig so festgelegt:

$$A = s^l$$

Als Unsicherheitsfaktoren müssen dabei die Festlegung von s, aber auch die hohe Bedeutung der Lauflänge, die infolge des zumeist von mehreren Geschiebeherden stammenden Materials schwer richtig angesetzt werden kann, genannt werden.

Für den Wetzelsbergerbach wurde mit folgenden Werten in die Formel eingegangen:

s = 0,66 (Abriebkoeffizient der Zentralalpen)
l = 0,75 km
(Da das Geschiebe zu mehr als 90 % aus dem unmittelbaren Bachbereich stammte, wurde die halbe Bachlänge als Mittelwert angenommen.)

Aufgrund dieser Annahmen beläuft sich das Geschiebepotential des Wetzelsbergerbaches auf 4.261 m³.

Im Zusammenhang mit der Formel von HAMPEL kann es sicherlich als eine der Zielsetzungen weiterer Untersuchungen der FBVA angesehen werden, Geschiebeanalysen bei Wildbach-Schadensereignissen durchzuführen, einerseits damit an Stelle der von HAMPEL vorgeschlagenen vereinfachenden Annahme von Mitteldurchmesser = 0,1m mit dem

“wahren” Mitteldurchmesser gearbeitet werden kann, andererseits um zusätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der Geschiebekorngrößenverteilungen zu gewinnen.

2.1.2 Berechnung der extremen Geschiebefracht eines Einzelereignisses (KRONFELLNER-KRAUS 1986)

Diese Formel wurde von KRONFELLNER-KRAUS basierend auf Messungen in Mustereinzugsgebieten der FBVA sowie aufgrund von Katastrophenuntersuchungen von 1972-1982 zur Bestimmung extremer Wildbach-Feststofffrachten entwickelt und hat folgendes Aussehen:

$$GS = E \cdot K \cdot J$$

GS = Gesamte extreme Feststofffracht eines bestimmten Einzelereignisses.

E = Einzugsgebietsgröße

K = Faktor für die torrentiell (wildbachlich) wirksame Abtragshöhe oder Feststoffspende, die das Geschiebe- und Feststoffpotential, sowie den natürlichen und allenfalls künstlichen Boden- und Erosionsschutz beinhaltet. Österreichweit wird dieser Faktor in insgesamt drei zonenabhängige Werte aufgegliedert:

Zone I: Wildbäche des Tauernhauptkammes.

Zone II: Wildbäche der nördlichen und südlichen Kalkalpen, der Grauwackenzone und der niederen Tauern.

Zone III: Wildbäche mit geringem Geschiebepotential im übrigen Berg- und Hügelland, bzw. Alpenvorland.

Die K-Werte der Zone I betragen in ungünstigen Fällen (sehr große Geschiebepotentiale, mächtige Altschuttherde, Talzuschübe etc.) $K = 1500/e^{0,018 \cdot E}$

und liegen im übrigen bei $K_I = 1150/e^{0,014 \cdot E}$

Die Gleichung für K_I gilt auch für die ungünstigen Fälle der Zone II, deren Normalwerte liegen jedoch bei $K_{II} = 540/e^{0,008 \cdot E}$

Die Normalwerte der Zone III belaufen sich auf $K_{III} = 254/e^{0,0016 \cdot E}$

J = Das für die Feststofffracht maßgebliche Grabengefälle.

In diese Formel wurden für den Wetzelsbergerbach folgende Werte eingesetzt:

$$E = 1 \text{ km}^2 ; K_{II} = 536 ; J = 31 \%$$

Die daraus berechnete extreme Geschiebefracht beläuft sich somit auf 16.616 m^3 . Dieser Wert entspricht dem vierfachen des mit der Formel von

HÄMPEL berechneten Geschiebepotentials. KRONFELLNER-KRAUS betonte jedoch, daß speziell für den Übergangsbereich zwischen K_{II} und K_{III} die bestehenden Beziehungsgrößen aus einem wesentlich geringeren Datenumfang als für die anderen Zonen abgeleitet werden mußten.

Der K-Faktor bietet innerhalb der Formel die einzige Möglichkeit, die Unterschiede hinsichtlich der spezifischen Abtragsmengen (m^3/km^2) in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsfläche auszugleichen. Wie aus nachstehender Zusammenstellung hervorgeht, ist der Einfluß der Einzugsgebietsgröße auf den K-Faktor dabei allerdings nicht besonders groß:

E (km^2)	1	10	30	50	80
K_{II}	536	498	425	362	285

Diese Aufstellung läßt auch erkennen, daß der K_{II} -Faktor für Einzugsgebiete bis knapp unter 10 km^2 immer größer 500 bleiben wird und somit in Abhängigkeit von der Größe des Bachgefälles immer zu sehr hohen Ergebnissen bei der Berechnung von extremen Feststofffrachten führen wird.

In Anbetracht des großen Einflusses dieser K-Werte erscheint daher die Tatsache, daß für ganz Österreich nur drei diesbezügliche Unterscheidungsmerkmale definiert wurden, als ein begrenzender Faktor dieser Formel.

2.1.3 Berechnung der 150jährlichen Geschiebefracht für steirische Wildbäche (ZEDLACHER 1988)

ZEDLACHER ging von der Formel von KRONFELLNER-KRAUS aus und paßte diese für die regionalen Verhältnisse der Steiermark durch Neuformulierung der K-Werte an. Anhand von Daten der Gefahrenzonensätze leitete ZEDLACHER Regressionsgeraden für den Zusammenhang zwischen Einzugsgebietsgrößen und K-Werten für die fünf steirischen Gebietsbauleitungen ab. Da den Gefahrenzonensätzen 150jährige Bemessungsergebnisse zugrunde liegen, erhielten die K-Werte die Bezeichnung K_{150} zugewiesen.

Für den Wetzelsbergerbach läßt sich aus der Publikation von ZEDLACHER ein K_{150} von 96 ableiten, wodurch sich eine 150jährige Geschiebefracht von 2.976 m^3 ergeben würde. Dieser Wert entspricht ca. der Geschiebefracht nach HÄMPEL und ebenfalls den Schätzungen der Ablagerungskubaturen des Schadensereignisses.

Im Gegensatz zur Formel von KRONFELLNER-KRAUS ist jedoch bei den Regressionsgeraden von ZEDLACHER mit steigender Einzugsgebietsgröße ein Größerwerden der K_{150} -Werte zu beobachten. Die

einige Ausnahme bildet die Regressionsgerade der Gebietsbauleitung Ost- und Weststeiermark (Gbltg. 5 - siehe Abbildung 2).

Durch den Umstand, daß der K_{150} -Wert in der Formel von ZEDLACHER auch mit der Einzugsgebietsfläche multipliziert wird, hat dies zur Folge, daß bei gleichem Gefälle größere Einzugsgebiete auch größere spezifische Abtragsmengen (m^3/km^2) aufweisen. Dies bedeutet jedoch ein genaue Umkehr der von KRONFELLNER-KRAUS für die K-Werte unterstellten Zusammenhänge.

Ergebnisse der anhand der Hochwassermeldungen der WLV durchgeföhrten Untersuchungen bezüglich spezifischer Abtragsmengen weisen jedoch in Richtung der Annahmen von KRONFELLNER-KRAUS und würden großenordnungsmäßig noch eine wesentlich stärkere Abnahme der spezifischen Abtragsmengen mit zunehmender Einzugsgebietsfläche nahelegen.

Durch die geringen Anstiege der von ZEDLACHER bestimmten Regressionsgeraden (Ausnahme: Regressionsgerade der Gebietsbauleitung Mittleres Murtal und Mürztal = Gbltg. 4), schwanken die K_{150} -Werte von kleinen Einzugsgebieten ($<10 km^2$) jedoch nur gering. Diese Tatsache und der Umstand, daß ZEDLA-

CHER seinen Untersuchungen empirische Daten ganz bestimmter regionaler Gebiete zugrunde legte - was sicherlich als ein Verbesserungsansatz der Formel von KRONFELLNER-KRAUS aufgefaßt werden kann - führten daher im Falle des Wetzelsbergerbaches zu einem dem tatsächlichen Schadensereignis sehr nahe kommenden Ergebnis.

2.2 Berechnung der Geschwindigkeit des Geschiebestromes nach HAIDEN (1925, zit. nach AULITZKY 1987)

Um für das Schadensereignis vom 02.07.1995 die mögliche Geschwindigkeit des Geschiebestromes zu ermitteln, wurde auf die Formel von HAIDEN zurückgegriffen. Diese Formel basiert auf der Beobachtung, daß Murgänge infolge ihrer Geschwindigkeiten in Bogenstrecken ein zum Außenbogen hin überhöhtes Profil aufweisen. Diese Überhöhung ist anhand der sog. "Stummen Zeugen" (Ablagerungen, Baumverwundungen etc.) meßbar. Aus der Winkelgeschwindigkeit, die zu dieser Überhöhung (h) im Außenbogen führt, ergibt sich nach HAIDEN in Abhängigkeit vom jeweiligen Bogenradius (r) und der Schwerbeschleunigung (g) die an dieser Stelle maximal wirkende Geschwindigkeit folgendermaßen:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{h \cdot g \cdot r}{s}}$$

s = volle, vom Murgang benetzte Bachbreite
 g = $9,81 m/s^2$

Die Minimalgeschwindigkeit am Innenbogen beträgt

$$V_{\min} = V_{\max} \cdot \left(\frac{r - s}{r} \right)$$

Daraus wird auf eine mittlere Geschwindigkeit V_m geschlossen:

$$V_m = \frac{V_{\max}}{2} \left(1 + \frac{r - s}{r} \right)$$

Die für die Berechnung erforderlichen Parameter wurden einem knapp unterhalb einer Engstelle in ca. 800 m Seehöhe aufgenommenen Interpretationsprofil entnommen (Abbildung 3).

Abbildung 2:
Regressionsgeraden für die fünf Gebietsbauleitungen der Steiermark (ZEDLACHER 1986).

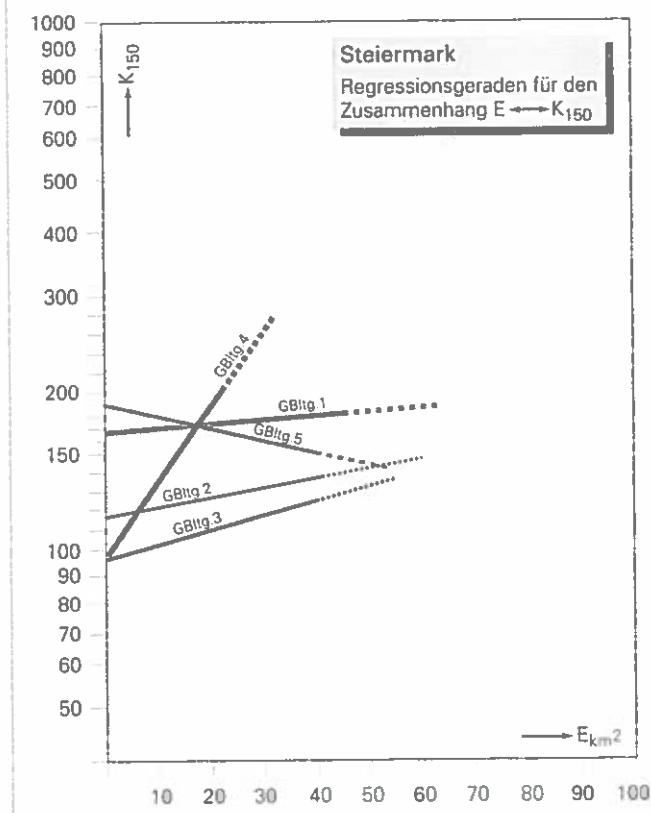
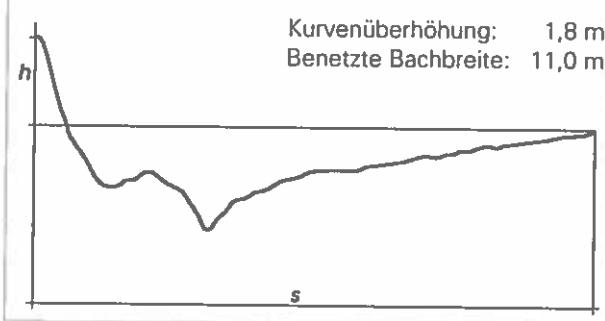


Abb. 3: Interpretationsprofil des Wetzelsbergerbaches.

Der Kurvenradius wurde durch Absteckung rechtwinkeliger Koordinaten von der Sehne aus ermittelt und betrug für diesen Bereich 45 m.

In die Formel eingesetzt ergaben diese Parameter eine Maximalgeschwindigkeit von 8,5 m/s, eine Minimalgeschwindigkeit von 6,4 m/s und eine mittlere Geschwindigkeit von 7,5 m/s. Aufgrund von Augenzeugenaussagen können diese Geschwindigkeiten als für das Schadensereignis durchaus realistische Werte betrachtet werden.

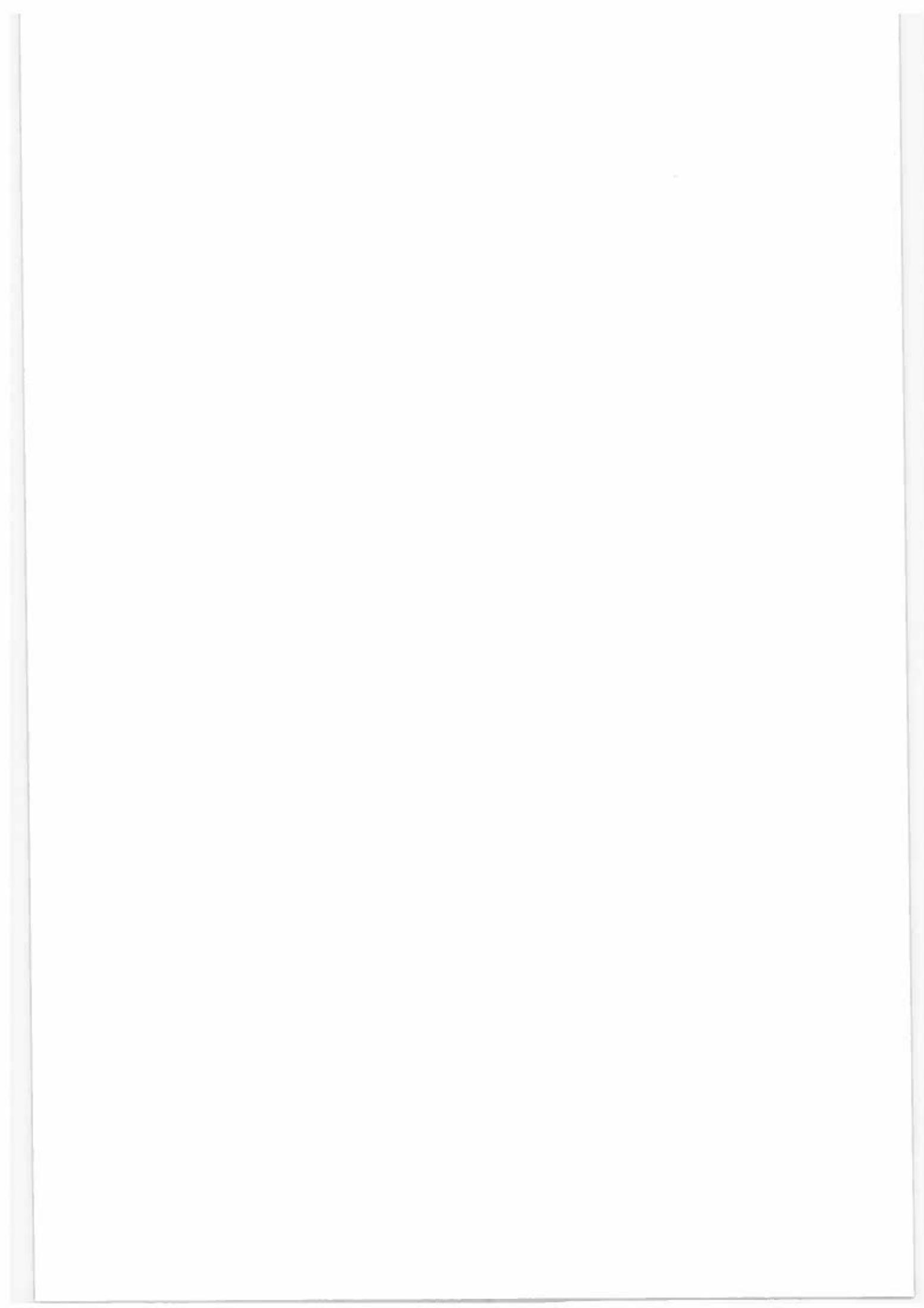
Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit entstand aus der Überlegung, stattgefundene Wildbach-Schadensereignisse aufzubereiten und in Hinblick auf die Anwendung von existierenden Berechnungsmethoden zu untersuchen. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte zunächst eine mit zahlreichen Photos versehene Schilderung des Schadenshergangs. Danach wurden die Geschiebefrachtfomeln von HAMPEL, KRONFELLNER-KRAUS und ZEDLACHER in Rechnung gestellt und mit dem Schadensereignis verglichen. Die Formeln von ZEDLACHER und HAMPEL lieferten dabei - ebenso wie die Murgeschwindigkeitsformel von HAIDEN - dem tatsächlichen Ereignis durchaus entsprechende Werte.

Literaturverzeichnis:

- AMT DER STEIRISCHEN LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG FÜR HYDROGRAPHIE 1995: *mündliche Auskunft*.
- AULITZKY H. 1987: *Studienblätter zur Vorlesung "Grundlagen der Wildbach- und Lawinenverbauung"*. Wien, Univ. Bodenkultur, Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung.
- BARTOLEIT P. 1989: *Gefahrenzonenplan für die Gemeinde St. Georgen ob Judenburg (Steiermark)*.
- BARTOLEIT P. 1995: *Antrag auf Bauprogrammerstellung*.
- HAMPEL R. 1990: *Geschiebefracht und Geschiebetrieb*. Wildbach- und Lawinenverbau, 54(114): 157-166.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST: *Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich*. Jahrbücher 1951 - 1990.
- KRONFELLNER-KRAUS G. 1984: *Neue Ergebnisse und Erfahrungen zur quantitativen Einschätzung von Wildbächen*. Proceedings 18th IUFRO World Congress, Div. 1, Ljubljana: 165-177.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHN 1995: *Streckenleitung Leoben*: *fernmitteilliche Auskunft*.
- THURNER A. & HUSEN D. VAN 1978: *Geologische Karte von Neumarkt in Steiermark 1:50.000 und Erläuterungen*. Wien, Geologische Bundesanstalt.
- TOLLMANN A. 1977: *Geologie von Österreich I*. Wien, Franz Deuticke, 291-299.
- ZEDLACHER D. 1986: *Extreme Wildbach-Feststofffrachten in der Steiermark*. Wildbach- und Lawinenverbau, 50(103): 5-13.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1995: *Wetter- und Klimaübersicht Juni 1995*.

Verfasser: Dipl. Ing. Dr. Peter Andrecs
Dr. Helga Gottschling
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Lawinen- und Wildbachforschung
Hauptstraße 7
1140 Wien



FBVA-Berichte
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

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

1987	17	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1980/81 und 1981/82. 74 Seiten	80.—
1987	18	EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt/Salzburg). 102 Seiten	100.—
1987	19	HAUPOLTER, R. Baumsterben in Mitteleuropa. Eine Literaturübersicht. Teil 1: Fichtensterben. KREHAN, H.; HAUPOLTER, R. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Kiefernbestände - Bucklige Welt.. 73 Seiten	vergriffen
1987	20	GLATTES, F.; SMIDT, S. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985. 65 Seiten	vergriffen
1987	21	RUETZ, W.; NATHER, J. Proceedings of the IUFRO Working Party on Breeding Strategy for Douglas-Fir as an Introduced Species. Working Party: S2.02-05. Vienna, Austria June 1985. 300 Seiten	300.—
1987	22	JOHANN, K. Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker. 66 Seiten	60.—
1987	23	POLLANSCHÜTZ, J.; NEUMANN, M. Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse. 98 Seiten	100.—
1987	24	KLAUSHOFER, F.; LITSCHAUER, R.; WIESINGER, R. Waldzustandsinventur Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern. 94 Seiten	100.—
1988	25	JOHANN, K. Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen. 88 Seiten	90.—
1988	26	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1986. Luftsadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 114 Seiten	120.—
1988	27	SMIDT, S. Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur. 72 Seiten	80.—
1988	28	Forum Genetik - Wald - Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Kongresshaus Innsbruck. 192 Seiten	200.—
1988	29	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase. 52 Seiten	50.—
1988	30	MARCU, GH.; TOMICZEK, C. Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht. 23 Seiten	30.—
1988	31	KILIAN, W. Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong. 50 Seiten	50.—
1988	32	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987. 234 Seiten	250.—
1988	33	ENK, H. 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. 124 Seiten	130.—

1988	34	KREHAN, H. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Teil II: Fichtenbestände im Ausserfern (Tirol) und im grenznahen Gebiet des Mühl- und Waldviertels. 60 Seiten	60.—
1988	35	SCHAFFHAUSER, H. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87. 138 Seiten	145.—
1989	36	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (8). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 128 Seiten	130.—
1989	37	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 100 Seiten	105.—
1989	38	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84. 92 Seiten	100.—
1989		SCHNEIDER, W. Sonderheft Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. 118 Seiten	200.—
1989	39	KREHAN, H. Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. 58 Seiten	60.—
1989	40	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldgebiet Österreichs. 134 Seiten	140.—
1990	41	KILLIAN, H. Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn. 162 Seiten	165.—
1990	42	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987. 98 Seiten	100.—
1990	43	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (9). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 80 Seiten	80.—
1990	44	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 33 Seiten	35.—
1990	44A	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988 (Anhang). Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 230 Seiten	280.—
1990		KILIAN, W.; MAJER, C. Sonderheft Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. 58 Seiten	70.—
1990	45	NEUMANN, MARKUS; SCHADAUER, K. Waldzustandsinventur. Methodische Überlegungen und Detailauswertungen. 88 Seiten	90.—
1990	46	Zusammenkunft der Deutschsprachigen Arbeitswissenschaftlichen und Forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten. Bericht über die 18.Zusammenkunft vom 18.-20.April 1990. 286 Seiten	340.—
1991	47	SMIDT, S. Beurteilung von Ozonmeßdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. 87 Seiten	90.—
1991	48	ENGLISCH, M.; KILIAN, W.; MUTSCH, F. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Erste Ergebnisse. 75 Seiten	80.—
1991	49	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. 128 Seiten	130.—

1991	50	SMIDT, S. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. 90 Seiten	90.—
1991	51	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien, I. 33 neue Bockkäfer aus der palaearktischen und orientalischen Region (Coleoptera,Cerambycidae). 75 Seiten	200.—
1991	52	FÜRST, A. Der forstliche Teil der Umgebungsüberwachung des kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr. Ergebnisse von 1981 bis 1990. 42 Seiten	45.—
1991	53	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1977-1979. 80 Seiten	80.—
1991	54	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1980-1982. 78 Seiten	80.—
1991	55	WIESINGER, R.; RYS, J. Waldzustandsinventur: Untersuchung der Zuwachsverhältnisse an Wald- und Bestandesändern. 60 Seiten	60.—
1991	56	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 60 Seiten	95.—
1991	57	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1989/90. 28 Seiten	30.—
1991	58	STAGL, W.; HACKER, R. Weiden als Prosshölzer zur Äsungsverbesserung. 56 Seiten	60.—
1991	59	HOLZER, K.; OHENE-COFFIE, F.; SCHULTZE, U. Vegetative Vermehrung von Fichte für Hochlagenaufforstungen. Physiologische und phänologische Probleme der Anpassung. 73 Seiten	75.—
1991	60	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien II. 63 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand, (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 71 Seiten	140.—
1992	61	STAGL, W. Auswertung der "Trakte" zum Staatsvertrag "Vereinbarung zwischen Bund und dem Land Kärnten über gemeinsame Maßnahmen zur Sicherung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wald und Wild". 62 Seiten	105.—
1992	62	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1983-1985. 72 Seiten	75.—
1992	63	FÜRST, A. Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. 37 Seiten	40.—
1992 Sonderheft 1		DRAGOVIC, N. Terminologie für die Wildbachverbauung. Fachwörterbuch deutsch - serbokroatisch. Terminologija Uredjenja Bujicnih Tokova. Recnik Strucnih Termina Srpskohrvatsko - Nemacki. 43 Seiten	50.—
1992	64	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1986-1988. 91 Seiten	95.—
1992	65	NATHER, J. (HRSG.) Proceedings of the meeting of IUFRO - WP S2.02-21 on "Actual problems of the legislation of forest reproductive material and the need for harmonization of rules at an international level". Gmunden / Vienna - Austria, June 10. - 14. 1991. 180 Seiten	200.—
1992	66	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1989. 60 Seiten	60.—

1992	67	Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal. Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofil Zillertal". 152 Seiten	180.—
1992	68	Luzian, R. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91. 188 Seiten	200.—
1992	69	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien III. 57 neue Bockkäfer aus Asien. Vorwiegend aus China, Thailand und Vietnam (Coleoptera, Cerambycidae). 63 Seiten	120.—
1992	70	Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Erste Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofile Achenkirch". 103 Seiten	100.—
1992	71	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Beiträge zum WBS-Seminar vom 23. April 1992. 111 Seiten	115.—
1992	72	VOSHMGIR, D. (BEARB.). Das Schriftum der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Teil IV: 1974 bis 1990. 115 Seiten	80.—
1993	73	MÜLLER, F. Auswahl und waldbauliche Behandlung von Gen-Erhaltungswäldern. 24 Seiten	25.—
1993	74	Lawinenbericht 1991/92. Dokumentation und Fachbeiträge. 110 Seiten	80.—
1993	75	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien IV. 60 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand (Coleoptera:Cerambycidae). 63 Seiten	100.—
1994	76	SCHADAUER, K. Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. 160 Seiten	200.—
1994	77	KAISER, A. Projekt "Höhenprofil Zillertal" Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. 95 Seiten	80.—
1994	78	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Höhenprofil Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. 134 Seiten	120.—
1994	79	FÜRST, W.; JOHANN, K. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. 53 Seiten	55.—
1994	80	ANDRECS, P. Schadensereignisse in Wildbachbeziehungsgebieten Österreichs 1990 und 1991. 47 Seiten	50.—
1994	81	GEBUREK, T.; MÜLLER, F.; SCHULTZE, U. Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. 113 Seiten	100.—
1994	82	KILIAN, W.; MÜLLER, F.; STARLINGER, F. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. 60 Seiten	70.—
1995	83	JOHANN, K. Ergebnis der Großdüngungsversuche St. Martin und Flachau Ertragskundlicher Abschlußbericht. 102 Seiten	100.—
1995	84	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 65 neuen Bockkäfern aus Europa und Asien, vorwiegend aus Thailand und China (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 63 Seiten	60.—
1995	85	KRISTOFEL, F.; POLLANSCHÜTZ, J. Entwicklung von Fichtenpflanzen nach Triebrückschnitten. 17 Seiten	20.—
1995	86	CECH, T.; TOMICZEK, C. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achental. 46 Seiten	50.—
1995	87	HERMAN, F., SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. 288 Seiten	450.—

1995	88	CECH, T.; PERNY, B.; DONAUBAUER, E. Wipfelsterben an Jungfichten in Österreich und beteiligte Mikropilze. 32 Seiten	50.—
1995	89	MARKART, G.; KOHL, B. Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetations-einheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. 38 Seiten	60.—
1995	90	LANG, E. Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen 70 Seiten	100.—
1995	91	LUZIAN, R.; RAMMER, L.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenbericht 1992/93 - Dokumentation und Fachbeiträge 52 Seiten	80.—
1995	92	SCHIELER, K.; BÜCHSENMEISTER, R.; SCHADAUER, K. Österreichische Forstinventur - Ergebnisse 1986/90 262 Seiten	250.—
1996	93	NEUMANN, M. (Hrsg.) Österreichisches Waldbeobachtungssystem Beiträge zum 4. WBS-Seminar in Wien am 23. November 1995 177 Seiten	260.—
1996	94	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen 285 Seiten	450.—
1997	95	MÜLLER, F. Waldbau an der unteren Waldgrenze 129 Seiten	190.—
1997	96	LANG, E.; STARY, U.; KOHL, B.; MARKART, G.; PROSKE, H.; TRINKHAUS, P.; ANDRECS, P.; GOTTSCHLING, H. Beiträge zur Wildbachforschung 51 Seiten	80.—

