

FBVA - B E R I C H T E
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt

Nr. 43

1990

1990
BEITRÄGE ZUR WILDBACHEROSIONS- UND LAWINENFORSCHUNG
ODC 116:384:971

CONTRIBUTIONS TO RESEARCH ON TORRENT EROSION AND AVALANCHES
ESSAIS SUR LA RECHERCHE D'EROSION TORRENTIELLE ET DES AVALANCHES

(9)

Fachgruppe	IUFRO Subject Group	Group sectoriel
	S 1.04 - 00	

Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und
Muren, Schneeschäden und Lawinen

Prevention and Controll of Torrent Erosion, Floods and Mud
Flows, Snow Damage and Avalanches

Prévention et correction de l'érosion torrentielle, des crues et
des laves torrentielles, du dommage par la neige et
des avalanches

Herausgeber
Forstliche Bundesversuchsanstalt in Wien

in Kommission bei
Österreichischer Agrarverlag, A-1141 Wien

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1 1 3 1 W i e n

Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1 1 3 1 W i e n

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet
P r i n t e d i n A u s t r i a

I N H A L T - C O N T E N T - S O M M A I R E

	Seite/Page
Vorwort	5
Preface	6
KRONFELLNER-KRAUS, G. (Vienna/Austria): Einige aktuelle Probleme und Ergebnisse der Wildbachforschung in Österreich	7
Some actual problems and results of torrent research in Austria	25
NEUWINGER, I. (Innsbruck/Austria): Wasseraufnahme und Ver- sickerung bei verschiedenen Bodenformen im Naßfeld, Karnische Alpen	41
KRONFELLNER-KRAUS, G. (Vienna/Austria): Problems of torrent erosion in Czechoslovakia (A short report on meetings)	67
CHLEBEK, A. & M. JARABAC (Ostrava/CSSR): A multiple regression analysis of rainfalls and runoffs in the Beskidian experimental watersheds	71

12

V O R W O R T

Das vorliegende Heft beinhaltet noch nicht publizierte Tagungsbeiträge eines FAO/IUFRO-Symposiums das, am 8. März 1990, im Rahmen der 17. Tagung der Arbeitsgruppe (WP) für Bewirtschaftungsregelungen von Gebirgseinzugsgebieten (MW) der Europäischen Forstkommission (EFC) der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) der UNO in der Zeit vom 7. bis 15. März 1990 in Vicenza, Italien, stattfand. Die erste Woche (7. bis 10. März) dieser Veranstaltung war der eigentlichen Tagung und Symposien gewidmet. In der zweiten Woche (12. bis 15. März) führte eine Studienreise zu aktuellen Aufforstungen, Wildbach- und Lawinenverbauungen und Forschungseinrichtungen hauptsächlich in den italienischen Dolomiten der Region Veneto und der autonomen Provinz Trient.

Die genannte Veranstaltung führte etwa 48 Teilnehmer aus 16 Ländern zusammen, und zwar 42 Vertreter der zehn Mitgliedstaaten der EFC (Deutschland, Frankreich, Israel, Italien, Norwegen, Österreich, Portugal, Spanien, Schweiz und Türkei) sowie 6 Teilnehmer aus Übersee (Iran, Japan, Kenia, Madagaskar, USA und Venezuela). Insgesamt wurden in 7 Themengruppen (einschließlich Symposien) 39 Referate behandelt. Eine Zusammenfassung dieser Referate erfolgt im Schlußbericht der Tagung, die vom Sekretariat der FAO/EFC/MW-Arbeitsgruppe in Rom herausgebracht wird.

Das gegenständliche FAO/IUFRO-Symposium war "Neuen Ergebnissen der Wildbachforschung" gewidmet. Die dabei vorgelegten Referate geben einen aktuellen Einblick in die österreichische und tschechische Einzugsgebietsforschung. Sie können gleichzeitig auch als ein Beitrag zur bevorstehenden (S1.04-00) Fachgruppensitzung beim XIX. IUFRO-Weltkongress in Montreal, Kanada, im August d. J. angesehen werden. Der Dank gilt allen, die an Tagung und Publikation mitgewirkt haben.

Gottfried Kronfellner-Kraus
Stellvertretender Leiter der
IUFRO-Fachgruppe S1.04-00

P R E F A C E

The present booklet contains some not yet published contributions of a joint FAO/IUFRO-Symposium, which took place on March 8, 1990, during the 17th Session of the Working Party (WP) for the Management of Mountain Watersheds (MW) of the European Forestry Commission (EFC) of the Food and Agriculture Organization (FAO in Rome) from March 7 to 15, 1990, in Vicenza, Italy. The first week (March 7 to 10) of this meeting was spent on the actual session and two symposia. During the second week (March 11 to 15) a study tour guided the participants to actual afforestations, torrent and avalanche control works as well as to experimental research stations mainly in the Italian Dolomits of the region Veneto but also of the autonomous Province Trento.

The whole meeting brought together 48 participants from 16 countries, namely 42 representatives of ten member countries of EFC (Austria, France, Germany, Israel, Italy, Norway, Portugal, Spain, Switzerland and Turkey) and 6 participants from oversea (Iran, Japan, Kenia, Madagaskar, USA und Venezuela). Altogether 39 papers were read in 7 main topics. A summary of these papers will be published in the "Final Report of the 17th Session of the FAO/EFC/MW-Working Party in Vicenza, Italy," by the Secretary of the FAO/EFC/MW-Working Party in Rome.

The topic of the joint FAO/IUFRO-Symposium was "New Results in Torrent Research". The not yet published papers to this symposium deliver an actual overview of some Austrian and Czechoslovakian research activities in this field. They can simultaneously be seen as a contribution to the coming (S1.04-00) Subject Group meeting at the XIX IUFRO-World Congress in Montreal, Canada, in August of this year. We are deeply indebted to all who were concerned on the symposium and publication.

Gottfried Kronfellner-Kraus
Deputy Leader of the
IUFRO-Subject Group S1.04-00

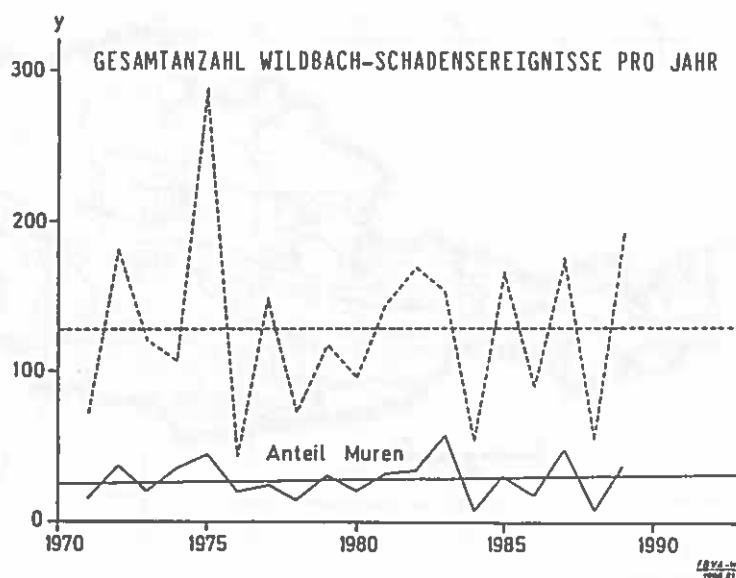
EINIGE AKTUELLE PROBLEME UND ERGEBNISSE DER WILDBACHFORSCHUNG IN ÖSTERREICH

von

Gottfried Kronfellner-Kraus
Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

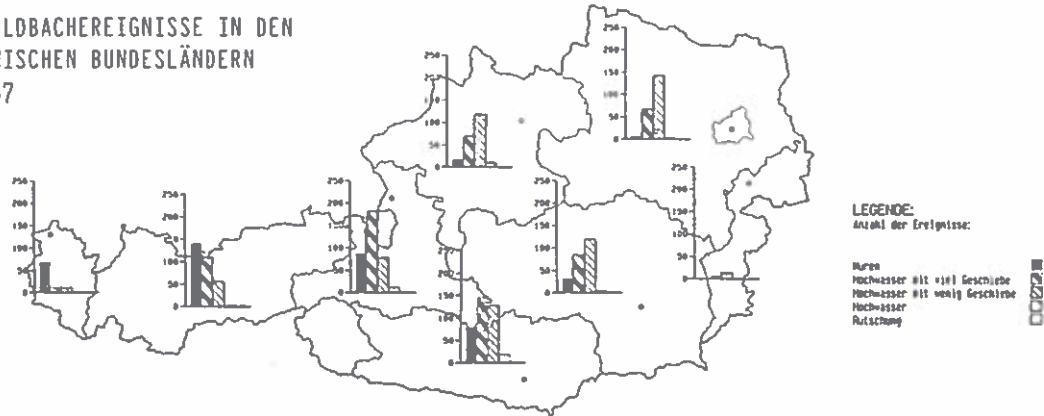
Vorwort

Die zunehmende Inanspruchnahme des Gebirgsraumes erhöht den Schutzbedarf hinsichtlich Wildbach- und Lawinengefahren. Die Schadensereignisse der beiden letzten Jahrzehnte zeigen die Dringlichkeit zusätzlicher Verbauungen, Planungen und Forschungen. Seit dem Jahre 1971 sind in Österreich durch Wildbäche und Muren 46 Menschen ums Leben gekommen, 3.674 Gebäude wurden zerstört oder beschädigt und 4.273 ha land- und forstwirtschaftliche Kulturgründe verwüstet (JEGLITSCH 1976). Dabei ist in diesen letzten 20 Jahren die jährliche Gesamtzahl der Schadensereignisse (etwa 125/Jahr) ungefähr gleich geblieben. Der Verbauungserfolg scheint durch neu hinzukommende Risiken immer wieder egalisiert zu werden.



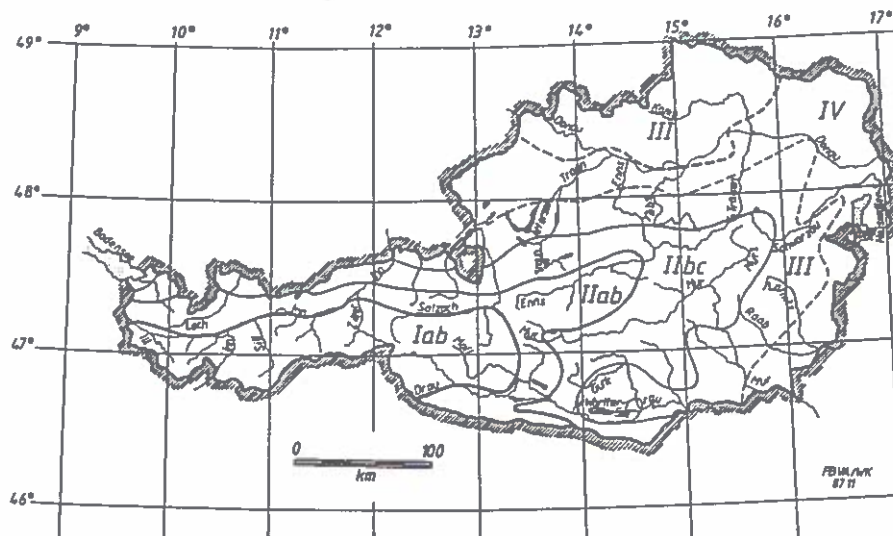
Die Analyse von Häufigkeit und räumliche Verteilung der in den einzelnen Bundesländern auftretenden Muren, Hochwässer und Rutschungen zeigt, daß im Hochgebirge naturgemäß Feststoffprobleme überwiegen. Aus diesen Analysen geht aber auch hervor, daß neben der Hochwasserberechnung die Quantifizierung der Feststofftransporte auch im Mittelgebirge und Hügelland ebenso wichtig ist.

ART DER WILDBACHEREIGNISSE IN DEN
ÖSTERREICHISCHEN BUNDESLÄNDERN
1974 - 1987



Wildbachzonen und Feststofffrachten

Entsprechende Wildbachzonen konnten auf Grund einer Analyse der bei ca. 2.000 Hochwässern und Muren erhobenen Feststofffrachten abgegrenzt werden. Mit diesen Kennwerten ist es möglich die Wildheit unserer Gebirgsbäche für Gefahrenzonenplanungen und Verbauungen größenordnungsmäßig einzuschätzen. Die Formel für extreme Wildbachfeststofffrachten ($GS = K \cdot J \cdot E$) spiegelt alle verfügbaren Erfahrungen und naturräumlichen Gegebenheiten aber auch die in den Einzugsgebieten herrschenden Bodenschutzverhältnisse wider. Sie wird an Hand neuer Ereignisse laufend weiter entwickelt (KRONFELLNER-KRAUS 1982, 1984, 1989).



Untersuchungen in Mustereinzugsgebieten

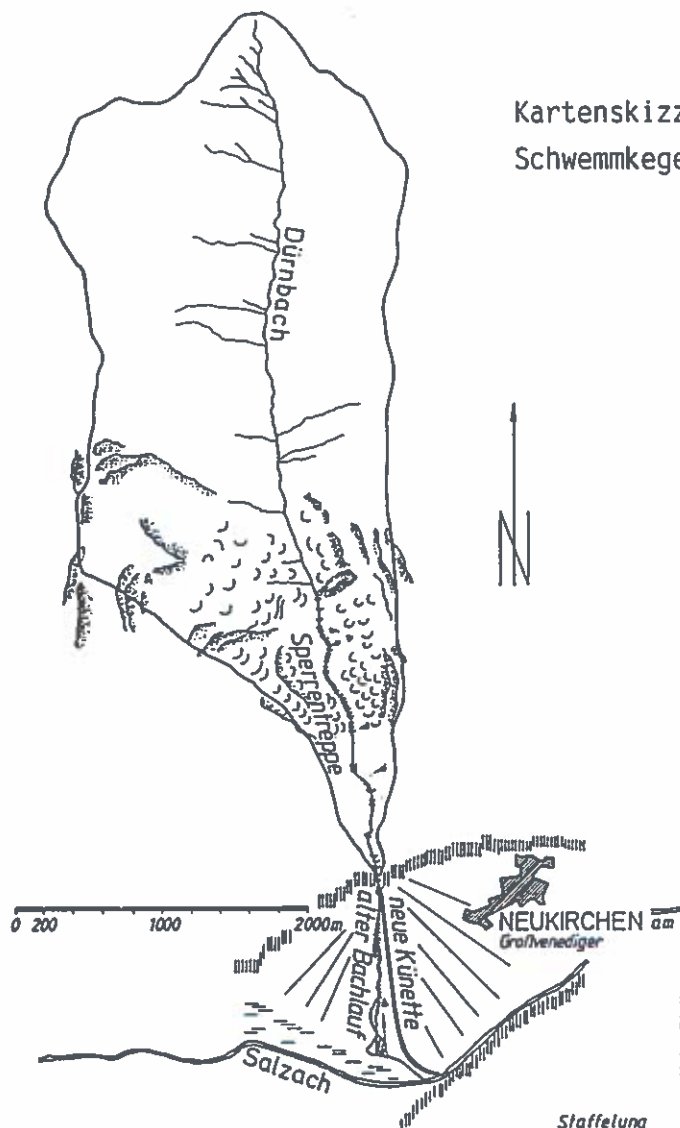
In engeren Grenzen müssen gebietsweise gültige Kennwerte für Hochwasser- und Geschiebeberechnungen auf Grund langjähriger Messungen ermittelt werden. Zu diesem Zwecke sind in Österreich mehrere Mustereinzugsgebiete, quasi als Naturlaboratorien, mit den erforderlichen Meßeinrichtungen ausgestattet worden. Der Dürnbach möge als erstes Beispiel dienen. Die dort gewonnen Untersuchungsergebnisse sind bereits publiziert (KRONFELLNER-KRAUS & al. 1988). Es sollen hier nur einige Aspekte aufgezeigt werden.

Dürnbach

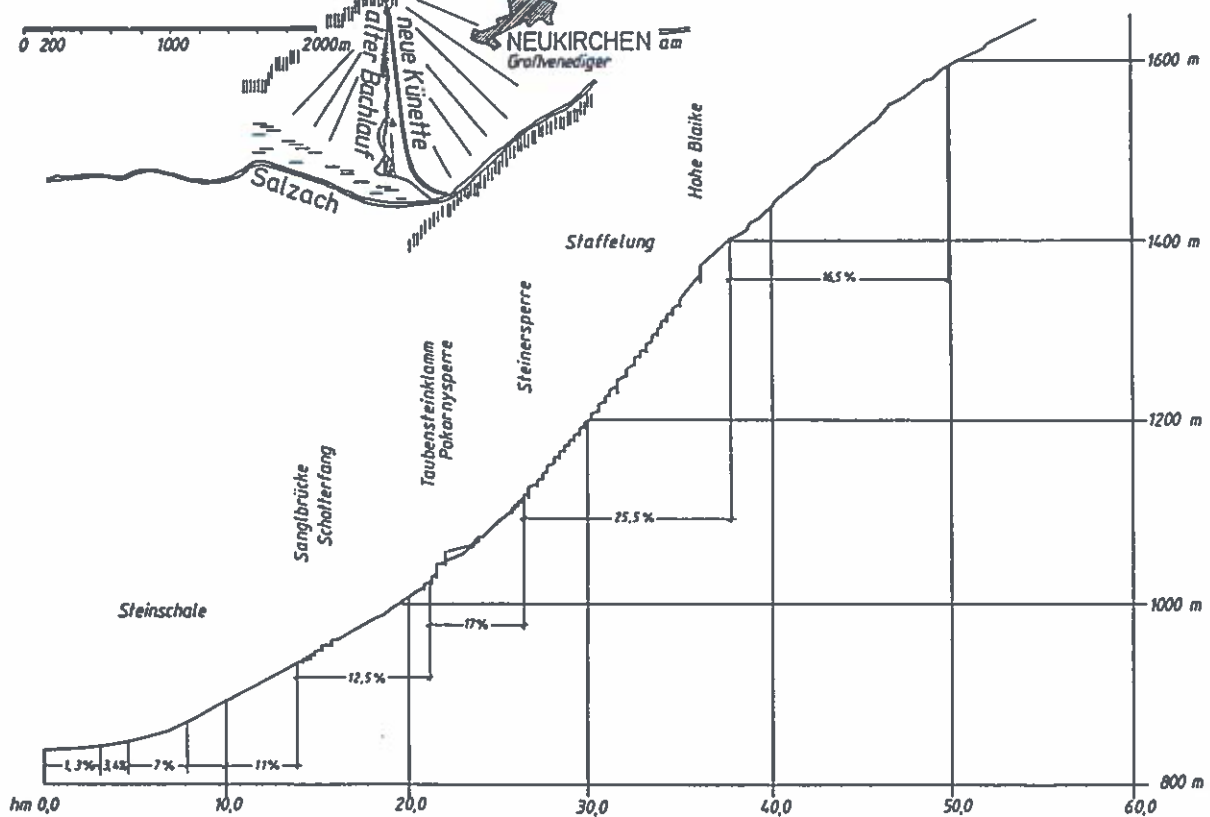
Er entwässert ein ca. 9 km² großes Einzugsgebiet an der Südflanke der Kitzbühler Alpen in die Salzach. Im Salzachtal gefährdet er die auf seinem Schwemmkegel liegende Ortschaft Neukirchen sowie die Salzachtaler Hauptverkehrswege. Der Bach hat einen tiefen zum Teil schluchtartigen Graben gebildet in dem die beiderseitigen Einhänge auf 3 km² in Bewegung geraten sind. Seit Beginn dieses Jahrhunderts wurde die Erosionsstrecke mit etwa 30 Sperren abgestaffelt, am Grabenausgang Geschiebeablagerungsplätze angelegt und der Tallauf mit einer Künette reguliert. Die aktiven Geschiebeherde, Gebirgsdrucke und aggressive Wässer beanspruchten die Verbauung stark, sodaß es im Jahre 1965 zu schweren Hochwasserschäden kam. Für die weitere Sanierung waren wildbachkundliche Kennwerte und entsprechende Bautypen gefragt.

Auf Grund einer eigenen Befliegung wurden genaue Karten (im Maßstab 1:5.000) erstellt und Geologie, Boden und Vegetation im Einzugsgebiet kartiert. Im Verlaufe von 10 bis 16 Jahren wurden Niederschläge, Abflüsse und Talzuschübe synchron gemessen und deren Auswirkungen, Erosionen und Sedimentationen untersucht und verbauungstechnische Fragen studiert.

Kartenskizze des Einzugsgebietes und des
Schwemmkegels des Dürnbaches



.... und sein Längenprofil



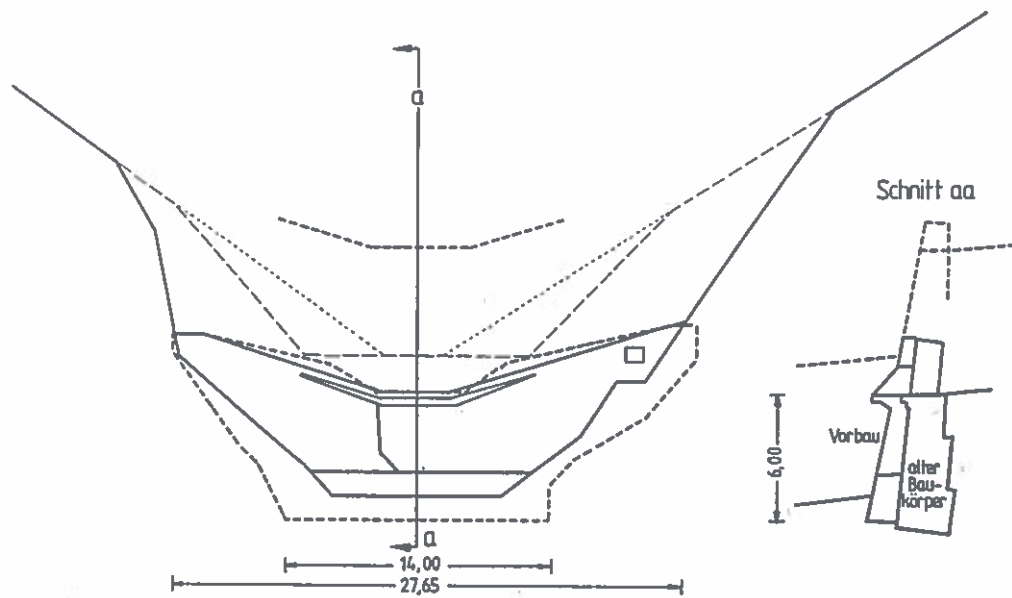
Das sogenannte hundertjährige Hochwasser wurde mit: $HQ_{100} = 16,4 \text{ m}^3/\text{sec}$ ermittelt. Vergleichsweise entspricht dieses Meßergebnis nur einem Drittel der nach der Wundt-90 %-Richtkurve ermittelten ($51 \text{ m}^3/\text{s}$) und nur etwa die Hälfte der für die Verbauung in Rechnung gestellten Werte ($35 \text{ m}^3/\text{s}$). Das Meßergebnis fügt sich jedoch gut in die vom Hydrographischen Dienst für das obere Salzbachtal ermittelten Daten ein. Nach SCHREIBER (1970) besteht ein enger Zusammenhang zwischen HQ_{10} und HQ_{100} . Nach KREPS (zit. NOBILIS 1989) entspricht die Wundt-90 %-Richtkurve ($HQ = 13,8 \cdot E^{0,6}$) in Österreich etwa hundertjährigen Ereignissen (HQ_{100}). Es sind jedoch stets spezifische Retensionen in den Einzugsgebieten zu berücksichtigen, deren Koeffizient c zwischen 1,0 und 0,25 betragen kann. Für den Dürnbach stellt sich der Retensionskoeffizient also auf:

$$c = HQ/HQ' = 16,4/51 = 0,32.$$

Obwohl der Hochwasserabfluß im Verbauungsprojekt mehr als doppelt so groß ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) als ermittelt ($16,4 \text{ m}^3/\text{s}$) angenommen worden war, haben sich die vorhandenen Sperrenabflußsektionen tatsächlich als zu klein erwiesen. Zur Bemessung der Durchflußprofile sind in dem etwa 25 % steilen Graben neben dem Hochwasserabfluß und den Feststoffen auch verminderte Fließgeschwindigkeiten zu berücksichtigen. Die Feststoffspende betrug im 16jährigen Durchschnitt $180 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$. Im Extremfall muß man bei einem Einzelereignis jedoch auch mit einer Geschiebefracht in der Größenordnung von 90.000 bis 150.000 Kubikmeter rechnen. Die Verminderung der Fließgeschwindigkeit des Murstromes war im Dürnbach im Vergleich zu älteren Formeln beträchtlich. Die mittlere Fließgeschwindigkeit betrug tatsächlich in voll überfluteten Abflußsektionen nur etwa 1,6 bis 2,5 m/s. Diese Werte entsprechen der neuen Fließgeschwindigkeitsformel von RUF (1988) und auch Rechenwerten von SMART et al. (1983). Der Geschiebetransport ging im Graben schub- oder wellenartig vor sich. Die Ablagerungen in der Sperrentreppe waren zeitweise umfangreicher als die Ablagerungen im Staauraum der Entleerungssperren am Grabenausgang. Dabei schwankten die Sperrenverlandungen etwa zwischen 0 bis 20 %. Man muß also bei der Bemessung von Abflußsektionen gegenüber Reinwasserabfluß bis über 100 % vergrößerte Abflußmurdvolumen bei verminderten Fließgeschwindigkeiten und darüber hinaus auch Unregelmäßigkeiten im Abflußvorgang berücksichtigen. In der Tallaufregulierung des Dürnbaches bestehen keine Probleme. Das Profil des gemauerten Gerinnes ist dort für die vom Geschiebe befreiten Abflüsse groß genug.

Nach der geologischen Kartierung (FÜHRLINGER 1988) wurden in der gesamten Staffelnung durch geodätische und geotechnische Messungen die von Gebirgsdrücken am stärksten beanspruchten Bereiche erfaßt. Stark beschädigte und neue Sperren wurden in flexibler Bauweise ersetzt, worüber an anderen Stellen bereits ausführlich berichtet wurde (KRONFELLNER-KRAUS 1988). Die Konsolidierungssperren sind aber streckenweise noch zu niedrig, sodaß die Unterhänge weiterhin unterwühlt und die Abflußprofile durch seitliche Materialeinstöße verlegt werden. In diesen Strecken ist deshalb eine weitere Hebung der Bachsohle erforderlich. Die Hebung soll nach und nach so erfolgen, daß sich die Hänge natürlich abböschten und Hochwässer in der gewünschten Breite abfließen können.

QUERPROFIL IM BEREICH DER MEBSPERRE IN hm 29,98 MIT DER ZUR ERLANGUNG NATÜRLICHER HANGBÖSCHUNGEN ERFORDERLICHEN "AUFSTOCKUNG" DER SPERRENSTAFFELUNG

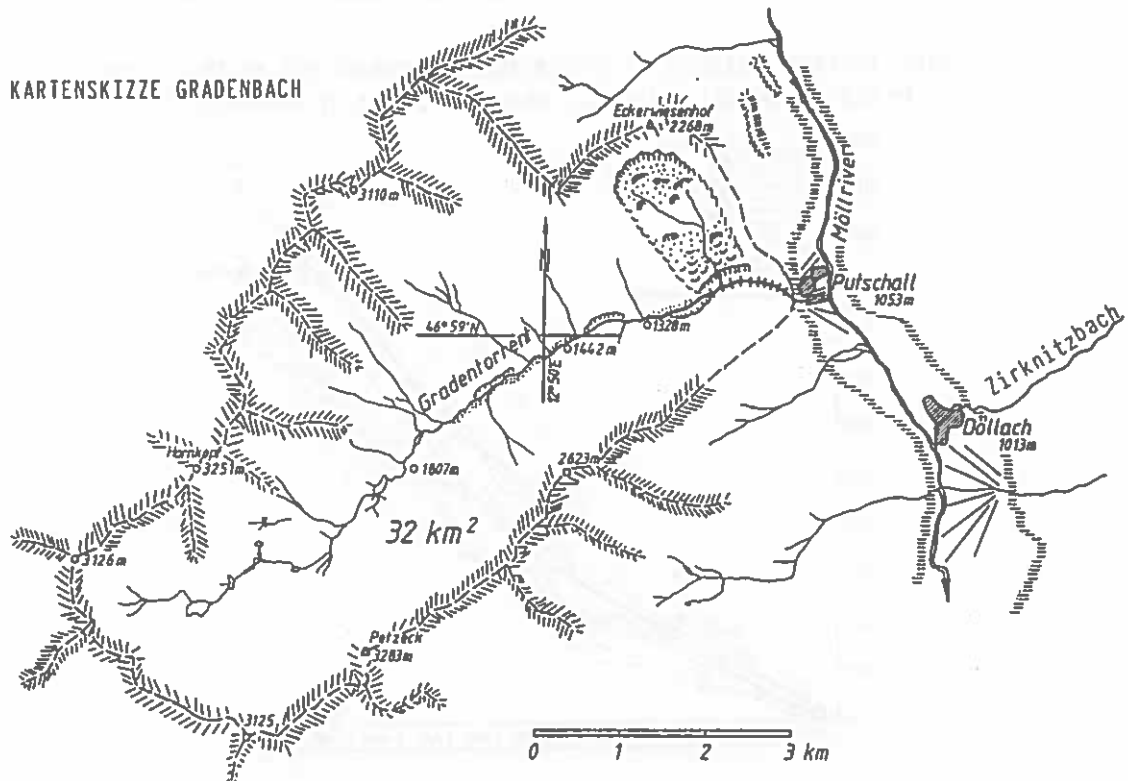


Die Probleme der Fließgeschwindigkeiten und der Abflußvorgänge bei Feststofftransporten sind Gegenstand weiterer Forschungen. Über vorläufige Ergebnisse wurde bei der letzten Tagung (RUF 1989) berichtet.

Gradenbach

Das Problem der Sanierung aktiver Geschiebeherde (Talzuschübe) wird im Gradenbach untersucht. Auch darüber wurde bereits mehrfach berichtet (KRONFELLNER-KRAUS 1980, 1984). Die Untersuchungen wurden aber inzwischen fortgesetzt und es sollen im folgenden die jüngsten Untersuchungsergebnisse zusammenfassend erläutert werden.

Im Gradenbach bei Döllach im Mölltal, Kärnten sackt der sog. Berchtoldhang in einem Ausmaß von etwa 2 km² talwärts und schiebt auf diese Weise den Ausgang des Gradentales (oder Grabens) auf einer Strecke von 1 km zu. Der Hang ist durchschnittlich 50 % nach Südost geneigt und der Graben am Hangfuß 100 m tief und steil-V-förmig eingeschnitten. Der Bach facht durch Tiefen- und Seitenerosion den Talzuschub immer wieder an. Während der Katastrophenhochwässer in den Jahren 1965 und 1966 wurden insgesamt etwa 1,3 Millionen Kubikmeter Geschiebe und Feststoffe auf den Schwemmkegel und den anschließenden Talgrund der Möll verfrachtet. Die Ortschaft Putschall wurde zweimal verschüttet, sodaß man den größten Teil der Bewohner umsiedeln mußte. Durch die Auflandung im Flußbett der Möll wurde aber auch der Abfluß des Zirknitzbaches blockiert und dadurch auch dieser Ort in beiden Jahren überflutet und vom Zirknitzbach vermurt.

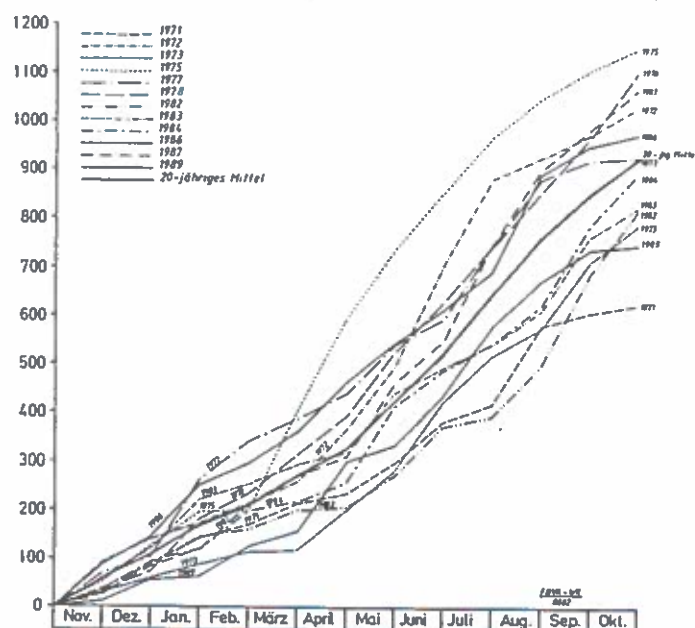


Nach den Katastrophen wurde sofort mit der Verbauung begonnen und der Gradenbach mit Sperren abgetreppt. Die Sperren wurden stark armiert, und zwar nach den positiven Erfahrungen die man in einem ähnlich gelagerten Fall, und zwar bei der Sanierung der sog. Judenbrücke im Zuge der Mölltaler Bundesstraße (von der Gradenbach-Mündung ca. 2 km flußaufwärts), in Zusammenarbeit mit der Kärntner Brückenbauabteilung gewonnen hatte. Trotzdem kam es dann zu verschiedenen starken Hangbewegungen und argen Schäden. Die beschädigten Sperren wurden jedoch mit schweren Steinvorwürfen versehen und sie erfüllen weiterhin ihren Zweck (STRITZL 1971). Später wurden noch zwei drahtseilbewehrte Blockdämme eingebaut.

Die Untersuchungen und Messungen begannen 1967 und wurden laufend intensiviert. Zunächst wurde eine genaue Kartengrundlage aus Luftbildern erstellt. Nach der geologischen Karte handelt es sich hier um unter Wahrung des Schichtverbandes abgerutschte, sehr brüchige Gesteinsverbände der "Matreier Zone" (EXNER 1964). Das Meßprogramm umfaßt Niederschläge, Temperaturverlauf, Abflüsse, Hangdeformationen und Gebirgsdrucke.

Die Niederschläge werden an der Basisstation ganzjährig-registrierend, ansonsten über den Hang verteilt teils registrierend, teils sammelnd gemessen. Die Summenlinien der Niederschläge weisen die (im Frühjahr/Sommer) niederschlagsreichsten Jahre aus: 1972, 1977, 1978, 1986, 1987 und vor allem 1975.

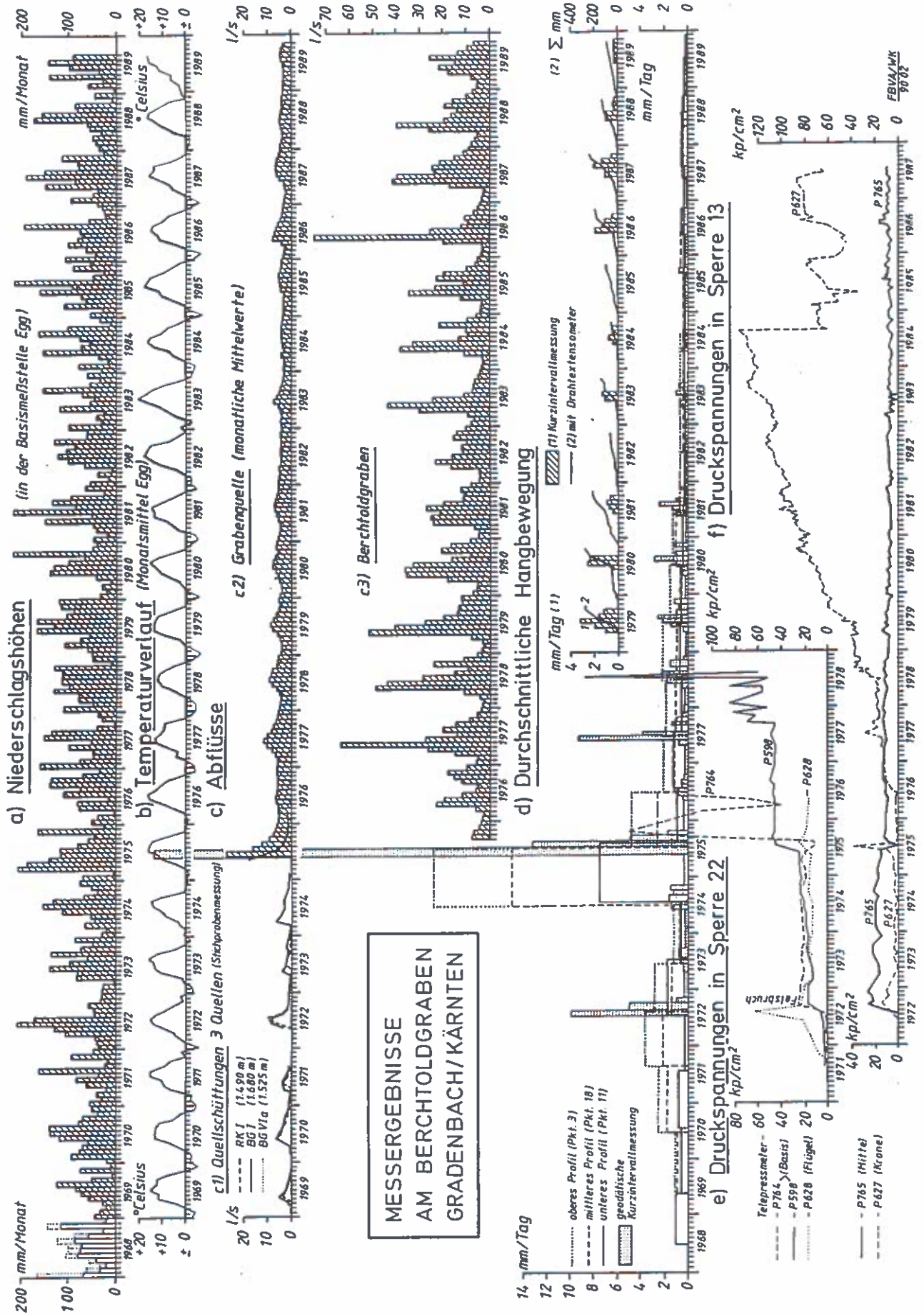
EINIGE CHARAKTERISTISCHE NIEDERSCHLAGSSUMMENLINIEN DER BASIS-STATION
EGG AM BERCHTOLDHANG; Hydrolog. Jahre (Nov.- Okt.); Meßbeginn 1970



Der gesamte Hang ist stark vernäbt. Die Messungen der Quellschüttungen und der Wasser- und Lufttemperaturen haben je nach Schwankungsdifferenzen erste Anhalte für die Tieflage der austretenden Quellwässer vermittelt. Im Zuge der Entwässerungsarbeiten wurden die Messungen in die Entwässerungsstränge verlegt, wo sie in Wehren mit scharfkantigen Dreiecküberfällen mit z.T. registrierenden Pegeln fortgesetzt werden.

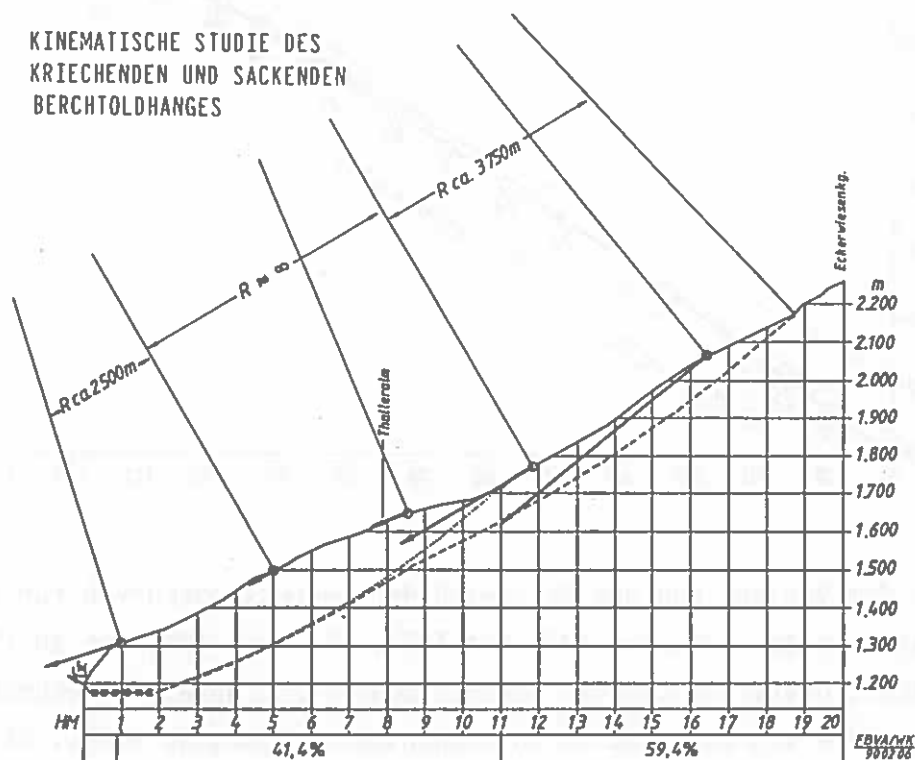
Die Abflüsse der den Hang entwässernden Bäche (Berchtoldbach und Weidenbach) werden nach demselben Prinzip erfaßt: Mittel- und Niederwässer werden über Roste in der Art von Tirolerwehren dem Meßbecken zugeführt, geschiebereiche Hochwässer und Murströme seitlich an der Meßkammer vorbei geleitet, um die schlagartige Verlandung der Meßbecken zu verhindern. Insgesamt wurde ein Abflußanteil am gesamten Niederschlag von etwa 50 % ermittelt. Ein großer Abflußanteil versinkt spurlos in der Tiefe. Die Ganglinien der Abflüsse ergeben mit dem Zeitpunkt der Höchststände Hinweise auf die Tiefen der jeweils erwässerten Zonen, was auch mit den Ergebnissen von Triftversuchen gut übereinstimmt (ZÖTL 1973).

Die geodätische Hangüberwachung begann mit drei, wurde später mit sechs Polygonzügen und wird derzeit wieder in drei Ebenen weitergeführt. Es werden sowohl Jahresbewegungen und im Sommerhalbjahr auch Bewegungen in kürzeren, etwa monatlichen Abschnitten gemessen. Die jährlichen Bewegungsgrößen waren anfänglich mehrere Dezimeter, erreichten im Jahre 1975 die größten Werte von mehr als 10 Metern (11 Meter im obersten Bereich, 3 Meter am Unterhang) und sind seit Wirksamwerden der Verbauung und Entwässerung merklich, auf einige Dezimeter und Zentimeter pro Jahr, zurückgegangen. Um den Ablauf der Bewegungen zeitlich genauer zu erfassen, wurden im Graben von einem zum anderen Ufer des Gradenbaches noch eine Wasserwaage (nach einem Muster der TIWAG) und zwei selbsttätig registrierende Drahtextensometer mit jeweils zwei Drähten für einen quasi-Vorwärtsschnitt (der Firma Interfels), montiert. Die Aufzeichnungen lassen zwei Bewegungsarten erkennen, eine ständig vor sich gehende sehr langsame und eine nach der Schneeschmelze im Frühjahr bis zum Sommer beschleunigte Hangbewegung, die dann im Herbst wieder abklingt. Mit diesen Ergebnissen stimmen auch Resultate von Gebirgsdruckmessungen überein die in zwei Sperren mit Telepressmetern bis zum Bruch durchgeführt wurden.



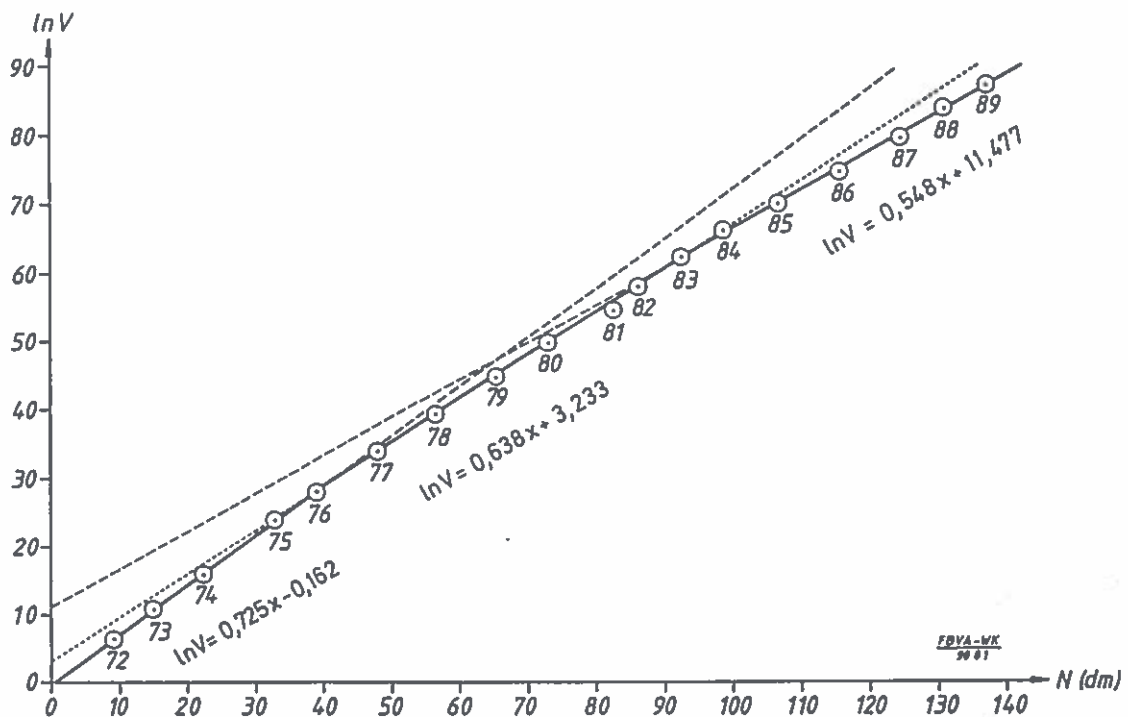
Stellt man die wichtigsten Meßergebnisse zeitlich einander gegenüber, lassen sich deutlich Zusammenhänge erkennen. Wie zu erwarten, stehen den niederschlagsreichen Jahren größere Hangbewegungsraten und Gebirgsdrücke gegenüber. In dem entsprechenden Diagramm sind oben a) die monatlichen Niederschlagssummen aufgetragen, es folgen tieferstehend b) Temperaturverlauf, c) Quell- und Bachabflüsse und dann d) die Hangbewegungen, die 1972 und 1977 größere Werte und 1975 ihr Maximum erreichten. Ab dem Jahre 1979 sind hier auch die Drahtextensometermessungen hinzugekommen. Die zuunterst aufgezeichneten Gebirgsdrücke verhalten sich entsprechend (e).

Die geodätisch räumlich ermittelten Vektoren der Hangbewegung ermöglichten eine kinematische Studie, nach welcher sich Bewegungstiefen von rund 100 m im Oberhang und 180 m im Unterhang und als gesamte Rutschmasse etwa 150 Millionen Kubikmeter ergeben. Von der Bauleitung veranlaßte Bohrungen erreichten im Graben in 28 bis 33 m Tiefe eine Moräne und am Eggerberg (unterer Teil des Hanges) bei 130 m Tiefe wahrscheinlich die obere Begrenzung der Bewegungszone. Seismische Untersuchungen über die Mächtigkeit der bewegten Masse lieferten vergleichbare Resultate (BRÜCKL 1984). MOSER und GLUMAC (1983) weisen auf eine gewisse Ungleichförmigkeit einer Gleitschollenbewegung hin. Die Tiefe und Masse der gesamten Hangbewegung wird dadurch kaum betroffen.



Für Voraussagezwecke sind Zusammenhänge zwischen Hangwasserspiegel und Hangbewegung bekannt. Auf Grund unserer langjährigen Niederschlags- und flächenhaften Hangbewegungsmessungen ergibt sich aber schon zeitlich früher eine klare Abhängigkeit der Hangbewegung von den vorangegangenen Niederschlägen. Im Gradenbach erhält man den besten Zusammenhang dann, wenn man das Ausmaß der jährlichen Hangbewegung (bis etwa September) der Niederschlagssumme der 10 vorangegangenen Monate (und zwar jeweils vom November bis August, in Form einer linearen Regression einer halblogarithmischen Kurve) gegenüber stellt.

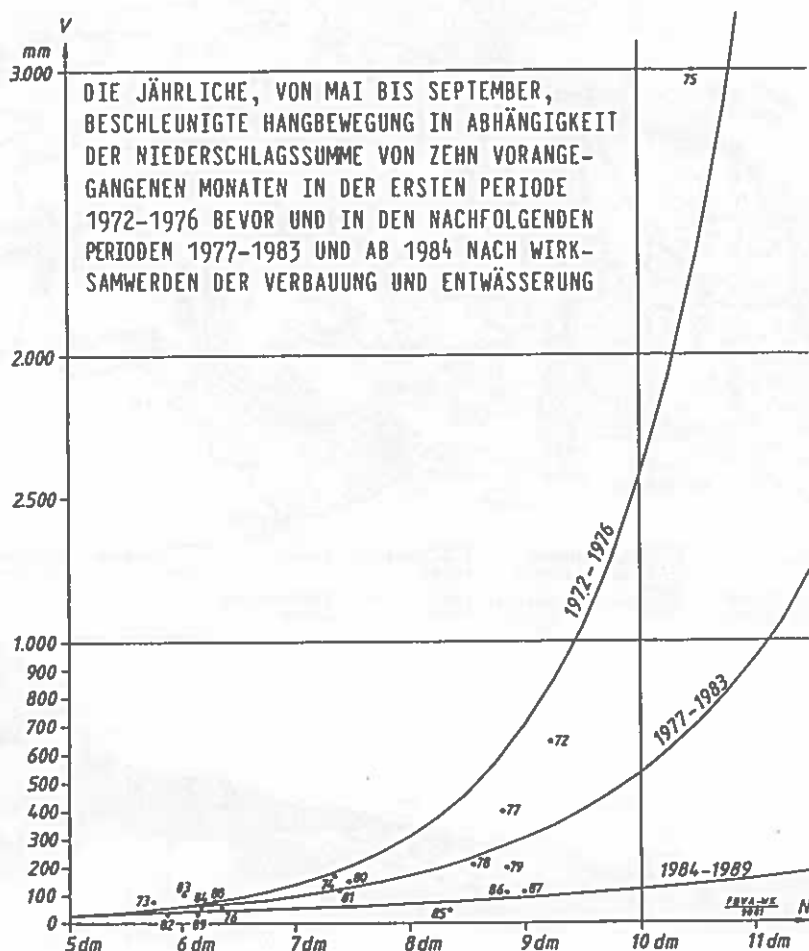
Die Doppelsummenlinien der Hangbewegung (V in mm im logarithmischen Maßstab; $\ln V$) und der zugehörigen zehnmonatigen Niederschlagssummen (N in dm) zeigen zuerst einen gleichbleibenden Trend bis zum Jahre 1976, von 1977 bis 1983 eine verminderte und ab 1984 eine nochmals stark verminderte Hangbewegung. Ab 1976 wurden insbesondere höher liegende, oberflächennahe Quellwässer entwässert was stabilisierender gewirkt haben muss als die früher vorgenommenen tieferliegenden Entwässerungen, siehe Abbildung:



Aus dem Verlauf und dem Vergleich der Regressionskurven für Niederschläge und Abflüsse in den Perioden 1972 bis 1976, 1977 bis 1983 und ab 1984 zeigt sich zunächst deutlich, daß der Berchtoldhang erst ab einer zehnmonatigen Niederschlagssumme von etwa 500 mm in nennenswerte Bewegung kommt. Es ist dies ein Betrag der kaum jemals in einem Monat auftreten wird, sondern sich nur über

mehrere Monate ansammeln kann (durch Abschmelzen der winterlichen Schneedecke vermehrt um weitere Niederschläge). Bei stärkeren Niederschlägen nimmt die Hangbewegung progressiv zu.

Auch hier zeigen sich die Trendänderungen in den Jahren 1976/77 und 1983/84. Durch die Verbauungen und Entwässerungen konnten die Hangbewegungen zunächst etwa um die Hälfte, dann fast bis zu 90 % der ursprünglichen Bewegungen (bei 1.000 mm Niederschlag in 10 Monaten) vermindert werden. Ebenso kann erwartet werden, daß durch Aufforstungen und dadurch vermehrte Schneeinterception bei Verringerung des Niederschlagsinputs noch eine weitere Stabilisierung erreicht werden kann. Gleichzeitig zeigt sich aber auch wie gefährlich größere Rodungen (durch Entfall der Schneeinterception) für labile, auf Durchfeuchtung reagierende Hänge sein können. Forsthydrologische Messungen, die quantitative Aussagen in diesem Zusammenhang ermöglichen, sind im Gange (KRONFELLNER-KRAUS et al. 1984). Mit einer neuen Abflußmeßanlage im Hauptbach (RUF 1981) soll nunmehr auch die Hydrologie des gesamten Einzugsgebietes in die weiteren Untersuchungen mit einbezogen werden.



Der Oselitzenbach war schon lange, seit 1966, als ein Mustereinzugsgebiet vorgesehen gewesen. Die erforderlichen genauen Karten waren daher schon vorhanden. Es wurden die geologischen (MOSER und ANGERER 1988) und wildbachkundlichen Untersuchungen eingeleitet und verschiedene Verbauungsvarianten studiert (SKOLAUT 1985, KRONFELLNER-KRAUS & NOISTERNIG 1986). Von diesen wurde eine Kombination von kurzer Sperrentreppe mit einem folgenden Felskanal als günstigste Lösung realisiert. Durch die Verlegung des Baches wurde die Felswand begradigt und mit dem anfallenden Aushub (250.000 m³) der rechte Hangfuß stabilisiert. Weiter bachaufwärts wird der Graben in konventioneller Weise verbaut, mit Abweisspornen und mehr oder weniger offenen und flexiblen Sperren.

Um auch in dieser Zone wildbachkundliche Kennwerte zu erhalten, wurden nun auch in diesem Bach (nach Fertigstellung des Felskanals) synchrone Niederschlags- und Abflußmessungen begonnen und die erforderlichen Meßanlagen eingebaut.

Zusammenfassung

Es werden aktuelle Aufgaben und Ergebnisse der Wildbachforschung an Hand von Beispielen besprochen.

Eine neue Schätzmethode für extreme Wildbach-Feststofffrachten ermöglicht sowohl eine sicherere Abgrenzung von Gefahrenzonen als auch eine rationellere Planung von Wildbachverbauungen in verschiedenen Wildbachzonen Österreichs und in angrenzenden Landesteilen.

Genauere wildbachkundliche Kennwerte hinsichtlich Hochwasser- und Feststofffrachten wurden im Dürnbach ermittelt. Sie lieferten Hinweise für die Bemessung von Wildbachverbauungen vor allem hinsichtlich der Abflußprofile, die auch regional auf umliegende Gebiete übertragen werden können. Neben dem Reinwasserabfluß sind in steilen Bächen die durch Feststoffmengen vermehrten und verlangsamten Abflüsse sowie Abflußunregelmäßigkeiten mehr als bisher üblich (bis über 100 %) in Rechnung zu stellen. Außerdem wurden in diesem Bach verschiedene flexible Sperren getestet.

Im Gradenbach werden Probleme der Stabilisierung großer Rutschungen (Talzuschübe) untersucht. Es handelt sich um sogenannte aktive Geschiebeherde, die durch ihre talwärtige Bewegung ständig und langfristig große Geschiebmassen zu den Bächen heranschaffen. Auf Grund langjähriger Untersuchungen und Messungen gelang es die Abhängigkeit der Hangbewegung vom Ausmaß der Hangdurchfeuchtung schon über die Niederschläge zu quantifizieren. Und zwar steht dort die der Schneeschmelze folgende Hangbewegung mit der Niederschlagssumme der zehn vorangegangenen Monate in einem mathematisch formulierbaren Zusammenhang. Damit ist dieser Gefahrenherd nunmehr unter Kontrolle gebracht. Es ist möglich die Unterlieger zum frühest möglichen Zeitpunkt zu warnen und die Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahmen (Konsolidierung im Graben und Entwässerung des Hanges) zu überprüfen.

Die gewonnenen Erfahrungen fanden eine Anwendung im Oselitzenbach, als dort nach der Hochwasserkatastrophe im Jahre 1983 eine neue Verbauungsperiode begann. Das bereits seit langem für Messungen vorgesehene Einzugsgebiet wurde mit den erforderlichen Meßanlagen ausgestattet um auch für diese Wildbachzone genauere Kennwerte zu erarbeiten. Insbesondere die Vorgänge in Wasser-Geschiebegemischten Abflüssen in steilen natürlichen Wildbachbetten sind Gegenstand weiterer Forschungen.

BIBLIOGRAPHIE

- BRÜCKL, E., 1984:** Bericht über seismische Untersuchungen im Bereich des Talzuschubes im Gradenbach. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 153, 69-73.
- EXNER, CH., 1964:** Erläuterung zur geologischen Karte der Sonnblick-Gruppe. Geolog. Bundesanstalt Wien.
- FÜRLINGER, W., 1988:** Geologische Kartierung und Beschreibung des Einzugsgebietes des Dürnbaches mit besonderer Berücksichtigung der Hangbewegung. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 161, 210-243.
- JEGLITSCH, F., 1976:** Hochwässer, Muren, Rutschungen und Felsstürze in Österreich 1971-1973. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 114. Weitere Ms. in Druck.
- KAHLER, F. & S. PREY, 1963:** Erläuterungen zur geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen. Geolog. Bundesanst. Wien.
- KRONFELLNER-KRAUS, G., 1980:** Neue Untersuchungsergebnisse in Wildbächen - Der Talzuschub in Abhängigkeit von Niederschlägen. Intern. Symp. Interpraevent, Bad Ischl, Bd.1, 179-192.
- **1984:** Extreme Feststofffrachten und Grabenbildungen in Wildbächen. Intern. Symp. Interpraevent, Villach, Bd. 2, 109-118.
 - **1988:** Offene und verformbare Wildbachsperrren aus Stahl. In: Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung, Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 159, 69-87.
 - **1988:** New Results and Experiences in the quantitative Estimation of Torrents. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 159, 69-83.
 - **1989:** Die Änderung der Feststofffrachten von Wildbächen. Informationsbericht 4/89 des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, 101-115.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. & H. SCHAFFHAUSER, 1984:** Schneehydrologische Untersuchungen in einem Talzuschub in Kärnten, Österreich. DVWK/IUFRO/HFV-Tagung "Schneehydrologische Forschung in Mitteleurop", Hann. Münden, BRD, 1984, DVWJ-Mitt. 7, 373-383.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. & H. NOISTERNIG, 1986:** Oselitzenbach, Studie über die Sohlenhebung von hm 27 bis hm 35. Ms. 36 S.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. & I. NEUWINGER & G. RUF & H. SCHAFFHAUSER, 1988:** Über die Einschätzung von Wildbächen - Der Dürnbach. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 161.
- MOSER, M. & S. GLUMAC, 1982:** Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzuschubes Gradenbach (Kärnten). Verh. Geol. Bundesanst. Wien, 3, 209-241.
- MOSER, M. & J. ANGERER & S. SEITZ, 1988:** Geotechnische Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Verbauungsprojektes Oselitzenbach/Kärnten. Intern. Symp. Interpraevent, Graz, Bd.3, 77-102.
- NOBILIS, F., 1989:** Die Hochwasserabflußverhältnisse an der oberen Salzach. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 161, 245-259.
- SCHREIBER, H., 1970:** Über Methoden zur Berechnung der V-Jährlichkeit von Hochwässern. Österr. Wasserwirtschaft, 22, 516, 138-153.

- RUF, G., 1981: Abflußmeßanlagen in geschiebeführenden Wildbächen. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 138, 125-136.
- 1989: How to replace the Manning (Strickler) Formula in steep and rough torrents? FBVA-Berichte, Wien, 36, 99-106.
- SKOLAUT, H., 1985: Verbauungsprojekt Oselitzenbach
- SMART, J. & M. JAEGGI, 1983: Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitt. Vers. Anst. Wasserbau, Hydrology und Glaziologie, ETH-Zürich, Nr. 64.
- STRITZL, J., 1971: Teilbericht 2: Exkursion Gradenbach, Intern. Symp. Interprevent, Villach, Österreich, Bd. 4, 178-281.
- ZÖTL, J., 1972: Hangwasseruntersuchungen Gradenbach. Vereinigung hydrogeol. Forschungen Graz. Ms. 19 S.

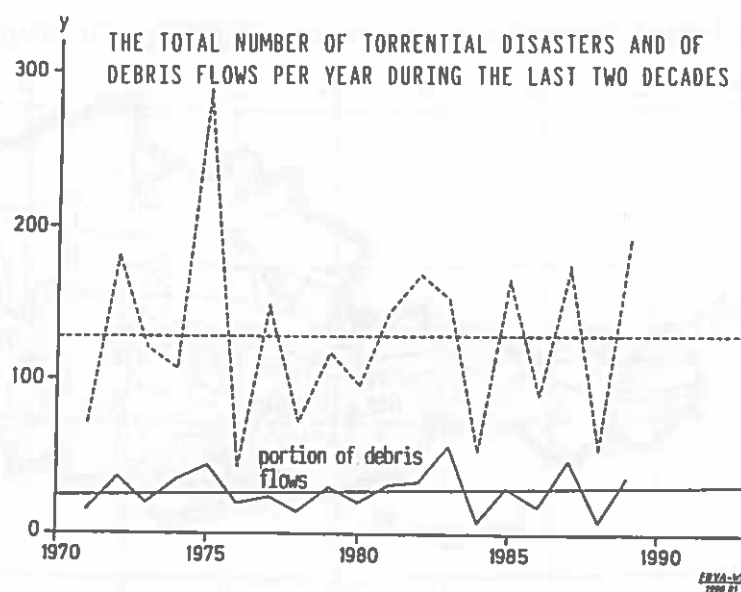
SOME ACTUAL PROBLEMS AND RESULTS OF TORRENT RESEARCH IN AUSTRIA

by

Gottfried Kronfellner-Kraus

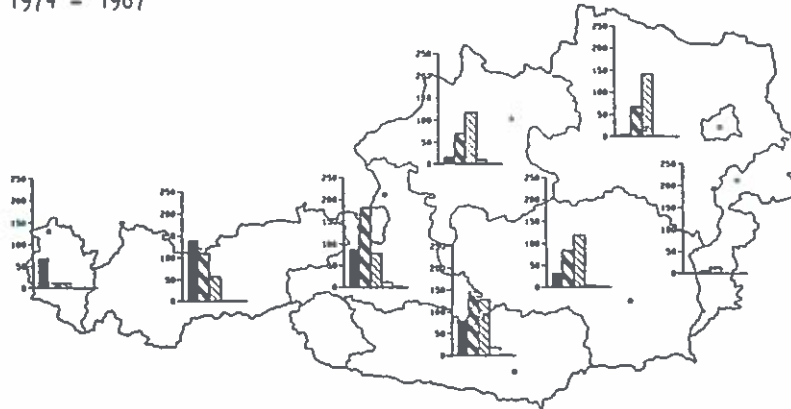
Preface

The increasing strain of mountainous regions enhances at the same time the demands for protection against torrents and avalanches. The great number of torrential occurrences with damages during the last two decades demonstrate the imperative of additional control and planning measures as well as of special research. For example, 46 people have been killed, 3,674 buildings have been destroyed or heavily damaged and 4,273 ha of cultivated land have been devastated by torrential floods and debris flows since 1971 in Austria (JEGLITSCH 1976). During these two decades the yearly number of torrential events (125 per year) remained approx. constant. The success of torrent control measures seems to be constantly neutralized by newly created risks.



The analysis of frequency and spatial distribution of torrential disasters in the different Austrian provinces indicates that the problems of debris transport and sedimentation prevail in high mountain ranges. But it simultaneously shows, that the quantification of sediment transport is of equal importance in highlands and hilly ranges.

THE DIFFERENT KINDS OF TORRENTIAL
EVENTS IN THE DIFFERENT AUSTRIAN PROVINCES
1974 - 1987



From left to right in the
blockchart:

- debris flows,
- floods with heavy,
- less and
- no debris transports,
- landslides

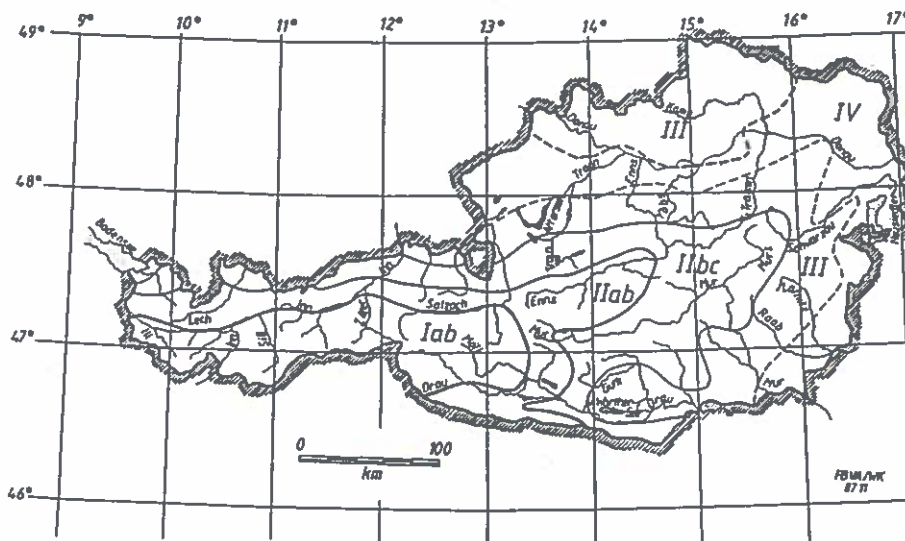
LEGENDE:
Anzahl der Ereignisse:

Null
Hochwasser mit viel Gerölle
Hochwasser mit wenig Gerölle
Hochwasser
Rutschung



Torrential zones

Corresponding torrential zones could be delimited by an analysis of approximately 2,000 floods and/or debris flows. With the accumulated data the strength of mountain streams could be estimated in terms of magnitude. The formula for extreme sediment transport by individual torrential occurrences ($GS = K \cdot J \cdot E$) includes all experiences to data and spatial conditions as well as the existing soil protection circumstances. On-going improvements of this formula are possible on the basis of the future accumulation of up to date information on the latest torrential occurrences (KRONFELLNER-KRAUS 1982, 1984, 1989).



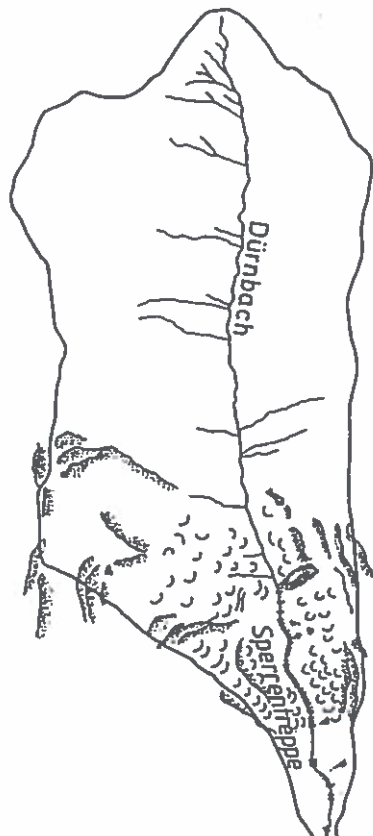
Investigations in experimental watersheds

Torrential data allowing calculations in closer boundaries have to be measured over a long period. Some experimental watersheds exist in Austria for this purpose equipped with all the necessary instruments, thus working as natural laboratories. The watershed of the Dürn creek may serve first as an example for such research activities. The results of these studies were published in a booklet last year. Some of the most important and surprising results will be discussed next (KRONFELLNER-KRAUS & al. 1988).

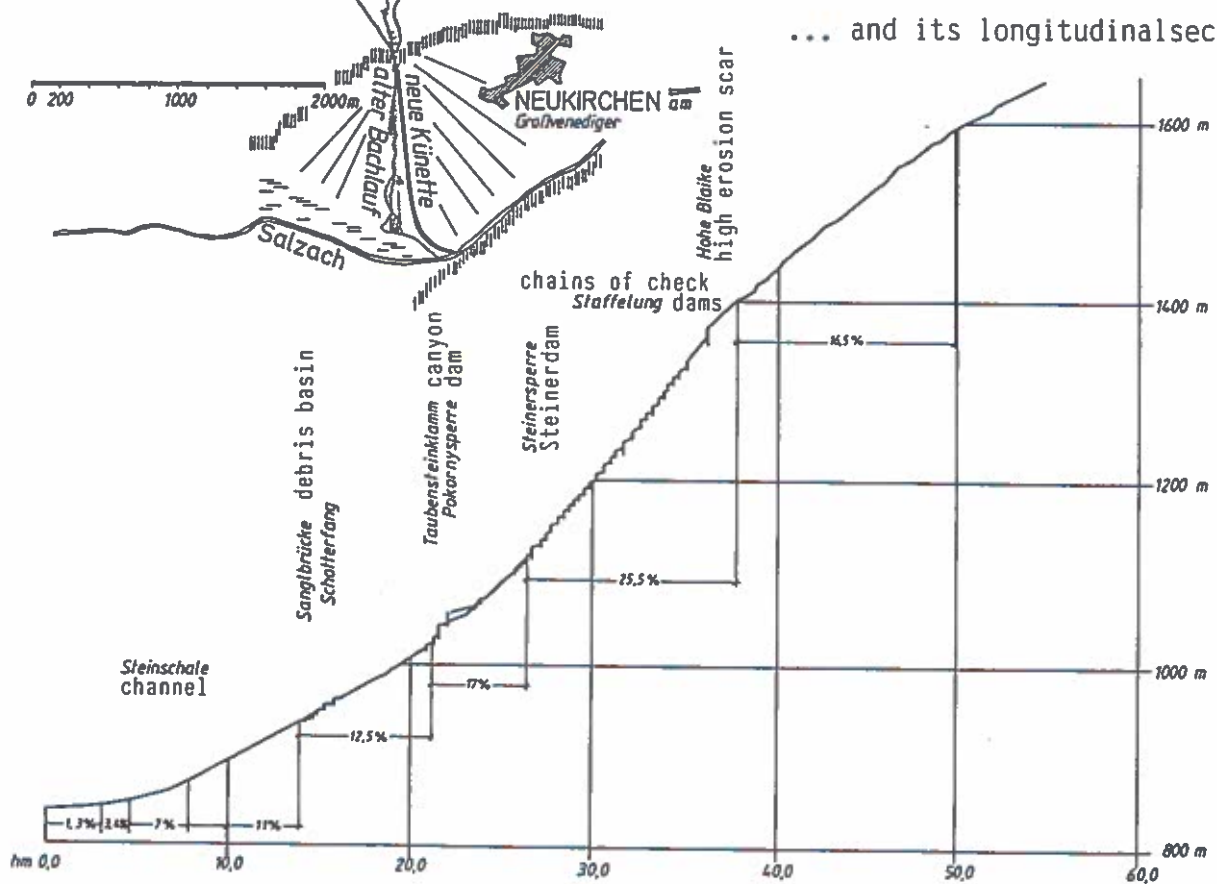
Dürn creek

The Dürn creek dewateres a drainage basin of 9 km² at the southern flank of the Kitzbühler Alps into the Salzach river. Within the Salzach river valley the Dürnbach endangers the village Neukirchen and the main road and railway through this valley. The creek is shaped like a deep, partly canyon-like, gully, the banks of which have suffered from erosion over 3 km². The eroded stretch has been stepped by 30 check dams since the beginning of this century. Two debris basins have been built at the outlet of the gully and the water course over the alluvial fan has been corrected by a paved channel. The active sources of debris, mountain pressure and the aggressive water stressed some control constructions so heavily that there were great damages during the catastrophe in 1965. In order to renew and continue the torrent control work more valid data and better corresponding construction types were then desired.

On the basis of special aerial photos exact maps (1:5.000) have been produced and geology, soil and vegetation of the whole drainage basin mapped. During 10 to 16 years precipitation and run off, erosion, mountain pressure and debris transport have been measured simultaneously and effects and torrent control techniques have been studied.



Sketch of the Dürnbach, its watershed and alluvial fan ...

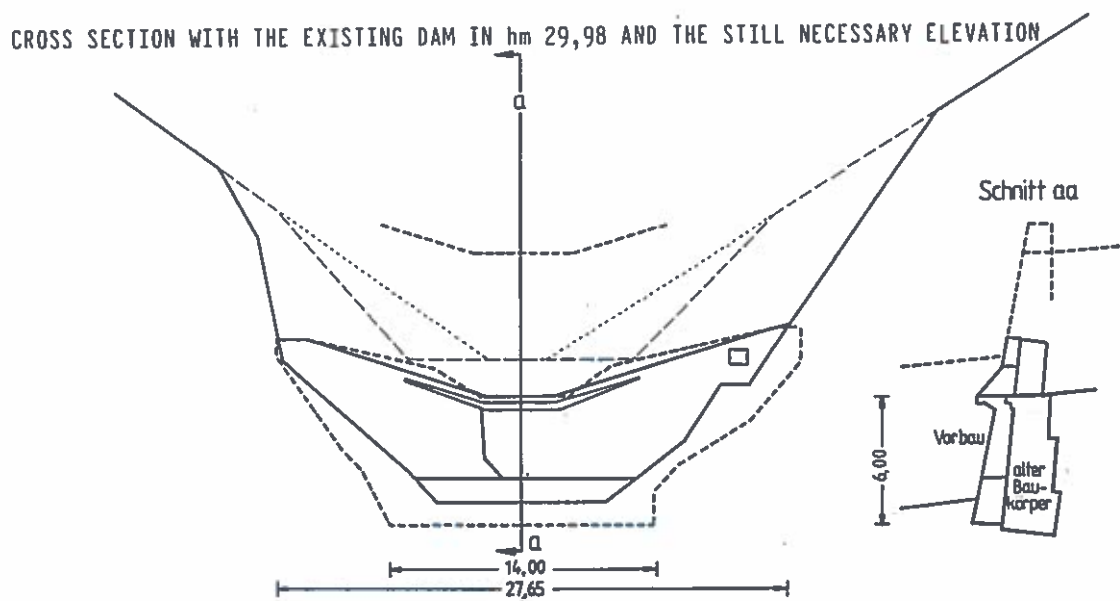


The so-called 100-year flood was determined by $HQ_{100} = 16,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Comparably, this amount is a third of the flood discharge calculated by the Wundt-90 %-curve ($51 \text{ m}^3/\text{s}$) and approximately half of the flood wave ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) formerly used for torrent control constructions in this watershed. But the measured results correspond satisfactorily with the data from the Salzach valley collected by the Hydrographic Service. According to SCHREIBER (1970) there is a well-known relationship between ten-year- and hundred-year-floods (HQ_{10}/HQ_{100}) and according to KREPS (cit. by NOBILIS 1989) the Wundt-90 %-curve corresponds approximately to 100-year-floods in Austria. Indeed the specific water retention in a watershed has to be taken into consideration. Such a coefficient ranges between 1,0 - 0,25. Therefore the retention coefficient in the case of the Dürn creek amounts to $c = HQ/HQ' = 16,4/51 = 0,32$.

Although the flood discharge, used for the former torrent control construction was twice ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) the measured discharge ($16,4 \text{ m}^3/\text{s}$), the spillways of the chain of check dams were really too little, owing to the existing debris transport and decrease of water speed. During the last 16 years the yearly sediment yield has been determined at $180 \text{ m}^3/\text{km}^2$ on average. In the case of extreme isolated occurrences one also has to assume here a volume of sediment transport in the order of magnitude from 90.000 to 150.000 m^3 . The decreased speed of flow by water and sediment transport in the overboarding spillways was determined at between 1,6 - 2,5 m/s . This low data corresponds satisfactorily with the formula by RUF (1988) and also by SMART et al. (1983). Moreover the debris transport takes place in the form of waves or batches which need greater profiles. The deposits within the chain of check dams were some times bigger than the sedimentation within the two debris basins below. The gradient of siltation within the chain of check dams was between 0 and 20 %. Therefore, in comparison to clean flood discharge one has to take into consideration the increase of volume and decrease of flow speed by debris transport and moreover, irregularities in the run-off processes, to a much greater extent (100 % and more) than before. There are no problems within the channel on the alluvial fan, because the spillway there is great enough for the clear water after the retention of debris in the upper lying debris basins.

According to the Geological map (FÜRLINGER 1988) and with the help of geodetical and geotechnical measurements, the stretches which have been most stressed by mountain pressure have been researched. Severely damaged dams have been replaced and new dams built as more or less open and flexible dams. This

was described in detail during a former session (KRONFELLNER-KRAUS 1988). Furthermore, some stretches of check dams are still too low. There, the foot of some slopes is still being eroded and spillways can be further narrowed or closed by sediment from rock falls and landslides. In these cases the check dams have to be elevated in such a way that the slopes can be naturally inclined and floods can run-off in a desired breadth.

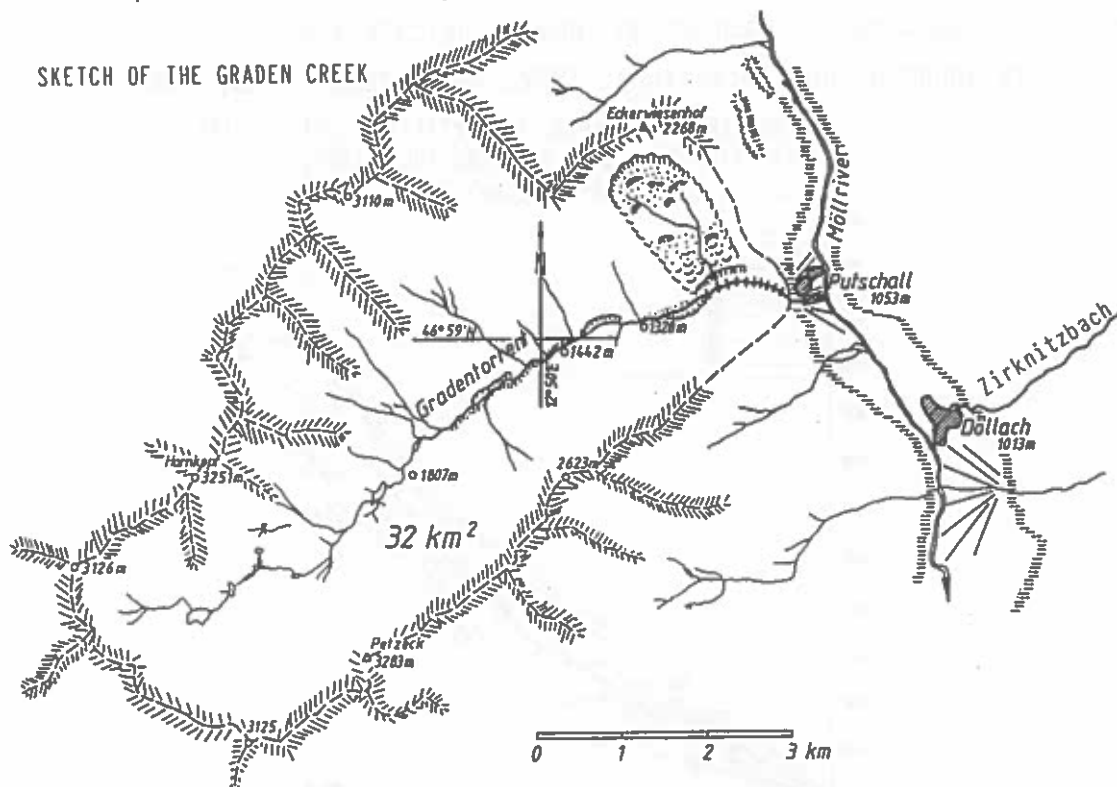


The problems of flow processes, water speed and debris transport are still subjects of further intensive research. Provisional results (RUF 1989) have been reported and discussed at the last session.

Graden creek

The problem of sanitation of active bedload sources are being investigated in the Graden creek. Former results have been published (KRONFELLNER-KRAUS 1980, 1984). But investigations have continued in the meantime and therefore the description should be brought up to date in the following.

Within the drainage basin of the Graden torrent in the Möll valley, Carinthia, the so called Berchtold slope is creeping downwards to an extent of about 2 km² thereby closing the exit of the Graden valley over a stretch of 1 km. The Berchtold slope has a average gradient of 50 % towards the southeast, and the Graden gully in this stretch has a depth of approximately 100 m being cut out in a steep V-shaped section. Owing to its ground and lateral erosion the brook continually initiates the creep or slide of the slope therefore closing the valley. During the catastrophic floods in the years 1965 and 1966 a total volume of about 1,3 million cubic metres of sediment were transported on the alluvial fan and into the following valley bottom of the Möll-river. The village of Putschall was buried twice so that most of its inhabitants had to be resettled. But also the outlet of the next downstream Zirknitz torrent was blocked up so that the village Döllach was flooded and buried.

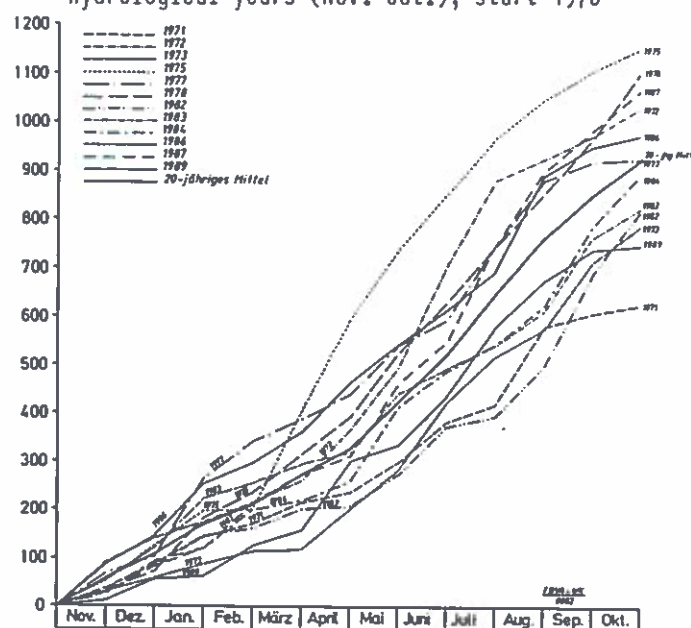


Immediately after the catastrophes, control work was initiated and the Graden gully was stepped by a chain of check dams. The check dams have been strongly reinforced according to the positive experiences obtained in a similar case. Nevertheless, by different movements and slide pressure from the toe of the slope some check dams have been damaged, so that it was necessary to protect the damaged dams by rip raps in front of them. So they work continuously as erosion basis (STRITZL 1971). Afterwards two reinforced rip rap dams were also built.

The investigation and measurements were initiated in 1967 and are being continually intensified. First of all, an exact map basis (1:5.000) had to be established from aerial photos. According to the geological map, the bed rock of the slope is a phyllitic material within the so-called Matrei-zone which moved down as a whole, keeping its layer structure (EXNER 1964). The measurement programme of the creeping slope and of the valley narrowing of the Graden gully includes first of all the precipitations, temperature, spring discharges and run offs from two little creeks, slope deformation and mountain pressures.

The precipitations are measured at a basis station throughout the year by recording at other points distributed over the slope partly by recording, partly by collecting. The summation curves indicate the years of the most abundant precipitations: 1972, 1977, 1978, 1986, 1987 and most of all 1975.

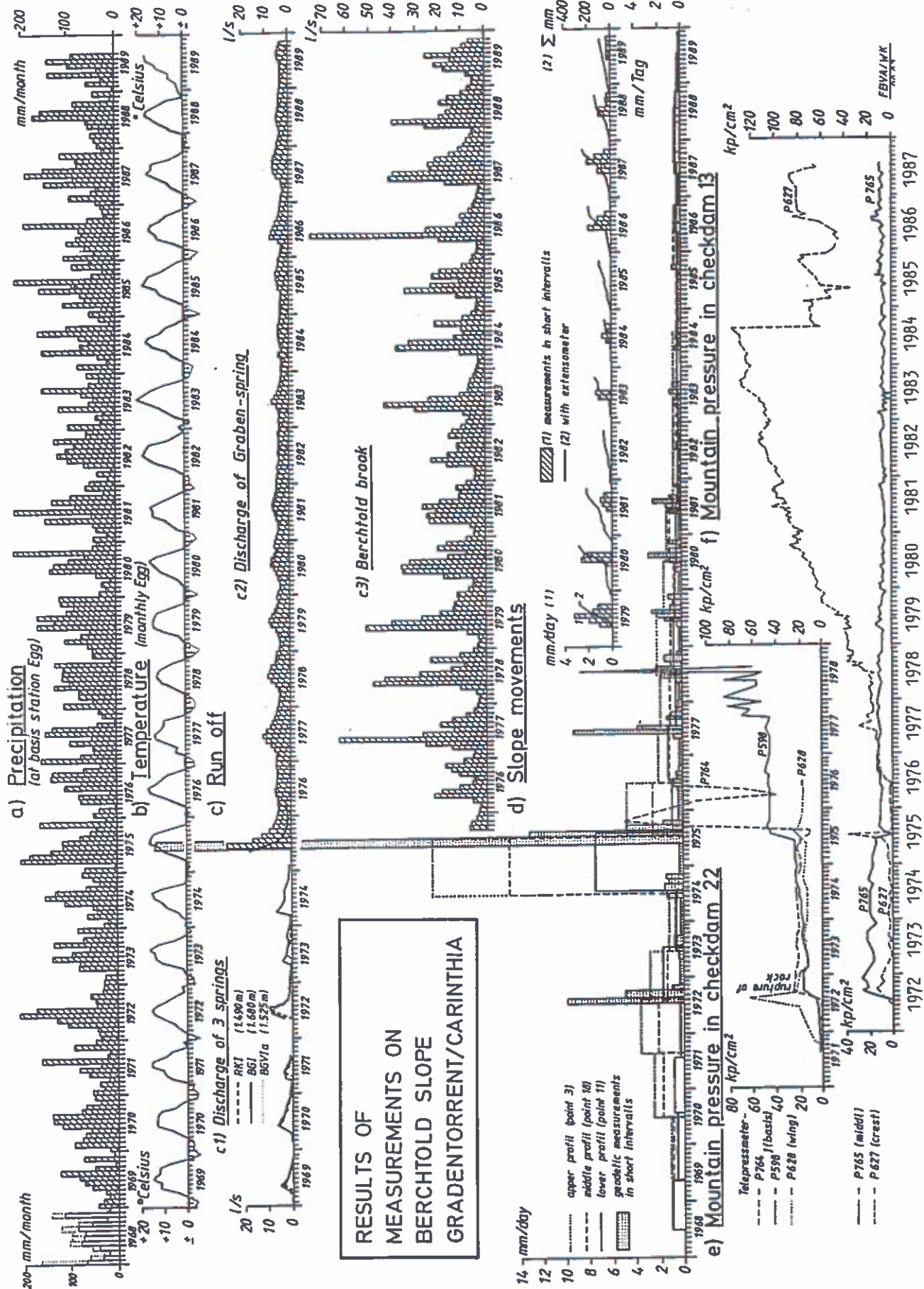
CHARACTERISTICAL TOTAL PRECIPITATION LINES OF THE
BASIS STATION EGG ON THE BERCHTOLD SLOPE;
Hydrological years (Nov.-Oct.); start 1970



The whole slope is relatively wet. The measurements of spring discharges and the water and air temperatures, according to the fluctuation differences, have provided first indications regarding the depth of the source waters. In the course of drainage work, the measurements have been shifted to the drainage stretches where they are continued in sharp-edged-v-notch weirs, partly with recording levels.

The run offs of the two little brooks draining the slope are determined by the same principle: medium and low waters are led to the measuring basin over grates like the Tyrolean weirs, while floods and mud flows bypass the measuring chamber in order to prevent a sudden silting up of the measuring basins. It has been determined that about 50 % of the complete precipitation was the run-off rate of the drainage work. A great part of the run off trickles down into the depth without trace. The hydrographs of the different measured run-offs, together with the moment of run-off peaks give additional indications regarding the depth of the corresponding drained zone, the results of which are perfectly compatible with those obtained by tracer tests (ZÖTL 1972).

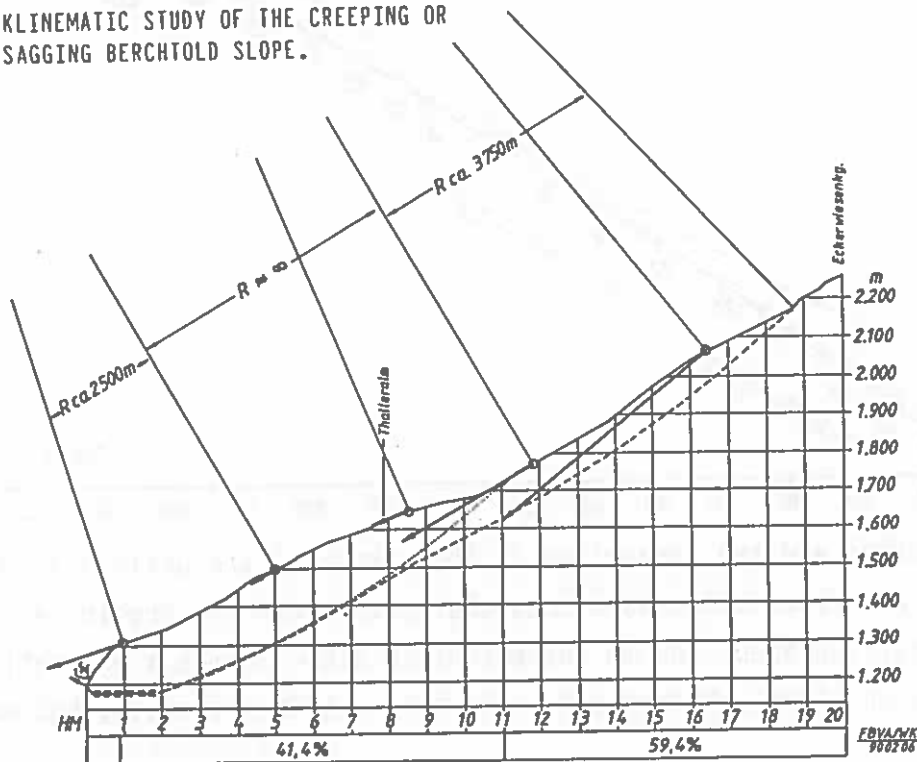
The geodetic slope control was initiated in three and was continued in six profiles and is being now carried out on three levels. Both yearly slope movements as well as movements in shorter approximately monthly intervals, have been measured. The extent of annual movements in the beginning amounted to several decimetres, reaching the maximum values of several metres (11 metres in the top area, 3 metres on the lower slope) in the year 1975. Since control and drainage works came into effect, these movements have been considerably reduced again to some centimetres per year. In order to determine these movements according to time more exactly, a water-level and two automatic distance metres (with two wires each for virtual advance) have been installed in the gully stretch over the banks of the Graden brook. These records show that a steady, very slow movement in wintertime rapidly advances after the spring thaws, reaching a maximum shortly afterwards and slowly decreases in the autumn. These results are also compatible with the measurements of mountain pressure carried out in two check dams with telepressmeters until the rupture of the rock or check dams respectively.



When comparing the times of the main measuring results, the relationship between them becomes clearer with increasing measurement duration. As expected, during the years with more abundant precipitations there are correspondingly greater rates of slope movement and mountain pressure. In the corresponding diagram, under a) the monthly amounts of precipitation are plotted, followed by b) temperature curve, c) monthly spring and brook discharges and then d) the yearly as well as approximately monthly slope movements which reached higher rates in 1972 and 1977 and a maximum in the year 1975. In and after 1979 the results from distance metres are also shown additionally (d1, d2). At the bottom under e) the plotted mountain pressures show their similar variation.

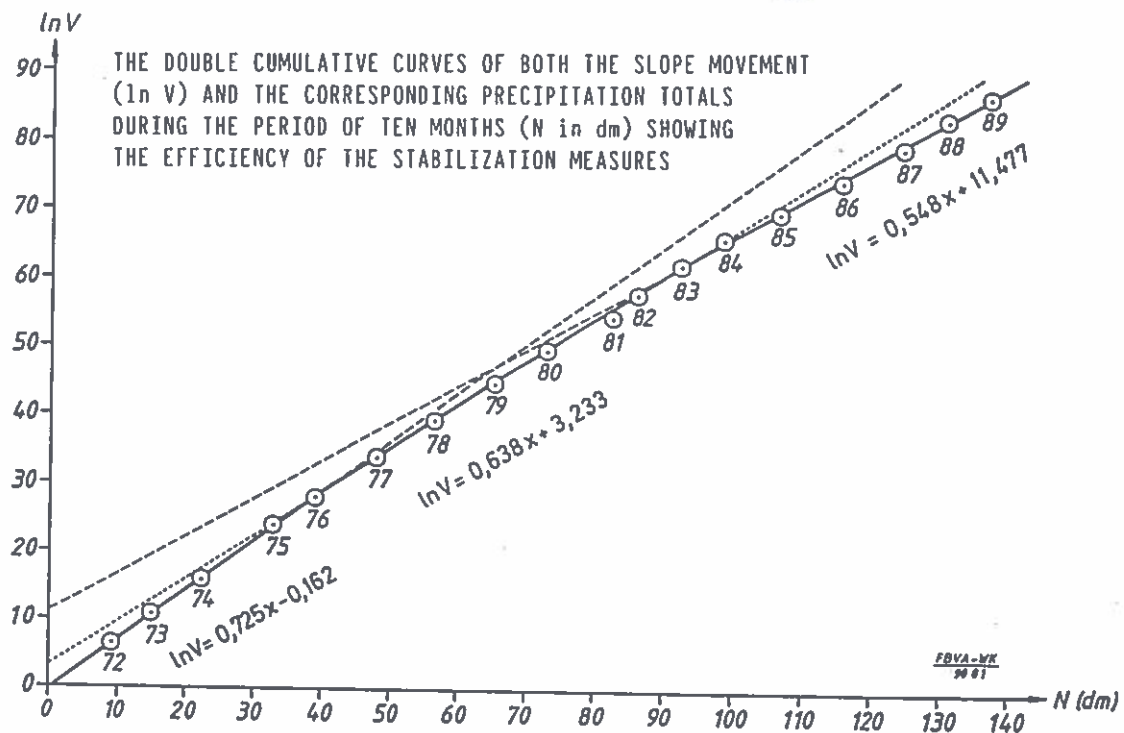
The spatial vectors of slope movement determined by geodetic means enabled the establishment of a kinematic picture indicating depth values of about 100 m in the upper slope and 180 m in the lower slope, with the total moving mass of about 150 million cubic metres. Borings ordered by the local torrent control service have reached a moraine at a depth of about 28 to 33 metres in the gully and probably the upper limit of the movement zone at a depth of 130 m at the lower part of the Berchtold slope (STRITZL 1971). Seismic investigations of the depth and volume of the moving mass have provided comparable results (BRÜCKL 1984). MOSER and GLUMAC (1982) point out the movement in form of non-uniform sliding clods. Regarding the depth and the mass of slope movement, however, there is no contradiction.

KLINEMATIC STUDY OF THE CREEPING OR SAGGING BERCHTOLD SLOPE.



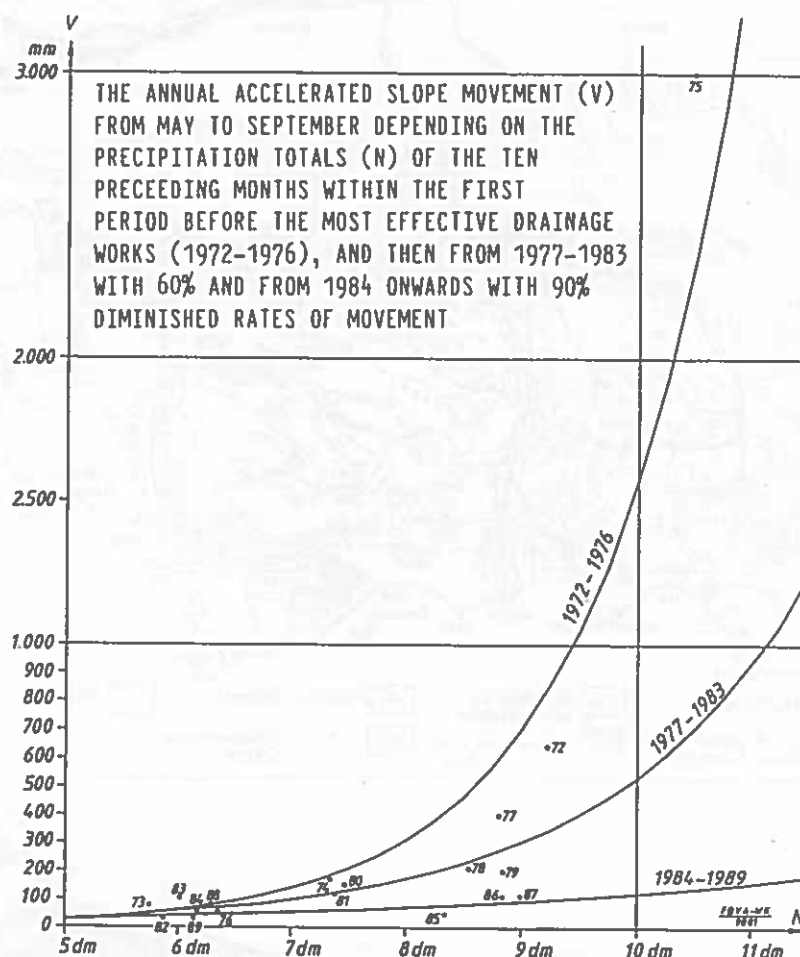
For prediction purposes the relationship between slope water-level and slope movement is well known. Owing to the measurements of precipitation and slope surface movement, we have carried out for many years, a clearly noticeable dependence of the slope movement on the previous precipitations can be found even earlier. In the Graden torrent the closest relationship is obtained when comparing the extent of the annual slope movement (approximately until September) with the total precipitation of the 10 preceding months (i.e. from November until August of the following year in form of a linear regression of a semilogarithmical curve).

The double-cumulative curve of both the slope movement (V in millimetres in a logarithmic scale, $\ln V$) and of the corresponding precipitation totals in ten months (N in dm) always showed clear trends. First there were great movements until 1976, then during the period 1977 to 1983 reduced, and movements diminished by up to 90 % from 1984 on. From 1976 onwards especially higher areas have been drained where spring discharges relatively near to the surface rise. It therefore seems that these drainage works in particular have had a more stabilizing effect, than the earlier, lower drains.



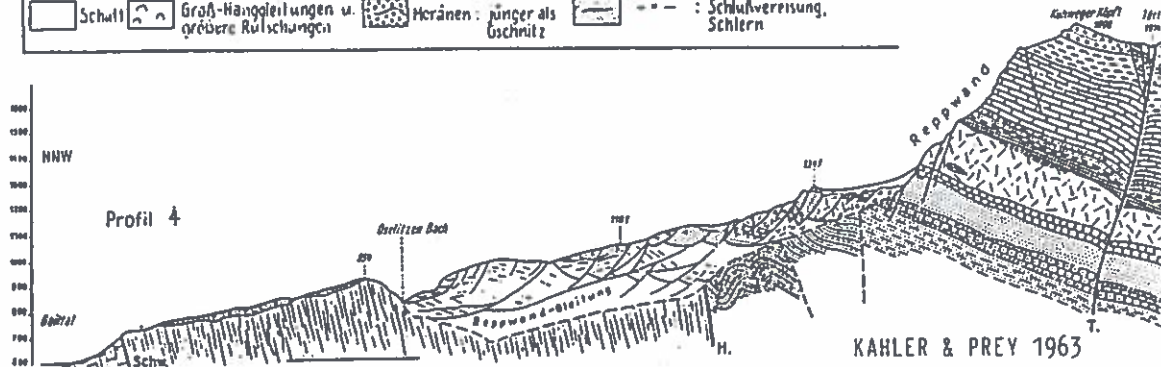
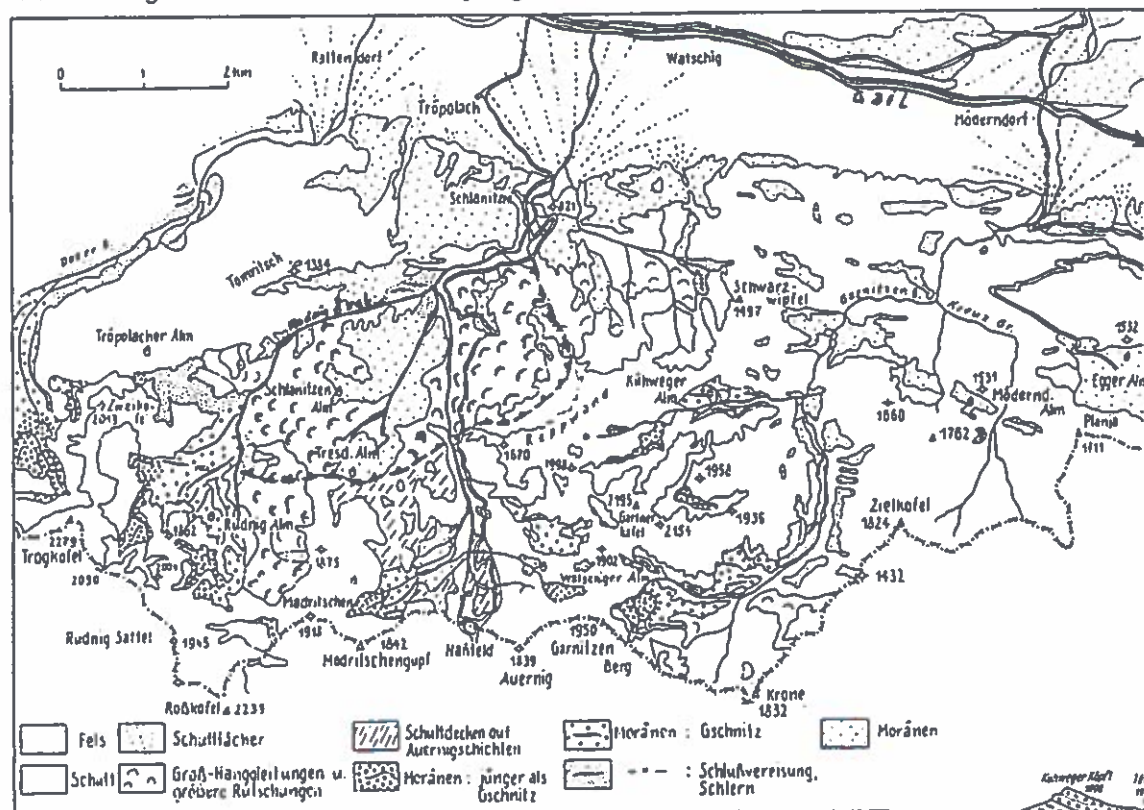
The courses and the comparison of the curves of the periods 1972 to 1976, 1977 to 1983 and from 1984 onward show that only after the precipitation sum of ten month totalling about 500 mm the Berchtold slope begins a noticeable movement. This is an amount which would never fall within one month, but may be

accumulated only in several months (by melting of the snow cover enhanced by further precipitations). Furthermore, these trend variations demonstrate again that the established control and drainage works have clearly reduced the slope movement first to 60 % and then to nearly 90 % from the rate in the beginning of measurements in 1972 (at about 1000 mm precipitation). In the same way, we can expect that by afforestations, e.g. by increasing snow interception and therefore reduced snow cover and following snow melt, a further stabilization can be obtained. At the same time, however we must note how dangerous larger clear-cuts can be for unstable, wetting-sensitive slopes. Forest-hydrologic measurements are being carried out in order to supply quantitative data for this purpose (KRONFELLNER-KRAUS & SCHAFFHAUSER 1984). With a new measuring flume in the main waterway (RUF 1981), the hydrologic research has been extended to the whole watershed of the Graden torrent.



Oselitzen creek

The Oselitzen creek in Carinthia drains a 27 km² sized watershed on the northern flank of the Karnisch Alps into the Gail valley. This torrent endangers two villages there, Tröpolach and Watsching, as well as the main road and railway through the valley and the road leading through the watershed to the Naßfeldpass to Italy. The dangers are mainly caused by 8 km² sized creeping slopes at the right banks of the Oselitzen creek and its main tributary, the Rudnig creek. The control works began already in the former century and were steadily continued mainly within the Rudnig creek, stabilizing the creeping Schlanitz slope. In 1983 the right hand Reppwand slope in the lower part of the Oselitzen creek was eroded because a left hand rock wall directed the flood wave into the toe of the right hand slope. The caused land slide interrupted the Naßfeld main road twice, through the landslide itself and by the following debris flow destroying the lower Nikolo bridge.



Investigations and torrent research have been planned in this drainage basin since 1966. Therefore the necessary accurate maps (1:5.000) were already available. The geologic (MOSER & ANGERER 1988) and torrential investigations were initiated and several variants studied (SKOLAUT 1985, KRONFELLNER-KRAUS & NOISTERNIG 1986). Lastly the most economic variant was realized consisting of a combination of a short chain of check dams followed by a channel through the rock eliminating the dangerous rocky wall. The toe of the right land slide was covered by a bank composed of waste rocky material (250.000 m³) excavated in the new channel. Further upwards the torrent is controlled in the conventional manner, with groynes and more or less open, flexible check dams.

Also further accurate torrent research was introduced in order to search for the right torrential data for this watershed and for the neighboring zone. After completion of the diversion channel synchronized precipitation and run off measurements were started with the necessary equipment and with a new discharge measuring flume and computer aided instruments.

Summary

This paper deals with actual tasks and research results using examples.

A new estimation method for extreme debris transports from torrential watersheds enables both a more certain zoning of danger areas as well as a more rational planning of torrent control works in different zones of Austria and in neighboring areas.

More specific data on flood discharges, erosion and debris transports are determined in some experimental watersheds and are discussed in detail. The measuring results found in the Dürn creek watershed delivered some fundamental aspects in order to design control works and their spillways, debris basins, etc. which are also transferable to neighboring ranges. Besides clear water discharges, the increase of flow volumes by sediment transport and reduction of flowing speeds, as well as irregularities have to be taken into consideration much more (100 % and more) than before. More or less open and flexible dams were also tested in this watershed.

The problems of stabilizing deep-seated and large landslides were studied in the Graden torrent. Such deep-seated land slides work as so-called active erosion scars or debris delivering ranges, because their downward movement brings a steady rate of debris into the waterway, simultaneously narrowing the canyons. Through longterm and extensive measurements and investigations it was possible to quantify the dependence of the rates of slope movement on ground water due to the former precipitation. In the case of the creeping Berchtold slope in the Graden creek watershed, the degree of the yearly slope movement (in dimensions of decimetres and metres) depends on the precipitation sum of the preceeding 10 months (from November to August), including snow melt and additional rain water in spring and summer time. Through the intensive torrent control and the drainage works as well as with the found mathematical correlation, the whole Berchtold slope could be brought under control. With the help of the found correlation it is possible to check the efficiency of the whole sanitation measures and to warn the affected people at the earliest possible time.

The different experiences could be applied to the Oselitzen creek in the Gail valley in Carinthia. This brook has been chosen to be used as an experimental watershed since 1966. But a new period of torrent control and research investigation did not begin until after the catastrophe in 1983. The necessary measuring equipment was installed in order to determine the specific regional data for floods and debris transports, as well as to study all flow processes in steep natural waterways, which are simultaneously the dominating problems of further research.

Bibliography

- at the end of the German version -

WASSERAUFNAHME UND VERSICKERUNG BEI VERSCHIEDENEN BODENFORMEN IM NASSFELD, KARNISCHE ALPEN

von
Irmentraud Neuwinger

Zusammenfassung

Bei verschiedenen Bodenformen im Bereich der "Karnischen Schiregion" im Naßfeld, Kärnten, wurden im Zuge von Beregnungen Wasseraufnahme und Wasserfluß gemessen.

Der Einsatz von Druckaufnehmertensiometern ermöglichte die Registrierung des Wasserflusses während und nach der Beregnung. Zusätzliche Laboruntersuchungen lieferten Informationen bezüglich der verschiedenen Porenräume für die Aufnahme von Sicker- und Haftwasser. Eine einfache Apparatur wurde für die Untersuchung der Leitfähigkeitskoeffizienten bei verschiedenen Saugspannungen verwendet. Die vier untersuchten Bodenformen

- Braunerde unter Alpenrosenheide,
- Braunerde unter Weiderasen,
- geschobene Piste aus vergleyter Braunerde und
- Pseudogley-Braunerde unter Laubmischwald

verhielten sich bei den Beregnungen sehr unterschiedlich. Den geringsten Oberflächenabfluß und die größte Bodenfeuchtezunahme wies der Waldboden auf, gefolgt von der Alpenrosenheide und dem Weiderasen; die Piste zeigte erwartungsgemäß den größten Oberflächenabfluß.

Bei allen Böden setzte die Versickerung rasch ein, Durchflußmenge und Wasserspeicherung wurden aber von der Textur und der Porenverteilung der Bodenhorizonte, und somit von der spezifischen Leitfähigkeit der Bodenhorizonte bestimmt.

WATER RECEPTION AND INFILTRATION IN DIFFERENT KINDS
OF SOILS ON THE NASSFELD, OSELITZENBACH;
KARNISCH ALPS, CARINTHIA

by
Irmentraud Neuwinger

Summary

Water reception and infiltration were measured in different soils in the Karnisch Skiing area in Naßfeld, Oselitzenbach watershed, Carinthia.

The tested soils and instruments used in the field during the artificial rainfall test as well as within the laboratory are described and discussed in detail. The four tested soils:

- brown soil under rhododendron heath,
- brown soil under grass heath,
- gleyed brown soil under scraped ski paths and
- pseudogleyic brown soil under deciduous mixed forests

acted very different in artificial rainfall tests. The forest soil had the least surface run-off and the maximum increase of soil moisture, followed by soils under rhododendron heath and grass heath. The skiing path showed the greatest surface run-off.

The water infiltration began quickly in all tested soils, but the discharge and the water retention depended on the soil texture and pore size distribution within the soil horizons and therefore also on the specific conductivity of the soil horizons.

1 Einleitung und Zielsetzung.

Ergänzend zu früheren Untersuchungen in Wildbacheinzugsgebieten, mitgeteilt von SCHAFFHAUSER 1981 und 1982 wurden in den Sommern 1986 und 1987 in der Umgebung der oberen Zubringer des Oselitzenbaches im Kärntner Nassfeld Versuchsflächen mit verschiedener Vegetation und Neigung für Beregnungen ausgewählt (SCHWEIGHOFER 1989). Im Sommer 1986 zeigte der unterschiedliche Oberflächenabfluss bei den einzelnen Flächen, dass die Ausbildung von Pflanzendecke und Boden die Verteilung des Niederschlags am stärksten beeinflusste, während die Neigung der Fläche eine geringere Rolle spielte.

Es wurden daher im Sommer 1987 die Versuchsanordnungen erweitert: Messungen der Versickerung während und nach den Beregnungen und Laboruntersuchungen der wichtigsten Bodenparameter sollten Aufnahme und Fluss des Niederschlags im Boden klären.

2 Das Untersuchungsgebiet.

Das Nassfeld in den Karnischen Alpen liegt zum grössten Teil im Bereich paläozoischer Gesteine, die sehr differenziert ausgebildet sind und von mergelig-tonigen Lagen mit geringen Kalkgehalten bis zu dolomitischen harten Kalken eine reiche Gliederung auf kleinem Raum aufweisen.

Im südöstlichen Teil des Gebietes stehen am Gartnerkofel Trias-Kalke an, die in Moränenresten verstreut angetroffen werden.

Die natürliche Vegetation ist Laubmischwald, der ab etwa 1500m allmählich durch Almflächen mit Weiderasen und Inseln von Grünerlengebüsch und Alpenrosenheiden abgelöst wird. Diese Weideregion reicht bis 1700m, in Mulden auch bis nahe 1900m, darüber liegen alpine Rasen und Polster.

Die Böden des Gebietes wurden von manchen Autoren zu den Braunlehmen, den Terrae fuscae gestellt, da sie die wichtigsten Merkmale: lehmig-schluffige Textur, zähplastische Konsistenz und rötlichbraune Farbe sowie polyedrische Struktur der Verwitterungshorizonte besitzen. Sie sind durchwegs pseudovergleyt, es treten daher im Gebiet viele kleine Wasserläufe auf, die sich zu den drei grossen Zubringern des Oselitzenbaches vereinigen: Rudnig-, Weissandl- und Trögelbach. Heute ist das Gebiet ab rund 1400m SH stark durch den in den letzten 10 Jahren einsetzenden Tourismus verändert.

Die breiten Pistenflächen der "Karnischen Schiregion" und die Hotel- und Feriensiedlungen wurden auf Kosten grosser Wald- und Weidegebiete angelegt und die ursprünglichen Böden weitgehend abgetragen.

Zurück blieben "Restböden", die aus Mischungen von B- und C-Horizonten bestehen, durch Pistenfahrzeuge stark verdichtet sind und schon in den initialen Humushorizonten der jungen Kunstrasendecke Staunässe-Marmorierungen zeigen.

In diesem stark manipulierten Wildbacheinzugsgebiet wurden in der Vergangenheit bis in die jüngste Gegenwart durch Starkniederschläge und rasch einsetzende Schneeschmelze Hanganrisse und Vermurungen verursacht.

Es ist daher von Interesse, das Wasserspeichervermögen der unterschiedlich veränderten Böden mit den naturnahen zu vergleichen.

Die Versuchsflächen

Es wurden im Sommer 1987 je zwei Versuchsflächen im Gebiet des Rudnig- und des Trögelbaches angelegt, siehe die Kartenübersicht, Bild 1

Rudnigbach

Oberhalb der Rudnigalm wurden nahe einem Wasserlauf in rund 1680m SH je eine 100m² grosse Beregnungsfläche in einer beweideten Alpenrosenheide und in einem Weiderasen angelegt, die im folgenden näher gekennzeichnet werden:

Fläche I Alpenrosenheide :

Bodenform: mittelgründige lehmig-schluffige Braunerde über Moräne und Hangschutt aus Trogkofelkalken und Rattenberger Schichten unter beweideter Alpenrosenheide. Humusform: moderartiger Mull. Mit rund 25° Neigung ost-exponiert.

Zusammensetzung der Pflanzendecke:

Anzeiger für bodensaure, schwach beweidete Zwergstrauchheiden:

Rhododendron ferrugineum 4 *Vaccinium myrtillus* 2, *V. uliginosum* 2, *V. vitis idaea* 1, *Rosa pendulina* +, *Arnica montana* 1, *Solidago virgo-aurea* +, *Campanula scheuchzeri* +, *Avena versicolor* +, *Luzula sudetica* +, *Blechnum spicant* +;

Anzeiger für stark beweidete, schwach saure bis saure Böden:

Trifolium pratense 3, *Alchemilla alpina* 2, *Leontodon hispidus* 2, *Thymus serpyllum* 1, *Cerastium trigynum* 1, *Brunella vulgaris* +, *Antennaria dioeca* + *Potentilla erecta* +, *Galium pumilum* +, *Gentiana kochiana* +, *Lotus corniculatus* +, *Geum montanum* +, *Polygala amara* +, *Chaerophyllum hirsutum* +, *Cirsium acaule* + *Gymnadenia odoratissima* +, *Poa alpina* 3, *Phleum alpinum* 2, *Anthoxanthum odoratum* 1, *Nardus stricta* 1, *Festuca rubra* 2;

Anzeiger für schwachsaure bis neutrale Zwergstrauchheiden, Grünerlengebüsche und Laubmischwälder:

Rhododendron hirsutum 2, *Daphne mezereum* +, *Erica herbacea* +, *Sorbus chamaemespilus* +, *Tofieldia calyculata* +, *Plantanthera bifolia* +, *Coeloglossum viride* +, *Aposeris foetida* +, *Aster bellidiastrum* +, *Trifolium badium* +, *Hypericum silvaticum*, + *Athyrium distentifolium*.

Die obige Pflanzenliste zeigt eine Fülle von Arte, die verschiedene Ökotope anzeigen, man kann daher auf mässige Feuchte- und Wärmeverhältnisse schliessen, ebenso auf mässige Bodenazidität.

Das augenscheinliche Fehlen von extremen ökologischen Bedingungen deutet auf gut erhaltene Regenerierbarkeit der Boden- und Pflanzeneinheiten.

Kennzeichnung des Bodenprofils, Tabelle 1:

Das Solum ist durchwegs stark entkalkt, die Bodenreaktion der KCl-Aufschlammung ist stark sauer. Die Anzeiger für neutrale Böden, vor allem *Rhododendron hirsutum*, dürften auf verstreut eingelagerte Kalkblöcke hinweisen, die jedoch die allgemeine chemische Natur des Solum nicht beeinflussen. Das aus Saugkerzen gewonnene Bodenwasser ist schwach sauer: pH 6 - 6,1, Tabelle 2.

Die Bodenartkennzeichnung für die einzelnen Horizontabschnitte reicht vom sandigen Schluff zum sandigen Lehm.

Die Bodenfarbe zeigt ein rötliches Braun (nach OYAMA & TAKEHARA 1967: Farbtafeln 5Y, seltener 7.5Y).

Die starke Entkalkung, die Textur und die feinpolyedrische Struktur der B-Horizonte sowie die rotbraune Farbe der Verwitterungslagen sprechen für eine Einordnung dieser Böden in die Gruppe der Kalksteinbraunlehme, *Terrae fuscae*.

Diese Böden sind der strengen Definition nach präglaziale, meist tertiäre Bodenbildungen. Es werden jedoch auch oft holozäne Bildungen in diese Gruppe gestellt, wenn sie die oben genannten Eigenschaften aufweisen. Eindeutige systematische Kriterien würde man durch eine Mineralanalyse erhalten, vor allem durch eine Tonmineralanalyse, siehe auch BIERMAYER & REHFUESS 1985.

Es ist kaum anzunehmen, dass im Nassfeld autochthone Kalksteinbraunlehme die Kaltzeiten ungestört überdauert haben. Es könnte jedoch sein, dass die rezenten, nacheiszeitlichen Bildungen Reste des Feinmaterials voreiszeitlicher Böden enthalten, das aus Schmelzwasser auf schwach geneigten Hängen zusammengetragen wurde. Auch eine Auswitterung der rötlichen Einschlüsse aus den Trogkofelkalken wäre denkbar.

Bis zur Klärung der systematischen Stellung werden die Böden daher als lehmig-schluffige Braunerden bezeichnet.

Kennwerte des Wasserhaushaltes

Bild 2a zeigt das Bodenprofil mit den wichtigsten Kenngrößen des Wasserhaushaltes.

Das Porenvolumen beträgt im Oberboden 70%, im Unterboden 60%; der Porenanteil für das Haftwasser mit den Porengrößen von 10 bis $0,2\mu\text{m}$ ϕ überwiegt im Oberboden mit 45%, die Sickerwasserporen nehmen rund 15% und die Luftporen knapp 10% des Gesamtbodenvolumens ein.

Zum Unterboden hin ändert sich dieses Verhältnis nur geringfügig, die Zunahme des Substanzvolumens dürfte auf den steigenden Steingehalt zurückzuführen sein, siehe Tabelle 1, der auch eine Verschiebung des Haftwasseranteils zugunsten der Sickerwasserporen bewirkt.

Fläche II, Weiderasen

Bodenform: wie bei Fläche I, jedoch mit Profilstörung durch Hangrutsch und Regeneration durch kräuterreiche Rasendecke ohne Zwergsträucher. Humusform Mull. Etwa 25⁰ ostexponiert.

Zusammensetzung der Pflanzendecke

Festuca rubra 4, *Poa alpina* 4, *Dactylis glomerata* 4, *Anthoxanthum odoratum* 2, *Alchemilla alpina* 2, *Leontodon hispidus* 1, *Ranunculus acer* 1, *Potentilla erecta* 1, *Chaerophyllum hirsutum* 1, *Silene inflata* 1, *Trifolium pratense* 1, *Trifolium repens* 1, *Geum montanum* 1, *Crepis aurea* 1, *Campanula barbata* 1, *Campanula scheuchzeri* 1, *Galium pumilum* +, *Cirsium acaule* +, *Athyrium distentifolium* +

Die Artenzusammensetzung ist einfacher als beim Profil I, der Rasen kann als Erstbesiedlung nach einem Hangrutsch angesehen werden. Durch die einsetzende Beweidung wurden die Zwergsträucher zuerst verdrängt. Dennoch sind auch hier neben typischen Vertretern der hochmontanen-sub-alpinen Wiesen Anzeiger bodensaurer Matten neben solchen der schwach sauren und neutralen zu finden.

Kennzeichnung des Bodenprofils, Tabelle 1:

Die Profildaten bestätigen die schon am Profil im Gelände getroffene Feststellung, dass hier eine Störung durch Hangrutsch vorliegt: Der Oberboden ist weniger sauer und kohlenstoffärmer als bei Profil I, ein begrabener A_h , vermischt mit B_v -Material zeigt dagegen höhere Kohlenstoffwerte.

Die Reaktion des Bodenwassers aus Saugkerzen ist schwach sauer bis neutral, Tab. 2.

Die Bodenart ist im Kolluvialbereich ein schwach steiniger Schluff, im ungestörten Unterboden ein stark steiniger sandiger Lehm.

Der Bodentyp ist demnach eine kolluviale lehmig-schluffige Braunerde.

Kenngrößen des Wasserhaushaltes, Bild 2b:

Vermutlich durch die Rutschung bedingt, ist das Substanzvolumen deutlich geringer und der Anteil der Sickerwasserporen deutlich grösser als bei Profil I. Das Gesamtporenvolumen beträgt im Oberboden 75%, im Unterboden 65%, der Anteil der Haftwasserporen ist etwas geringer als bei Profil I, die Luftporen nehmen bei maximaler Wasserkapazität im Oberboden nur 2% des Gesamtvolumens ein. Im Unterboden sind die Differenzierungen des Bodenraumes dem der Alpenrosenheide sehr ähnlich.

Trotz der scheinbar für die Versickerung günstigen Porenverteilung im Oberboden ergab sich während der Berechnung ein Wasserstau, bedingt durch die geringe Wasserleitfähigkeit in 20cm Tiefe, siehe die Bilder 4 a, b und Tabelle 3.

Es kam daher während der Berechnung zu einem etwas höheren Oberflächenabfluss als bei Fläche I, siehe weiter unten.

Der Grund für diese Erhöhung dürfte einerseits der dichte Schluss der Rasendecke sein, der das Eindringen des Niederschlages hemmt, andererseits auf Strukturstörungen durch die Rutschung zurückgehen.

Nach den im Juli 1987 abgeschlossenen Berechnungsversuchen im Rudniggraben wurden im August des gleichen Jahres zwei Flächen am rechten Hang des Trögelbaches untersucht und zwar ein Pistenareal und eine Fläche im Laubmischwald.

Trögelbach:

Fläche III Piste

Diese Versuchsfläche lag in rund 1500m SH südlich vom Gartnerkofellift nahe einem Bachlauf unterhalb der Watschinger Alm, mit rund 20° Neigung westexponiert.

Die Fläche war nur wenig abgeschoben und dicht begrünt, im Winter jedoch stark von Ratracs befahren und im Sommer stark beweidet.

Rund ein Drittel der Fläche war von nicht abgeweidetem Hahnenfuss bedeckt.

Die Bodenform ist ein mittelgründiges Kolluvium aus B_{vg}- und C-Horizontmaterial einer Pseudogley-Braunerde aus Hangschutt von Moränen und relativ kalkarmen Oberkarbonschichten. Die Humusform ist Mull.

Zusammensetzung der Pflanzendecke:

Festuca pratense 3, Lolium perenne 2, Poa annua 2, Deschampsia caespitosa 1, Phleum Michelii 1, Ranunculus acer 3, Cerastium trigynum +, Brunella vulgaris +, Tussilago farfara 1, Potentilla erecta +, Epilobium angustifolium +, Fichten-und Grünerlen-Jungpflanzen +

Aus dieser Liste ist ersichtlich, dass von den Arten der Pistenbegrünung nur wenige geblieben sind, es kamen Arten für Weide-und Trittrasengesellschaften dazu sowie Anzeiger für lehmige, staunässende Böden wie Tussilago und Deschampsia caespitosa.

Kennzeichnung des Bodenprofils Tabelle 1

Die Bodenreaktion ist nur im obersten, initialen Humushorizont schwach sauer, sonst stark sauer, die pH-Werte des Bodenwassers aus Saugkerzen liegt zwischen 6 und 6,3. Die Kohlenstoffgehalte sind im obersten Horizont etwas höher als die mässigen der übrigen Lagen. Sowohl die Abweichung der pH-Werte als auch die der Kohlenstoffwerte des A_{h1} sind auf die Pistenbegrünungsarbeiten zurückzuführen.

Die Bodenfarbe ist gelblichbraun, nicht so auffallend rötlich wie bei den Profilen im Rudniggraben; die vorherrschende Bodenfarbe wird durch Tafel 10YR gekennzeichnet. Die Textur ist überwiegend sandiger Lehm.

Die genetische Stellung des Bodentyps dürfte ähnlich sein wie die der oben besprochenen Böden: eine stark entkalkte sandig-lehmige Braunerde.

Die Zuordnung zu der Gruppe Terrae fuscae ist ohne Mineralanalysen spekulativ.

Kenngrossen des Wasserhaushaltes, Bilder 4 und 5

Bild 4a zeigt den Profilaufbau des Bodens vom initialen A_h mit Staunässe-marmorierung bis zum blockigen Ausgangsmaterial. Die Porenverteilung zeigt im mittleren Abschnitt eine starke Reprimierung der Sickerwasser- und Luftporen, die wohl ebenso wie die Zunahme des Substanzvolumens auf die Pistenbearbeitung zurückzuführen ist. Das Raumgewicht ist deutlich höher als bei den Profilen I und II, die Lagerungsdichte ist also ebenfalls höher. Diese Verdichtung, die teilweise auf das Ausgangsmaterial zurückgeht, das eine hohe schluffig-tonige Verwitterung zeigt, verursacht Staunässe und Oberflächenabfluss bei Starkregen, da die Wasserleitfähigkeit im oberen und im untersten Profilbereich sehr nieder ist, Bild 5a.

Fläche IV, Laubmischwald.

Als Vergleich zu den gestörten Weide- und Pistenflächen wurden schon 1986 ungestörte Areale im Laubmischwald beregnet. Sie zeigten sehr hohe Versickerungsraten und nur wenig Oberflächenabfluss.

Bei einer Fläche hatte sich 1986 gegen Ende der Beregnung ein schwacher Oberflächenabfluss eingestellt, sie wurde 1987 nochmals untersucht, um den Versickerungsablauf in Hinblick auf den Bodenaufbau zu beobachten.

Die Versuchsfläche liegt im Laubmischwald mit Buchen, Tannen, Fichten, Lärchen und Bergahorn in rund 1000m SH unter den Bodenseen nahe dem Schieferbrünnl.

Das Wasser für die Beregnung wurde dem benachbarten 2. Seebach entnommen.

Die Bodenseen sind kleine Karseen am Fuss des Schuttmantels der Reppwand, die aus permischen Trogkofelkalken und Rattendorfer Schichten aufgebaut ist. Die Seen selbst liegen im Bereich von Oberkarbon-Nassfeldschichten, die stark zerrüttet sind und hangabwärts in Schuttbildungen von Rattendorfer Schichten übergehen, um im Bachbereich nochmals anzustehen.

Das Gestein ist stark zerklüftet, verwittert aber schluffig und bildet Quellhorizonte.

Die Seen sind ein Teil dieser Quellzone, die durch zwei Hauptbäche, den ersten und den zweiten Seebach entlang einer Steilstufe entwässert wird.

Unglücklicherweise wurde in dieser Steilstufe die Strasse zum Nassfeld angelegt. Sie ist zweifach gefährdet: durch die natürliche Labilität des zerklüfteten und blockigen Gesteins, in dessen Verwitterungslagen das Wasser gestaut wird und fallweise zu Abbrüchen führt und die Kolkwirkung des Oselitzenbaches am steilen Uferrand unterhalb der Trasse.

Unmittelbar oberhalb dieser Steilstufe werden die drei Hauptzubringer des Baches- Rudnig-, Weißsendl- und Trögelbach vereint und es kann daher während der Schneeschmelze oder bei Sommergewittern eine grosse Wassermenge aus dem entwaldeten Naßfeld die labilen Hänge der Bachschlucht angreifen. Der dicht bestockte Wald zeigt mehrere kleine Steilstufen und Gräben, die auf frühere Massenbewegungen schliessen lassen.

Die Bodenform im Versuchsfeld ist eine flach-bis mittelgründige Braunerde mit Pseudovergleyung über zerrütteten Schieferlagen des Oberkarbon (Naßfeld- und Auernigsschichten), die, unregelmässig verteilt, Einlagerungen von lehmigem Verwitterungsmaterial aufweisen.

Eine derartige Konstellation wurde beim Versuchsareal festgestellt.

Die Bodendecke der Vegetation ist unter dem dichten Kronendach sehr schütter und besteht durchwegs aus Arten von Buchenwaldgesellschaften die als Indikatoren für nährstoffreiche, feuchte, lehmige Mullböden gelten.

Zusammensetzung der Pflanzendecke:

Die Laubstreu wird nur zu etwa 25% gedeckt.

Oxalis acetosella 1, *Sanicula europaea* 1, *Mercurialis perenne* 1,
Prenanthes purpurea 1, *Athyrium distentifolium* 1, *Cardamine enneaphyllos* 1,
Cardamine trifolia +, *Stachys silvatica* +, *Pulmonaria officinalis* +,
Phyteuma ovatum +, *Adenostyles glabra* +, *Salvia glutinosa* +, *Luzula pilosa* +,
Jungpflanzen von Ahorn, Buche, Tanne, Fichte +

Kennzeichnung des Bodenprofils Tabelle 1:

Die dünne Moderhumuslage ist mässig sauer, der humose Mineralhorizont schwach sauer mit Staunässeflecken. Schon im A-Horizont ist der Schluffgehalt hoch. Im Unterboden überwiegen Sand- und Steinanteile bei mittleren Schluff- und Tongehalten. Die Textur kann als grusig-steiniger lehmig-schluffiger Sand angesprochen werden. Das Raumgewicht nimmt nach unten stetig zu und ist wie beim Pistenboden hoch.

Die Bodenfarbe ist gelblichbraun Tafel 10YR. Der Bodentyp ist eine Pseudogley-Braunerde mit der Humusform moderartiger Mull.

Kenngrößen des Wasserhaushaltes, Bilder 4b und 5b

Bild 4b zeigt den Profilaufbau des Bodens bis etwa 40cm Tiefe und die Differenzierung des Bodenvolumens. Erwartungsgemäss ist der Anteil der Luftporen im lockeren Oberboden sehr hoch, das Substanzvolumen, wahrscheinlich wegen des hohen Steinanteils, schon im Oberboden höher als bei der Alpenrosenheide und dem Weiderasen.

Im Unterboden zeigt das Profil den höchsten Substanzanteil mit dem grössten Steingehalt von allen Profilen; der Anteil der Haftwasser- und Sickerwasserporen ist auf 40-45% reduziert. Da von allen Versuchsarealen im Wald nur in dieser schon 1986 Oberflächenabfluss festgestellt werden konnte, ist anzunehmen, dass in den Waldböden das Niederschlagswasser sehr rasch im lockeren Oberboden aufgenommen und in die Klüfte des anstehenden Gesteins abgeleitet wird. Nur im vorliegenden Fall dürfte eine eingelagerte Lehmlinse in rund 20cm Tiefe zu Stauerscheinungen führen.

3 Messungen von Wasseraufnahme und Versickerung im Boden während und nach den Beregnungen.

Methodik:

Zur Charakterisierung des Speichervermögens und der wichtigsten Kennwerte des Wasserhaushaltes (maximale und minimale Wasserkapazität, Feldkapazität, Luftvolumen bei maximaler Wassersättigung und Minimalretention) wurden mittels laufender Entwässerung bei bekannten Drucken an Zylinderproben die Saugspannungskurven von jedem Horizontabschnitt bestimmt, in welchen während der Beregnungen Wasserbestimmungen stattfanden.

Im Gelände wurden vor und nach den Beregnungen Bohrstockproben entnommen und die durch Trocknung bestimmten Feuchtegehalte an Hand dieser Saugspannungskurven annähernd in die Potentialwerte umgerechnet.

Die Saugspannungsänderungen in den Bodenabschnitten während und nach der Beregnung wurden mit Druckaufnehmertensiometern gemessen, deren Bauplan uns freundlicherweise von der Arbeitsgruppe Professor KREUTZER, TU München zur Verfügung gestellt wurde (BITTERSOHL, KREUTZER, GRIMMEISEN, REITER 1984). An Hand der Saugspannungskurven wurden die Potentiale annähernd in Wassergehalte umgerechnet, wobei die Bohrstockproben als Korrekturwerte verwendet werden konnten.

Zylinderproben wurden auch für die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit bei verschiedenen Potentialen verwendet.

Die Bilder 3a,b und 5a,b zeigen die Ergebnisse dieser Messungen, die mit einfachen Apparaturen vorgenommen wurden, um die Wasserleitfähigkeit in wassergesättigten und wasserungesättigten Bodenproben nach dem Darcy-Gesetz zu bestimmen. Die theoretischen Grundlagen der Messungen sind bei HILLEL 1980 ausführlich dargestellt; dort werden auch verschiedenen Versuchsanordnungen -"Permeameter" beschrieben. Die meisten Bestimmungen der k_u (Leitfähigkeitskoeffizient bei wasserungesättigten Böden) werden mit der "Doppelmembran-druckapparat" vorgenommen, die von HENSELER & RENGGER 1969 beschrieben wurde. In unserem Fall wurde eine sehr einfache Vorrichtung mit einer Druckflasche verwendet und die beiden Oberflächen des Zylinders mit einem dünnen Vlies bedeckt, um eine Verschlammung zu unterbinden und "hängende Tropfen" in den Kapillaren zu verhindern. Das Wasser wurde nicht mit einer Druckapparat sondern mit einer Verteilerspinne tropfenweise aufgegeben, wie sie CZELL 1967, (vergleiche auch 1972) beschreibt. Es musste darauf geachtet werden, dass ein geringer Überschuss vorhanden war, der entweder abgesaugt wurde, oder durch einen Überlauf entfernt werden kann. Der Druck wurde allmählich gesteigert und nach jeder Druckänderung die durchgeflossene Wassermenge gemessen. An Hand dieser k_f und k_u -Werte sowie der Wassergehalte während der Beregnung konnte der Wasserfluss annähernd berechnet werden, die Ergebnisse siehe Tab.3.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 und in den Bildern 3,5 und 6,7 dargestellt. Der unterschiedliche Bodenaufbau der vier Versuchsareale bedingte Unterschiede bei Wasserfluss und-Speicherung, die im folgenden diskutiert werden.

Tabelle 3

Aufteilung des Niederschlags $100\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ auf Grund der berechneten Fluss-Werte.

mm	Alpenrosenheide	Weiderasen	Piste	Wald
Versickerung	33	12	41	26
Zunahme des Bodenwassers	42	49	14	54
Summe	75	61	55	80
Differenz zu 100mm	25	39	45	20
= Oberflächenabfluß	5	19	40	15
+Interzeption	20	20	5	5

Diskussion der Ergebnisse von Versickerungs- und Bodenfeuchtemessungen
in den vier Versuchsflächen:

Alpenrosenheide

Der Profilaufbau ist gleichmässig, die Reduzierung des Haftwasservolumens im untersten Horizont dürfte auf eine Zunahme des Steingehaltes zurückzuführen sein. Die Wasserleitfähigkeit nimmt gegen den Unterboden zu ab, im untersten Horizont sind Stauwirkungen zu beobachten.

Die Berechnungen-siehe Tabelle- scheinen den natürlichen Verhältnissen zu entsprechen.

Weiderasen

Das Profil ist durch Rutschungen gestört, der Porenraum ist beträchtlich grösser als bei Profil I.

Trotz beträchtlicher Zunahme der Bodenfeuchte wird in allen Horizonten die maximale Wasserkapazität nicht erreicht, daher bleiben die Versickerungsraten gering, es dürfte schon nach 15 Minuten Oberflächenabfluss einsetzen. Sofort nach Beendigung der Beregnung sinkt die Bodenfeuchte wieder ab, um nach 20 Minuten wieder leicht anzusteigen. Dieser Anstieg dürfte auf die durch Interzeption verursachte Verzögerung der Versickerung zurückzuführen sein.

Piste

Das Profil zeigt im mittleren Teil Verdichtung und sehr geringe Luftkapazität, die Speicherräume für das Sickerwasser werden ebenfalls reprimiert. Bemerkenswert ist der hohe Haftwasserraum, besonders im mittleren Profilabschnitt.

Während der Beregnung kommt es bereits im obersten Horizont zu einer Differenz zwischen Niederschlag und Versickerung. In den ersten 20 Minuten steigt die Bodenfeuchte an, um dann im Bereich maximaler Sättigung gleich zu bleiben. Die Zunahme des Bodenwassers in den unteren Horizonten entspricht der laufenden Versickerung, ist daher nicht in die Berechnung für die obige Tabelle einbezogen.

Im untersten Horizont wurden sehr geringe Flusswerte berechnet, es kommt hier zu Wasserstau.

Der Oberflächenabfluss dürfte in den ersten 20 Minuten schwach, am Ende der ersten halben Stunde stark einsetzen.

Wald

In den oberen zwei Dritteln des Profils ist das Porenvolumen hoch und ziemlich gleichmäßig in Wasser- und Luftporenräume unterteilt.

In den untersten Horizonten steigt das Substanzvolumen auf Kosten des Porenraumes stark an und bewirkt Wasserstau.

Während der Beregnung kommt es in den ersten 10 Minuten im obersten Horizont, bis 20 Minuten in den unteren Horizonten zu starker Zunahme der Bodenfeuchte. Gleichzeitig setzt die Versickerung ein, die nach 20 Minuten nach Aufsättigung des Bodens - voll dem Feuchteeintrag entspricht. Erst ab 30cm Tiefe wird der Wasserfluss verzögert und kommt im untersten Horizont zum Stillstand.

Dieser Stau dürfte ab der ersten halben Stunde nach Beregnungsbeginn Oberflächenabfluss bewirken.

5 Schlussfolgerungen

Die Messergebnisse entsprachen den Erwartungen und fügen sich gut in die bisherigen Erfahrungen mit anderen Bodenformen ein.

So konnten im Dürnbach hohe Oberflächenabflüsse bei nur mässig geneigten Weiderasen über Pseudogleyen, dagegen geringe Abflüsse bei steilen Hängen mit Alpenrosenheiden über Eisenpodsolon erhalten werden.

Auch im mittleren Stubaital bei Neustift wurden in der Umgebung einer Schi-abfahrt sehr verschiedene Ergebnisse erzielt (SCHAFFHAUSER 1981, 1982, NEUWINGER 1982).

Daraus folgt, dass nicht so sehr die Hangneigung, sondern vor allem die Bodenform und die Pflanzendecke Einfluss auf die Wasseraufnahme und den Oberflächenabfluss haben, wie KARL mehrfach feststellte (KARL und PORZELT 1977/78, KARL 1978), siehe auch BUNZA 1978.

Die Untersuchung der Kennwerte des Wasserhaushaltes mit der Quantifizierung der verschiedenen Porenräume und der Koeffizienten der Wasserleitfähigkeit erlauben Vorhersagen mit hoher Wahrscheinlichkeit über die zu erwartenden Versickerungs- und Abflusswerte.

Auf diesen Werten beruhen daher die meisten in der Literatur mitgeteilten Flussmodelle.

In den alpinen Böden sind derartige Berechnungen schwierig, da die meist sehr geringmächtige Horizonte mit geringer Leitfähigkeit in oft verschiedenen Horizontabschnitten den Gesamtfluss bestimmen. Ausserdem stellt der Steingehalt oft eine unberechenbare Grösse dar.

Berechnungen im Zusammenhang mit Versickerungsmessungen im Gelände können den Verlauf des Wasserflusses im Boden weitgehend klären.

Versuchsanordnungen, die auch ein Lysimeter einschliessen, lassen Rückschlüsse auf die gesamte Wasserbilanz des Standortes einschliesslich der sehr schwer zu erfassenden Interzeption, den Rückhalt des Niederschlags in der Pflanzendecke zu; dieser kann für kurze Zeit die von den Bodenparametern her zu erwartende Abflussmenge verringern oder verzögern. Er geht dann nach einiger Zeit in die Versickerung, die Verdunstung und in den Nachlauf des Abflusses ein.

Bemerkungen zur Methodik

Die im Nassfeld verwendeten Druckaufnehmertensiometer wurden 1986 in einer Aufforstungsfläche in Haggen, Sellraintal, Tirol, zusammen mit einem Datenlogger eingesetzt (NEUWINGER, WIESER, WINKLEHNER, HEISS 1988). In den lockeren, sandigen Böden dieser Versuchsfläche ergaben sich kaum durch Verzögerungsprobleme mit Tensiometern bekannte Schwierigkeiten. In den Lehmböden des Nassfelds entstand jedoch Wasserstau durch den Einbau und die Tensiometer meldeten bei voller Wassersättigung des Bodens zu hohe Werte. Durch Vergleich

mit Bohrstockproben konnte der Fehler ausgeglichen werden.

Es scheint möglich, durch Verbesserung der Einbautechnik Korrekturen zu erzielen.

Die Tensiometer meldeten jedoch- abgesehen von den absoluten Bodenwasserwerten - sehr sensibel jede Veränderung des Potentials.

Literatur

- BIERMAYER, G., REHFUESS, K.E., 1985: Holozäne Terrae fuscae aus Carbonatgesteinen in den Nördlichen Kalkalpen. Z.Pflanzenernähr. Bodenk., 148 405 - 416.
- BITTERSOHL, J., KREUTZER, K., GRIMMEISEN, W., REITER, H., 1984: Experimentelle Untersuchung und Auswirkung des sauren Niederschlags und der Kalkung in Fichtenbeständen. Proc.Internat.Sympos.RIZA München 1984, Vol 2, 821-828.
- BUNZA, G., 1978: Vergleichende Messungen von Abfluss und Bodenabtrag auf Almflächen im Gasteiner Tal. Veröff.Österr.Maß-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern 3, 315-334. Univ.Verlag Wagner, Innsbruck.
- CZELL, A., 1967: Beitrag zum Wasserhaushalt subalpiner Böden. Mitt.Forstl. Bundesversuchsanst.Wien 75, 305-332.
- CZELL, A., 1972: Wasserhaushaltsmessungen in subalpinen Böden. Mitt.Forstl. Bundesversuchsanst.Wien, 98, 109 S.
- HENSELER, K.L., RENGGER, M., 1969: Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im wasserungesättigten Boden mit der Doppelmembran-Druckapparatur. Ztschr. Pflanzenern. u.Bodenk. 122, 220-228.
- HILLEL, D., 1980: Fundamentals of Soil Physics. Academic Press.
- KARL, J., PORZELT, M., 1977/78: Erosionsversuche mittels einer transportablen Beregnungsanlage. Ber.Landw. 55, 606-611.
- KARL, J., 1978: Der Einfluss von Standort und Bodennutzung auf Oberflächenabfluss und Bodenertrag. Schriftenreihe DVWK 40, 268-282.
- NEUWINGER, I., 1982: Bioelementversorgung, Wasserspeicherung und Erodierbarkeit gestörter Waldböden. Informationsdienst Forstl.Bundesversuchsanst. 211, in Allgem.Forstztg. 93/5, 119-121.
- NEUWINGER, I., 1988: Bodenwasseruntersuchungen in einer Hochlagenaufforstung bei Haggen im Sellraintal, Tirol. Österr.Wasserwirtschaft 3/4.

OYAMA,M.,TAKEHARA,H.,1967: Revised Soil Color Charts. Fujihira Industry Co.,Ltd.,Tokyo,Japan.

SCHAFFHAUSER,H.,1981: Die Beregnungsversuche im Rahmen des Projektes Neustift. Allgem.Forstztg. 92,6, 216.

SCHAFFHAUSER,H., 1982: Untersuchungen über das Abflussverhalten verschieden bewirtschafteter Versuchsflächen. Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung(4). Mitt. Forstl.Bundesversuchsanst. Wien 144, 85-101.

SCHWEIGHOFER, W., 1989: Gegenüberstellung von Untersuchungen über das Abflußverhalten unterschiedlich bewirtschafteter Böden. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, Informationsdienst, 244. Folge, in: Österr. Forstzeitung 100, 3, 25-27.

Verwendete Karten: Österreichkarte 25 V Nr.198, Weissbriach.

Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen,Wien. Stand 1983,Italien 1967

Geologische Karte des Naßfeld-Gartnerkofelgebietes in den Karnischen Alpen. Geologische Bundesanstalt 1959.

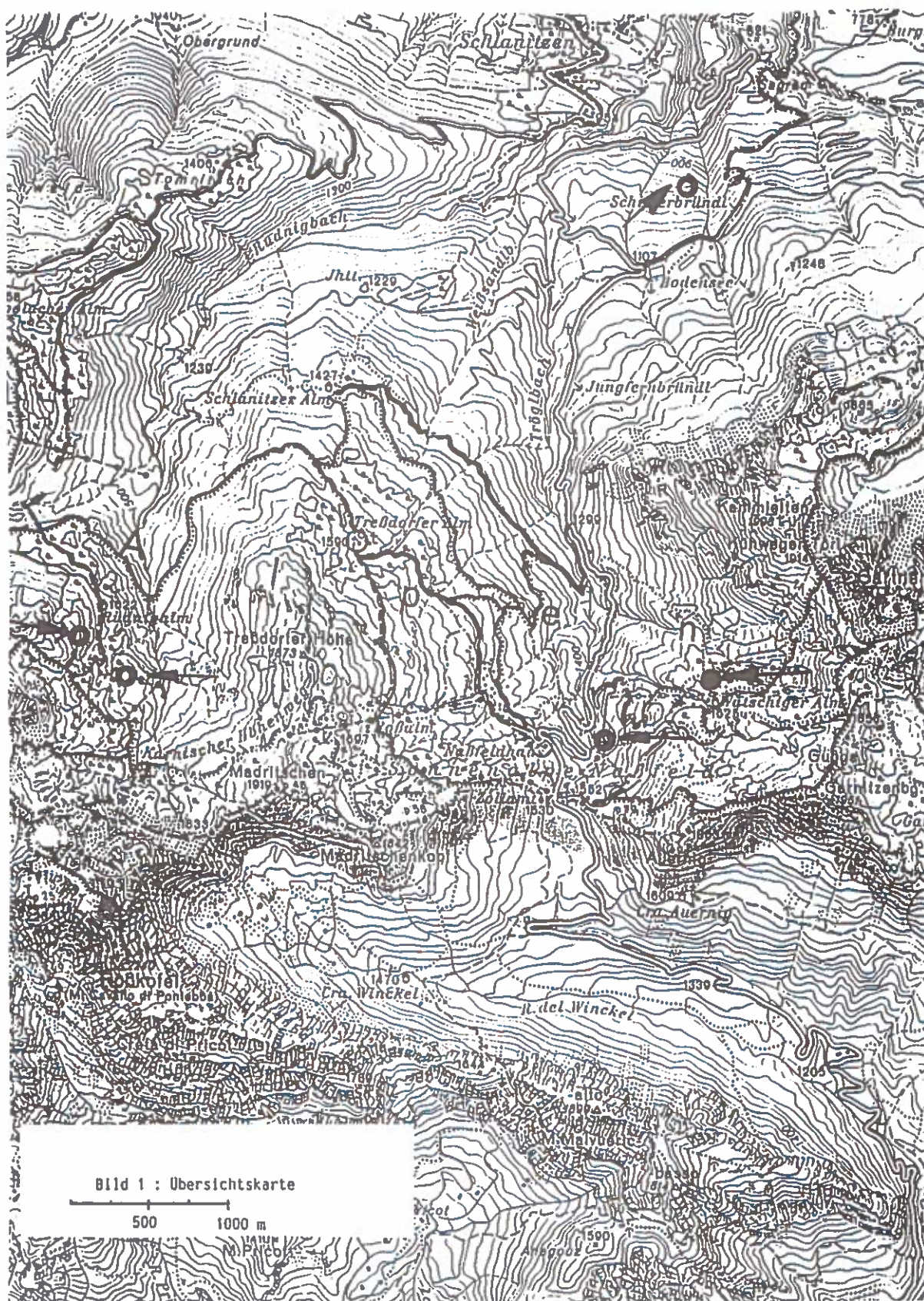


Tabelle 1 : Bodenreaktion, Gesamtkohlenstoff, Textur und Lagerungsdichte der Horizontabschnitte

Standort, Horizont	cm	pH 0,1nKCl	%C	X %>2mm	S --% d.Feinerde<2mm	U	T	Mg.L ⁻¹
Alpenrosenheide								
O _f /O _h	1-0	----- keine Messungen -----						
A _h	0-10	3,50	6,5	30	27	66	7	709
A _h /B _{v1}	10-20	3,65	2,3	37	21	33	9	900
A _h /B _{v2}	20-30	3,70	1,9	44	21	23	12	985
B _{v(g)}	30-40	3,75	1,8	21	21	44	14	987
Weiderasen								
A _h	0-10	5,65	2,0	6	15	79	6	720
A _h /B _v	10-20	5,00	1,7	12	18	75	7	731
A _h beg	20-30	4,05	4,6	5	16	75	9	706
A _h beg/B _v	30-40	4,85	2,8	37	30	46	24	916
Piste								
A _{hg1}	0- 5	5,30	3,3	30	58	32	10	1126
A _{hg2}	5-10	4,10	1,9	25	62	19	19	1335
B _{g1}	10-15	3,80	1,6	26	55	30	15	1405
B _{g2}	15-20	3,60	2,0	25	53	32	15	1243
B _{g3}	20-25	3,60	2,4	24	42	45	13	1143
B _{g4}	25-30	3,70	2,0	17	37	47	16	1181
Laubmischwald								
O _f /O _h /A _h	0- 5	4,90	6,7	33	34	52	14	956
A _h /(B _{vg})	5-10	5,10	2,4	28	45	42	13	1064
(A _h)/B _{vg1}	10-15	5,80	2,0	39	42	48	10	1010
(A _h)/B _{vg2}	15-20	5,50	1,9	34	47	36	17	1169
B _{vg1}	20-25	5,60	1,9	39	47	41	12	1195
B _{vg2}	25-30	6,10	1,6	44	58	30	12	1397
B _{vg} /C _{v1}	30-35	6,70	1,6	49	72	15	13	1453
B _{vg} /C _{v2}	35-40	6,80	1,6	52	66	21	13	1492

Korngrößenanteile, Gew. %: X=Steingehalt >2mmø von >2kg,

Feinerde <2mmø, bezogen auf 100g:

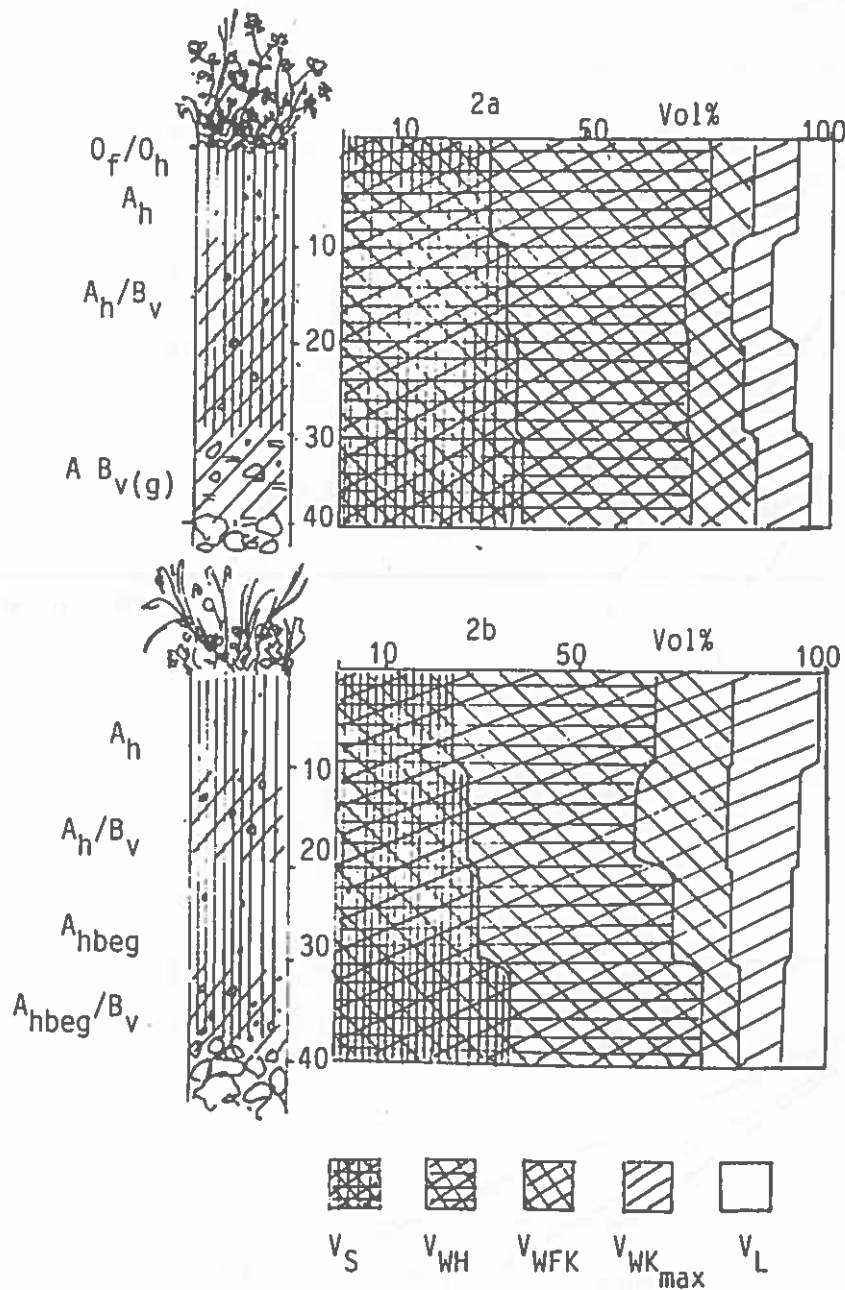
S=Sand 2000-63µm ø, U=Schluff 63-2µm ø T=Ton <2µm ø

M g.L⁻¹ = Litergewicht des ungestörten Bodens

Tabelle 2: Bodenwasser aus Saugkerzen

Standort	Horizont	cm	pH
Alpenrosenheide	A_h/B_v	20-30	6,1
	$B_{v(g)}$	30-40	6,1
Weiderasen	A_{hbeg}	20-30	6,15
	A_{hbeg}/B_v	30-40	6,1
Piste	B_{g2}	15-20	6,3
	B_{g4}	25-30	6,0
Laubmischwald	$A_h(B_{vg})$	5-10	6,8
	$(A_h)/B_{vg}$	15-20	7,1
	B_{vg2}	25-30	7,7

Bild 2: Profilgliederung und Differenzierung des Bodenvolumens
im Versuchsfeld Rudnigbach
a : Alpenrosenheide
b : Weiderasen



Signaturen: V_S = Substanzvolumen, V_{WH} = Haftwasserporen

V_{WFK} = Sickerwasserporen, gefüllt bei Feldkapazität

V_{WK} = Minimalretention, Differenz zwischen Feld-u. maximaler Sättigung

V_L^{max} = Luftporen bei maximaler Sättigung

3 a Bild 3: Wasserleitfähigkeit des ungesättigten Bodens in verschiedenen
Tiefen in Abhängigkeit vom Potential, ausgedrückt durch den Koeffizienten
 k_u cm / 10 Minuten
3a Alpenrosenheide
3b Weiderasen

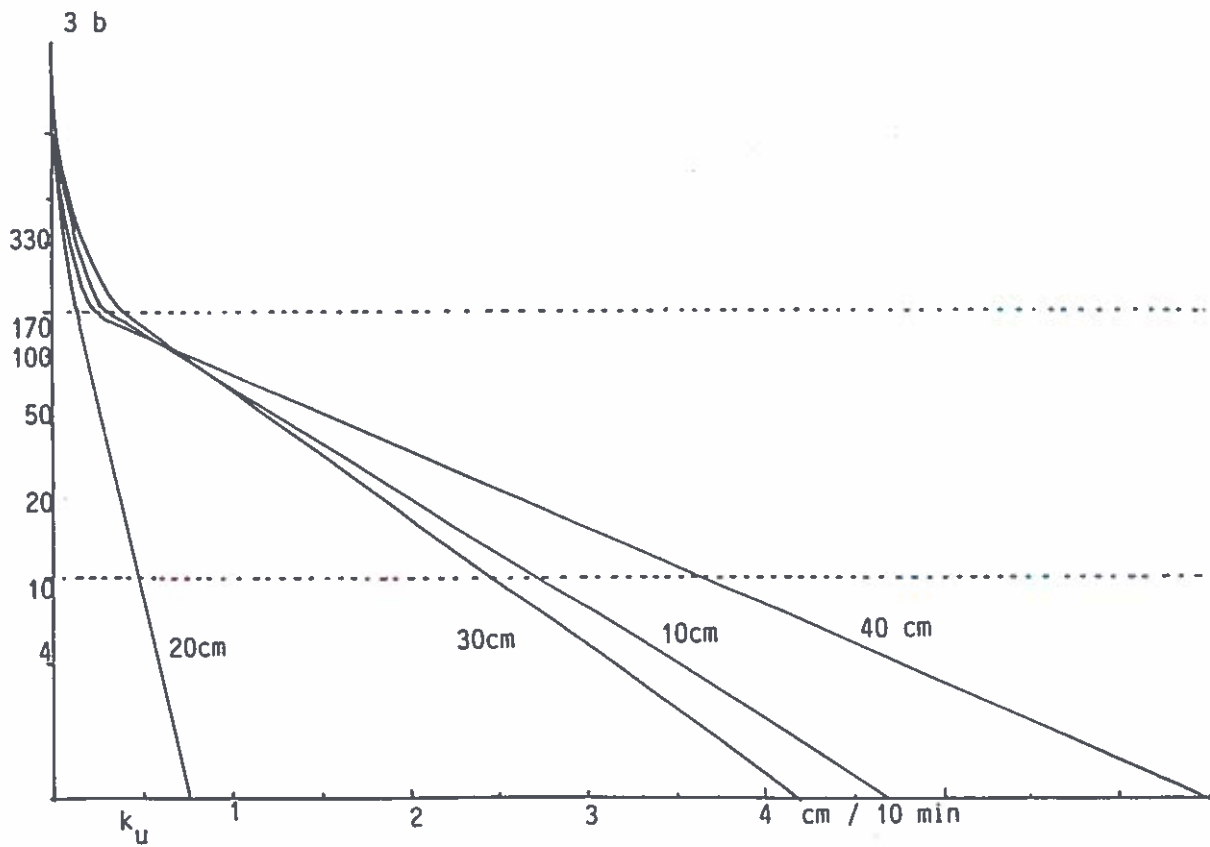
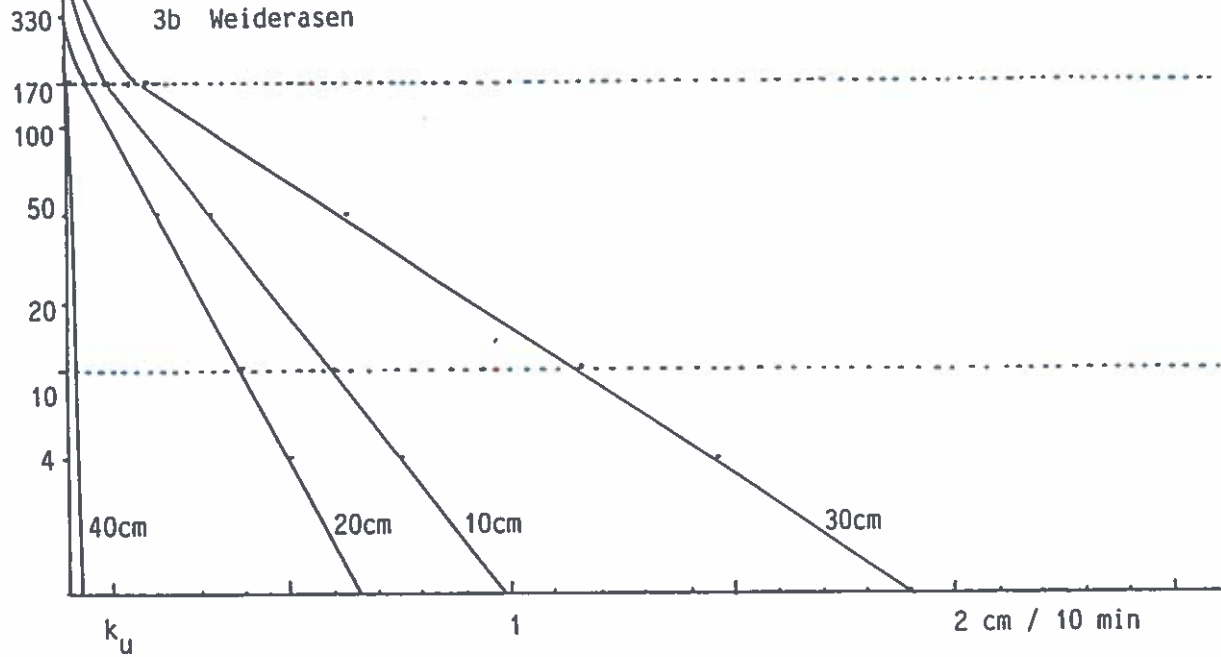
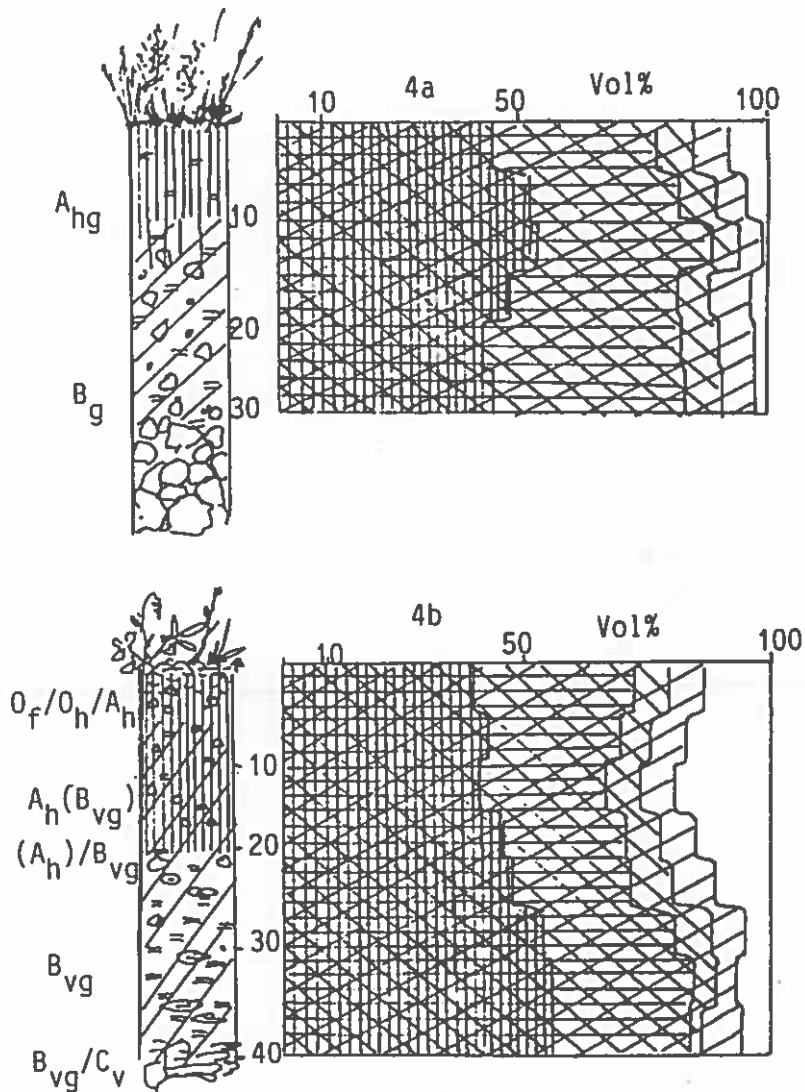


Bild 4 : Profilgliederung und Differenzierung des Bodenvolumens
im Versuchsbereich Trögelbach

a : Piste

b : Laubmischwald



Signaturen wie bei Bild 2

Bild 5: Wasserleitfähigkeit des ungesättigten Bodens in verschiedenen Tiefen in Abhängigkeit vom Potential, ausgedrückt durch den Koeffizienten k_u cm / 10 Minuten

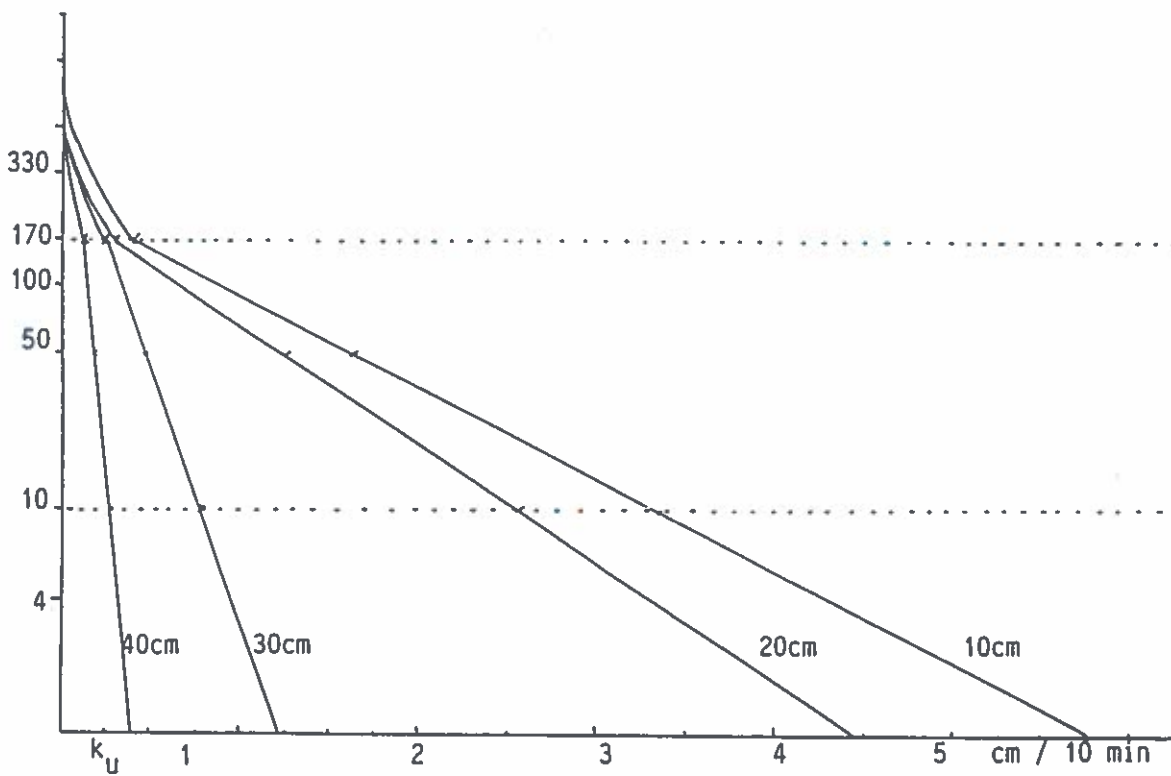
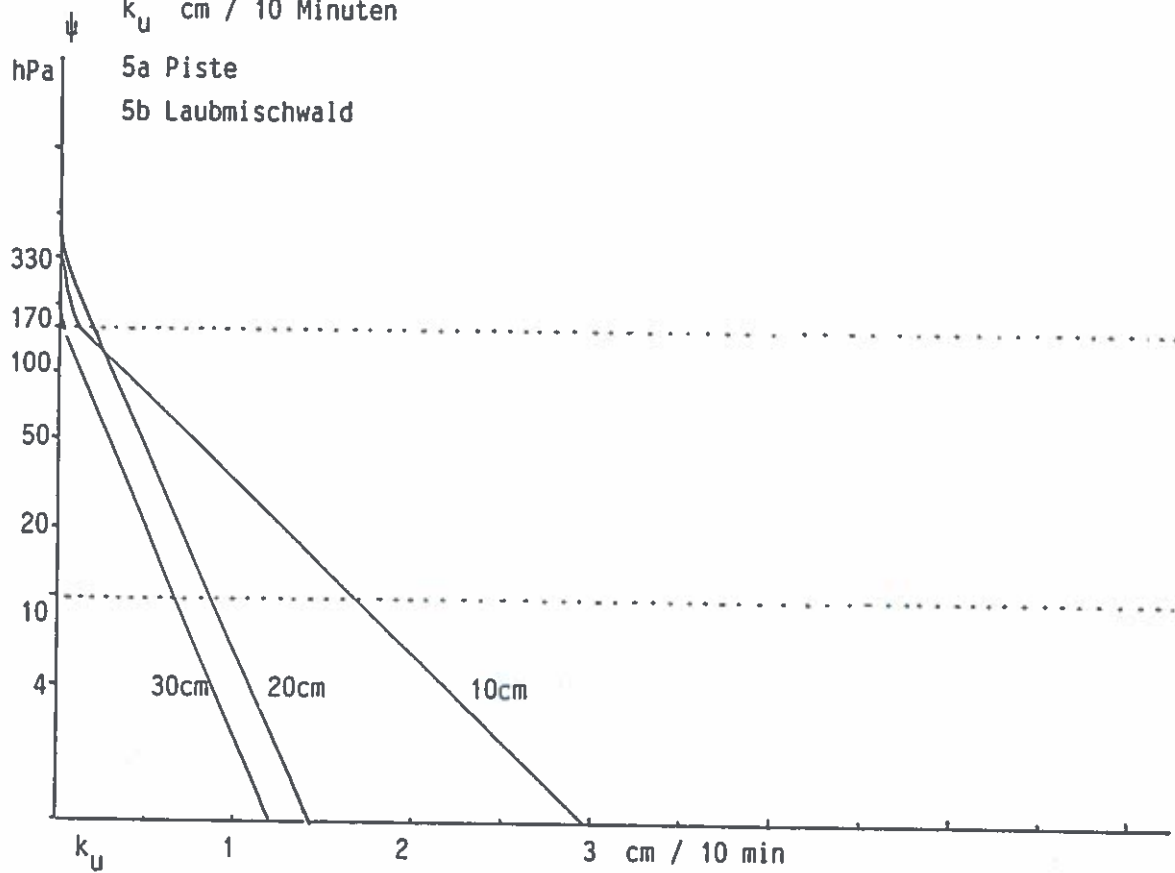


Bild 6 : Bodenwasser , Liter / m² = mm der Horizontabschnitte im Verlauf des Beregnungsversuches. Signaturen für die Tiefe der Horizonte:

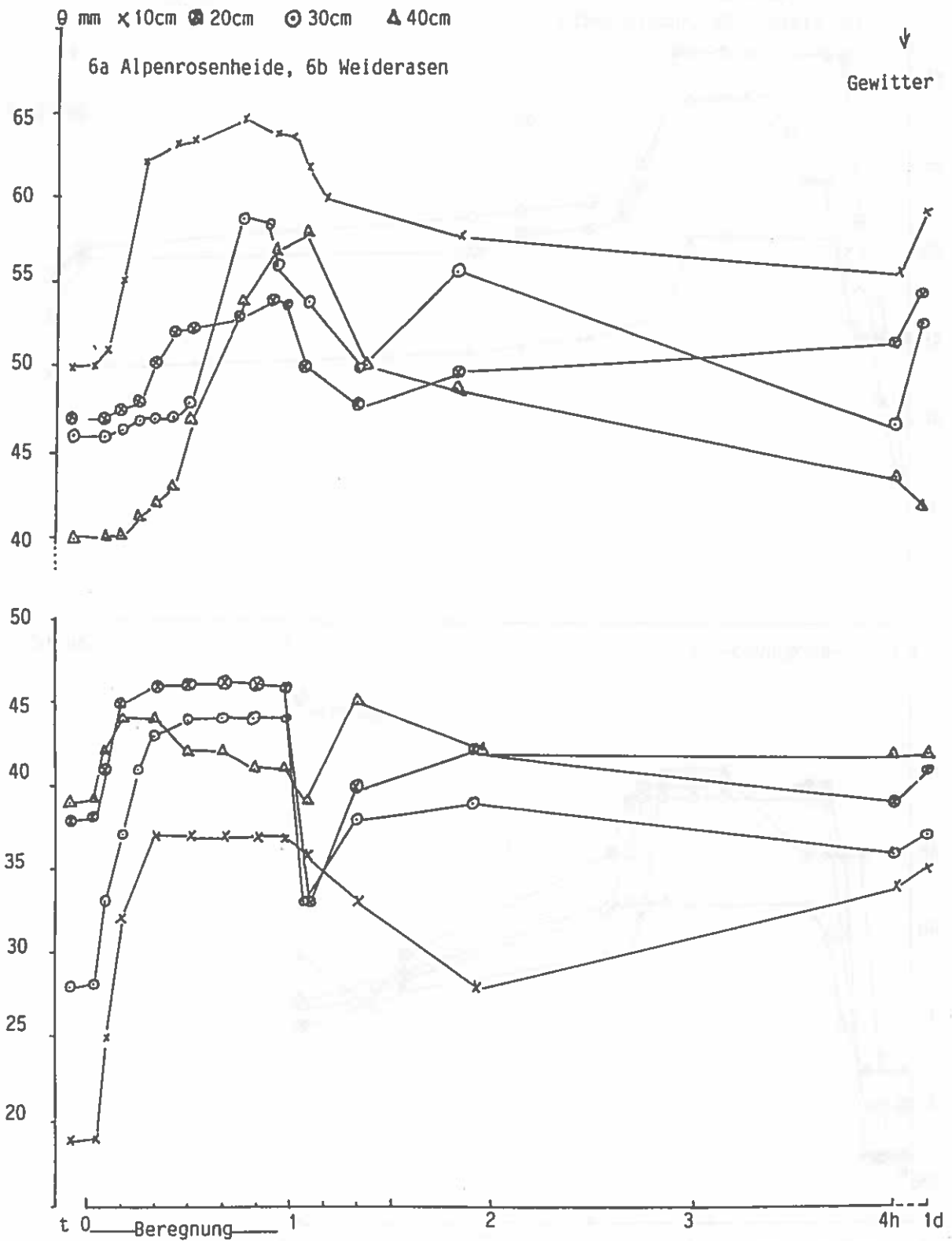
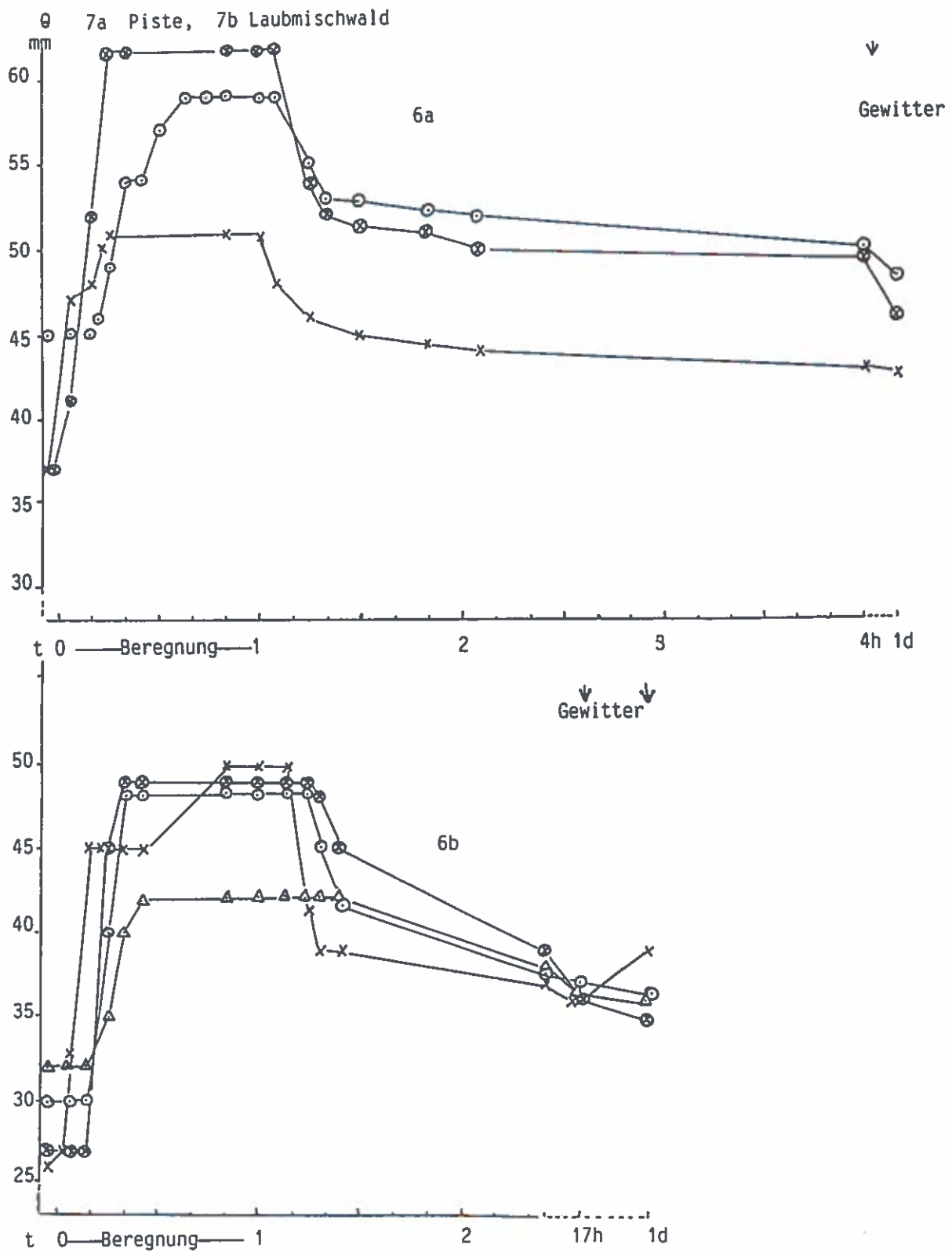


Bild 7 : Bodenwasser, Liter / m² = mm der Horizontabschnitte im Verlauf des Beregnungsversuches. Signaturen für die Tiefe wie bei Bild 6



PROBLEMS OF TORRENT EROSION IN CZECHOSLOVAKIA
(A short report on meetings)

by

Gottfried Kronfellner-Kraus

Vienna

There have been again and again papers on torrential and forest hydrological research in experimental watersheds from Czechoslovakia (CSSR). These papers are insofar of great interest because this country is extraordinarily stressed by air pollution and forest decline. And there were two conferences in the last years in Bohemia which handled all actual hydrological questions. Study tours which followed the meetings made it possible to get acquainted with the existing problems of erosion and water resources policy in CSSR. I would like to give a short account of these study tours in order to illustrate the background to the Bohemian research papers. The conferences took place in Prag (October 25/26, 1988) and Most (September 19-21, 1989). Official and special study tours led to the Erzgebirge, Sudety and Beskidian mountains.

The ecological problems in Czechoslovakia and in the neighboring Eastern Germany (DDR) originate from the fact, that the economies of these countries are dependent on caloric power plants and on coal-mines. 120 million cubic-metres brown coal in Czechoslovakia and 300 million cubicmetres in DDR are being hauled per year in giant open cast mines. But more and more rubble has also to be hauled today because the favourable coal seams are increasingly exhausted. So landscapes are being changed for many square kilometres. For example, the old city of Most (Brüx), lying on a coal seam, was abandoned and newly constructed beside the coal seam in order to make a further coal mining possible. The old precious church, a landmark of art-history weighing 12.000 tons, was moved over a distance of 841 metres to the boundery of the new open-cast mine. The air pollution round this city is so bad, that the workers have to receive higher wages and school-children have to be regulary sent to places of cleaner air. The professional problems originate in the necessity to keep the coal-fields dry. And furthermore the damages by emission from the caloric power plants have to be compensated.

The water coming to the open cast mines have to be collected beforehand, then diverted and therefore newly regulated over many kilometres. The diversions are calculated according to the biggest, twohundredfifty-year- or five-hundered-year-floods. Furthermore the water diversion have to be watertight and flexible in order to avoid landslides of new open casting slopes and they are therefore often built as manifold pipelines. All of these measures need controlled creeks in the upper forefield. The torrents are being controlled there with check dams in order to retain all sediments. The floors of some storage basins are sometimes paved to ease the cleaning. The different waters from the creeks are collected by long channels across country and are led to some flood control reservoirs.

The damaged forests in the head waters have to be sanitated. Because it is not possible to renew all the huge declined forests at once, the most important areas for water supply and flood control have to be afforested first (KRECMER 1984). In this way huge brushland areas are today in a process of development.

The Czechoslovakians have partly to renounce forest harvesting until the end of the coal mining, that will be in approximately 2030. Hitherto the afforestations were succesful not only with pioneer species but mostly after liming.

The different stages of forest decline, new afforestations and of bushlands could be seen mainly in the Erz-mountains near the highest peak Klinovec (1.244 m) and in the Huge mountains near the Schneekoppe (or Snowpeak, 1.603 m). With the opening up of declining forests the soils became quickly over grown with grass. Therefore, so far there haven't been increasing or more frequent floods. Erosion took place mainly on log trails and road traces (SKOPEK 1988). Some little control constructions have been carried out in order to protect bridges of forest roads. Horizontally grilled open dams were also built in one case in the Serlich gully in the Sudety mountains. A wonderful example of very succesful torrent control works with well growing forests can be seen in the Desna creek in Altvatergebirge (Old-Father mountain) already mentioned by KIRWALD (1944).

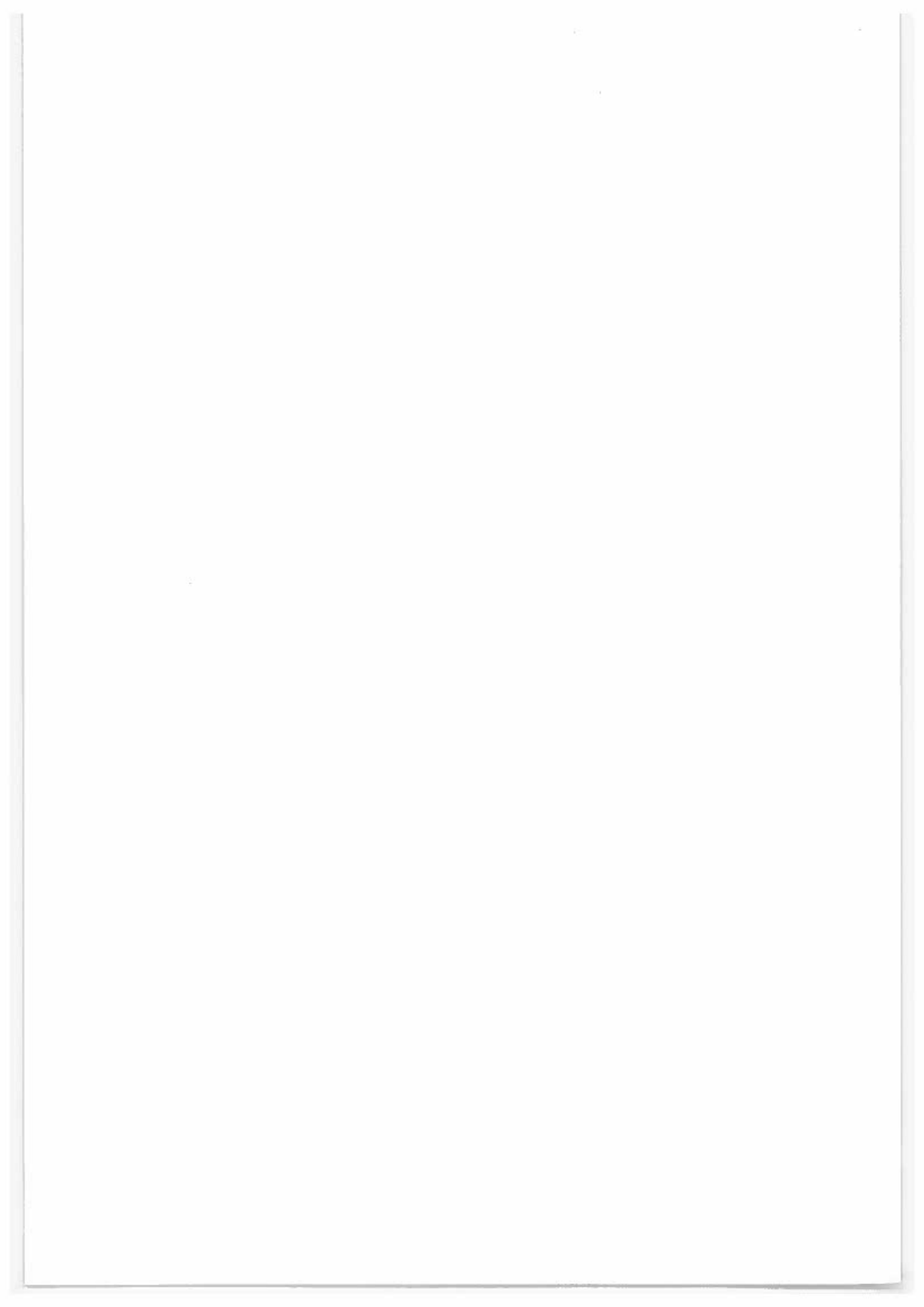
Here and especially in the Beskidy mountains lie the experimental watersheds described again and again by JARABAC & CHLEBEK (1988, 1989). The torren-

tial and forest hydrologic research in the Mala-Raztoka und Cervik watershed began a long time ago. So it was possible to study the exact effects of deforestations and new afforestations on water yield and flood discharges.

Although these results are not transferable elsewhere, they are of greater interest, because they are only one of the few actual results, generally existing in this field.

Bibliography

- JARABAC, M. & A. CHLEBEK, 1988: The Effect of Forests on the Hydrological Budget. In: Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. 159, 239-254.
- JARABAC, M. & A. CHLEBEK, 1989: The problems of streamflow changes due to forest renewal in a polluted area. In: FBVA-Berichte 36, 43-49.
- KIRWALD, E., 1944: Forstliche Wasserhaushaltstechnik, Neudamm.
- KRECMER, V., 1984: Mehrzweckbewirtschaftung der Wasserschutzwälder in Immissionsgebieten. XIII. Intern. Tagung Forstl. Rauchschadenssachverständiger (IUFRO-S2.04) in Most, CSSR, 211-223.
- SKOPEK, V., 1988: Ursprung und Intensität der anthropogenen Erosion (Immissionsschäden) im Isergebirge der CSSR. Intern. Symp. Interpraevent 1988 in Graz, Bd. 1, 75-86.



A MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS
OF RAINFALLS AND RUNOFFS IN THE
BESKIDIAN EXPERIMENTAL
WATERSHEDS

ALOIS CHLEBEK - MILAN JAŘABÁČ

Forestry and Game Management Research Institute
Jíloviště-Strnady, CS - 739 53 Hnojník 1

Summary

32 years' measurements of water runoffs in the Beskidian experimental watersheds, Czechoslovakia, have been analysed by a multiple regression on 130 climatic variables, including a factor reflecting percentage decrease of wood mass during the forest renewal. Although the dependence of the runoffs on the precipitations is well established, this method does not enable us to demonstrate the effect of forest renewal because over longer periods /yearly, half-yearly/ the runoff differences are levelling off. Further study of the hydrological effect of the forest on the runoffs and of the possibility of controlling this process will need to be based on observation at shorter intervals, and will involve study of the differences on the outflow lines in the experimental watersheds.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen der 32-jährigen Messungen in den experimentellen Einzugsgebieten der Beskiden /ČSSR/ wurde die Einwirkung der 130 klimatischen Zufallsvariablen und der fortgeschrittenen Walderneuerungen auf den Abfluss mit der mehrfachen Regression analysiert. Für die Beziehung der Niederschläge und der Abflüsse gilt eine klare Gesetzmässigkeit. Die Methode der mehrfachen Regression zeigte sich aber für die Einschätzung der Abflussveränderungen als Folge der Walderneuerungsarbeiten unzutreffend, da in längeren /jährlichen, halbjährlichen/ Zeitspannen die Abflussveränderungen fast ausgeglichen werden. Deshalb ist es notwendig weitere Auswertungen über die Wasserbilanzeinwirkungen der Wälder und der event. Möglichkeiten ihrer praktischen Nutzung auf kürzere Zeitspannen zu richten, z.B. auf die Differenzen der Abflusskurven in den Einzugsgebieten.

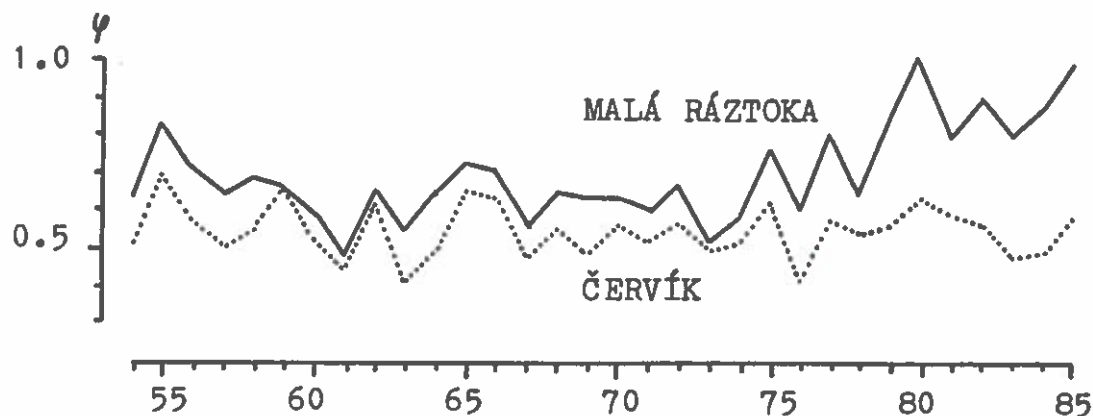
In our earlier paper /lit. cit./ we described the natural conditions in the experimental watersheds of Malá Ráztočka and Cervík in the Beskidian Mountains, Czechoslovakia, and the objectives of the research carried out therein. The analysis of the annual totals of rainfalls and water runoffs

in the gauging period /October 1953-September 1965/ and in the subsequent period of forest renewal /since October 1965/ showed these to be connected by a simple linear regression relationship.

About 95% of runoff values in the different years of measurement lie within $\pm 30\%$ of the values predicted by the regression line. With this fairly large uncertainty, it is very difficult to detect the effects of forest changes or the consequences of other activities. An attempt was made to estimate these effects via a multiple regression of the runoff quantities on measured climatic elements and on the percentage diminution of the wood mass during forest renewal in the watersheds. Since aggregated annual totals of rainfalls and runoffs are not satisfactory for this purpose, we have used as regression variables monthly totals, together with values in cold and warm yearly calendar periods and additionally with values based on optimum periods according to the actual course of rainfalls and runoffs in the individual years. It is evident that the main natural factors affecting the runoffs are the rainfalls. Other climatic variables /sunshine, temperatures, windflows and their associated potential energy/ also contribute to the variation about the regression of runoff and rainfall.

However, the total rainfalls are only a very simplified characteristic and it is therefore necessary to include in the analysis also their configuration, intensities, durations and timing etc. /Table 1/. The complexity of these phenomena is also characterised by the fluctuating values of the runoff coefficient $\psi = H_r / H_p$ calculated for the calendar or hydrological year. The predominant influence of the climate is evident, although the evolution in the Malá Ráztoka watershed during the last 5 years indicates a possible change in the rainfall-runoff relationship.

Fig. 1 The values of the runoff coefficient for the years 1954 - 1985 in both experimental watersheds



Multiple regression was used in order to investigate the relationship between the dependent variable /runoff/ and the independent variables mentioned. The variables used are shown in Table 1, where runoffs are numbered 1-6, the climatic predictor variables 7-135; to these was added the variable 136, the percentage reduction in wood mass in the

Table 1 Variables used in the multiple regression analysis

Period	runoff	rainfall	average temperature	sunshine	days with snow cover	height of new snow	> 1 mm	> 5 mm	days with > 10 mm	precipitation > 20 mm	> 30 mm
January			7	25	43	61	68				
February			8	26	44	62	69				
March			9	27	45	63	70		91	106	121
April			10	28	46	64	71		92	107	122
May			11	29	47			75 83	93	108	123
June			12	30	48			76 84	94	109	124
July			13	31	49			77 85	95	110	125
August			14	32	50			78 86	96	111	126
September			15	33	51			79 87	97	112	127
October			16	34	52			80 88	98	113	128
November			17	35	53	65	72		99	114	129
December			18	36	54	66	73				
cool calendary	1	19	37	55	67	74			100	115	130
cool optimum	2	20	38	56					101	116	131
warm calendary	3	21	39	57			81 89	102	117	132	
warm optimum	4	22	40	58			82 90	103	118	133	
whole year calendary	5	23	41	59					104	119	134
whole year optimum	6	24	42	60					105	120	135
diminution of the wood mass							136				

entire wood reserve in the watershed. These factors were included as variables which might be able to explain the residual variance in the rainfall-runoff relationship.

The number of variables is very large, and the number of variables combinations giving rise to possible interactions even larger. For simplicity, we have therefore restricted ourselves to the simplest possible type of regression model, from which all interaction terms are omitted. This additive model is appropriate for the description of the relationship between rainfall and runoff, which is essentially of a linear form. The aim should ideally be to evaluate all possible combinations of variables 7 to 135 by method of last squares to calculate the regression coefficients.

It was not possible, however, to carry out this analysis because of limitations on available computing facilities. The following simple method was therefore adopted:

/1/ The average, maximum, minimum, standard deviation and the coefficient of variation of all 136 variables in Table 1 were calculated.

/2/ The matrix of correlation coefficients of all 136 variables was calculated.

/3/ From this matrix the variables most strongly correlated with the runoff variables were chosen.

/4/ For the chosen variables, regression coefficients were calculated. The dependent variables 1 to 6 /runoffs/ were functions of the rainfall totals, the corresponding summary variables and the logically valid variables identified from the correlation matrix.

The whole series for hydrological years 1 to 31 /1954-1984/ has been analysed for variables 1, 3 and 5 in Table 1. In the case of variables 2, 4 and 6, the analysis covered years 1-31, years 1-12 /the gauging period/ and years 13-31 /while reducing the wood mass in the watershed, 0 to 54%/ , both with and without variable 136.

A number of measures of the goodness of fit of the relationship were used, primarily the multiple correlation coefficient, but also the F-statistics for the analysis of variance, the values of the residual standard deviations, and the regression coefficients together with the associated standard deviations and values of Student's t-statistic.

The best combination of variables was determined by minimising the residual standard deviation

$$s_{YX} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_i')^2}{n - p - 1}}$$

where the y_i are measured values and y_i' the corresponding values calculated from the regression equation; n denotes the number of observations and p the number of regression variables.

The variables x_i are expressed in various units; their significance has been tested using standardised coefficients

$$\beta = \frac{s_X}{s_Y} b$$

where s_x and s_y are the standard deviations of X and Y respectively and b the regression coefficient.

The calculations were performed separately for the whole hydrological year, for the warm period May-September in each year, and for the optimum variable period chosen each year so as to eliminate the extension of runoffs from one time period to the next, given that different relationships hold in the cold and warm periods: in spring, choice of the optimum period should also have the effect of excluding the hydrological consequences of the snow melting. The beginning and the end of the optimal periods each year have thus been chosen to minimise as far as possible the average of the initial and final daily throughflows in the cooler and warmer periods. Ideally, the beginning and the average throughflows should have also similar levels. We give example data from the application of this process to the Červík watershed:

Table 2 Daily flows in optimally determined warm and cool periods in the Červík watershed in years 1972/3 and 1973/4

Year	cool period	daily throughflow /l/s/ at	
		start of cool period	end of cool period
1972/3	20.IX. to 31.V.	9.2	9.2
1973/4	30.IX. to 1.V.	8.5	8.5

Year	warm period	daily throughflow /l/s/ at	
		start of warm period	end of warm period
1972/3	1.VI. to 29.IX.	7.8	8.5
1973/4	2. V. to 3.IX.	9.2	8.5

Over the entire series, the optimally calculated cool period always began between 1. September and 8. October inclusive and ended between 30. April and 31. May inclusive. The use of optimum climatic periods gave reductions in the residual standard deviations varying between 0.7% and 4.5%.

Table 3 shows the variable combinations giving rise to the minimum standard deviations s_y' of the yearly runoffs /variable 6/ on examined variables.

In Table 3, the variables are listed in decreasing order of correlation coefficient; variables having t values >2 and <2 are separated by the symbol /, and the coefficient of variation $c.v. = s_{yy} / \bar{Y} \times 100$. Table 3 shows correlations among the individual variables /Table 1/ significant at below the 0.01 level; variables excluded from Table 3 are not statistically significant at this level.

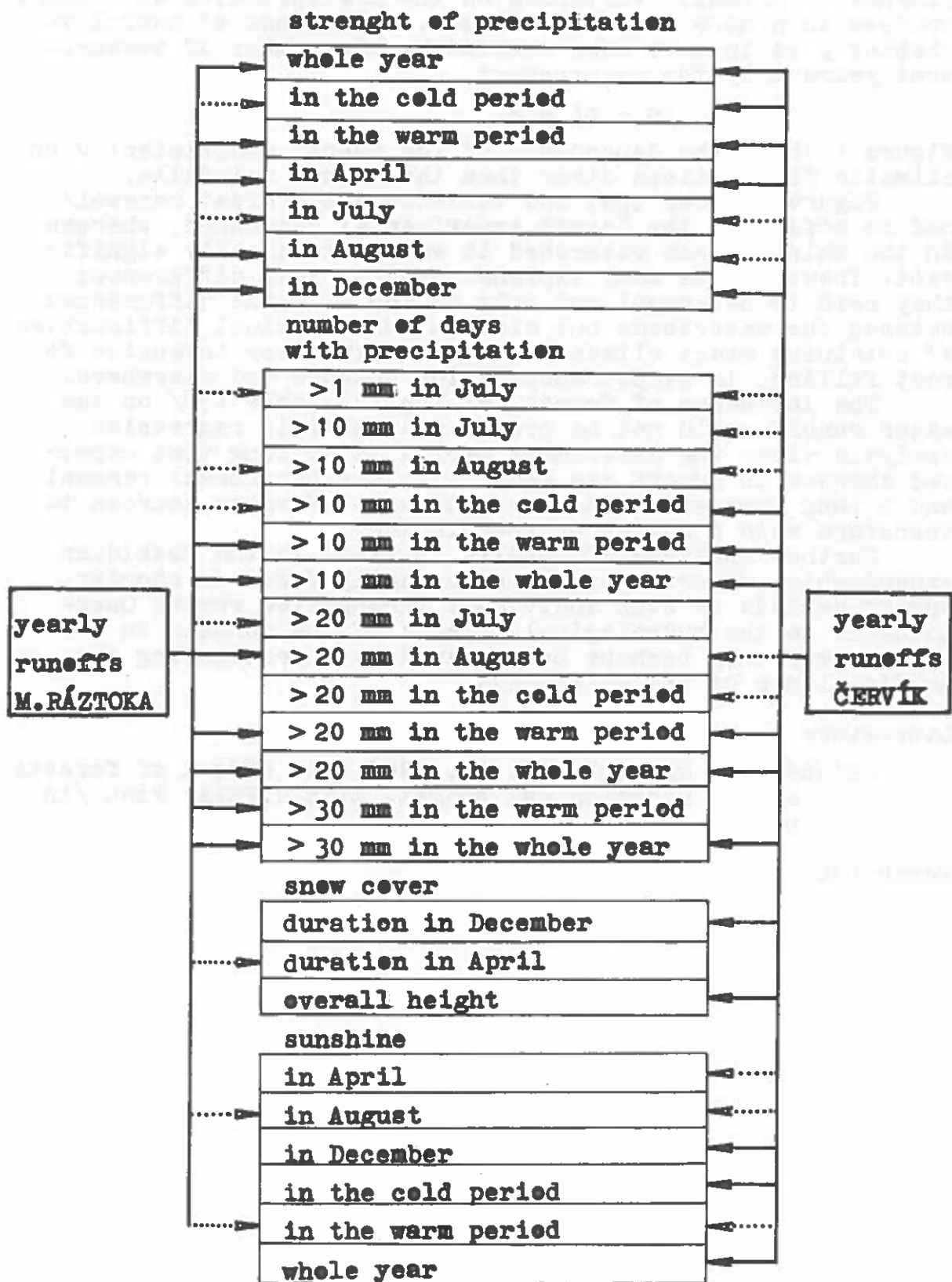
Conclusion

The linear regression of runoff on precipitation over long /yearly, cool, warm/ periods is statistically significant, but with a wide dispersal of values. The technique does not permit the estimation of the effect on the runoffs of forest renewal in the experimental watersheds in comparison with the dispersion caused by climatic fluctuations. An

Table 3 Regression variables explaining variation in yearly runoffs

Years	Variable 136 included	Variables used	s_{YX}	c.v./%/
The Č e r v í k watershed				
1-31	no	24,105,54,13 / 131,74	57.3	9.1
	yes	14,118,105,96,120,131 / 54,18,126,24,110,13, 74,136,125	54.0	8.5
1-12	n.a.	111,14,105,24,74,54, 118,94,131	2.9	0.5
13-31	no	111,96,126,14,105,120, 24,18,16,94,54,125, 71 / 110	13.0	2.0
	yes	24,111,96,120,125,74, 126,136,131,54 / 118, 110,13	16.3	2.5
The Malá R á z t o k a watershed				
1-31	no	24,111,18,126 / 74,54	109.7	12.6
	yes	24,111,136,126,18,54, 71	97.0	11.1
1-12	n.a.	71,120,126,24,96,54, 105,74,18	3.8	0.5
13-31	no	105,111,24,96,120 / 126,116,74,54	78.7	8.8
	yes	24,136,116,74,54,120, 96,94 / 18	28.1	3.1

Fig. 2 Correlations significant at level 0,05 0,01 ←



attempt has therefore been made to reduce this dispersion by performing a multiple regression in order to describe the influence of climatic variables on the precipitation and runoff process in a more sensitive manner. The number of useful variables p is in this case limited by the number of measurement years n by the requirement

$$|n - p| \geq 2.$$

Figure 1 shows the dependence of the runoff coefficient φ on climatic fluctuations other than the annual rainfalls.

Figure 2 shows that the variable 136 /forest renewal/ had no effect in the Cervík experimental watershed, whereas in the Malá Ráztoka watershed it was statistically significant. There may be many explanations for this difference; they need to be sought not only in the climatic differences between the watersheds but also in the practical difficulties of obtaining exact climatic measurements after intensive forest felling, in evapotranspiration changes and elsewhere.

The influence of forest felling /variable 136/ on the water runoff could not be proved via multiple regression analysis since the assessment period is so long that expected changes in runoff can level off. Whether forest renewal has a long term effect on the abundance of water sources is therefore also a matter of speculation.

Further analysis of results obtained in the Beskidian experimental watersheds will necessarily focus on shorter runoff periods or even individual throughflow waves. Questions as to the hydrological effects of the forests on the runoffs may then perhaps be answered by investigating the outflow lines of the watersheds.

Literature

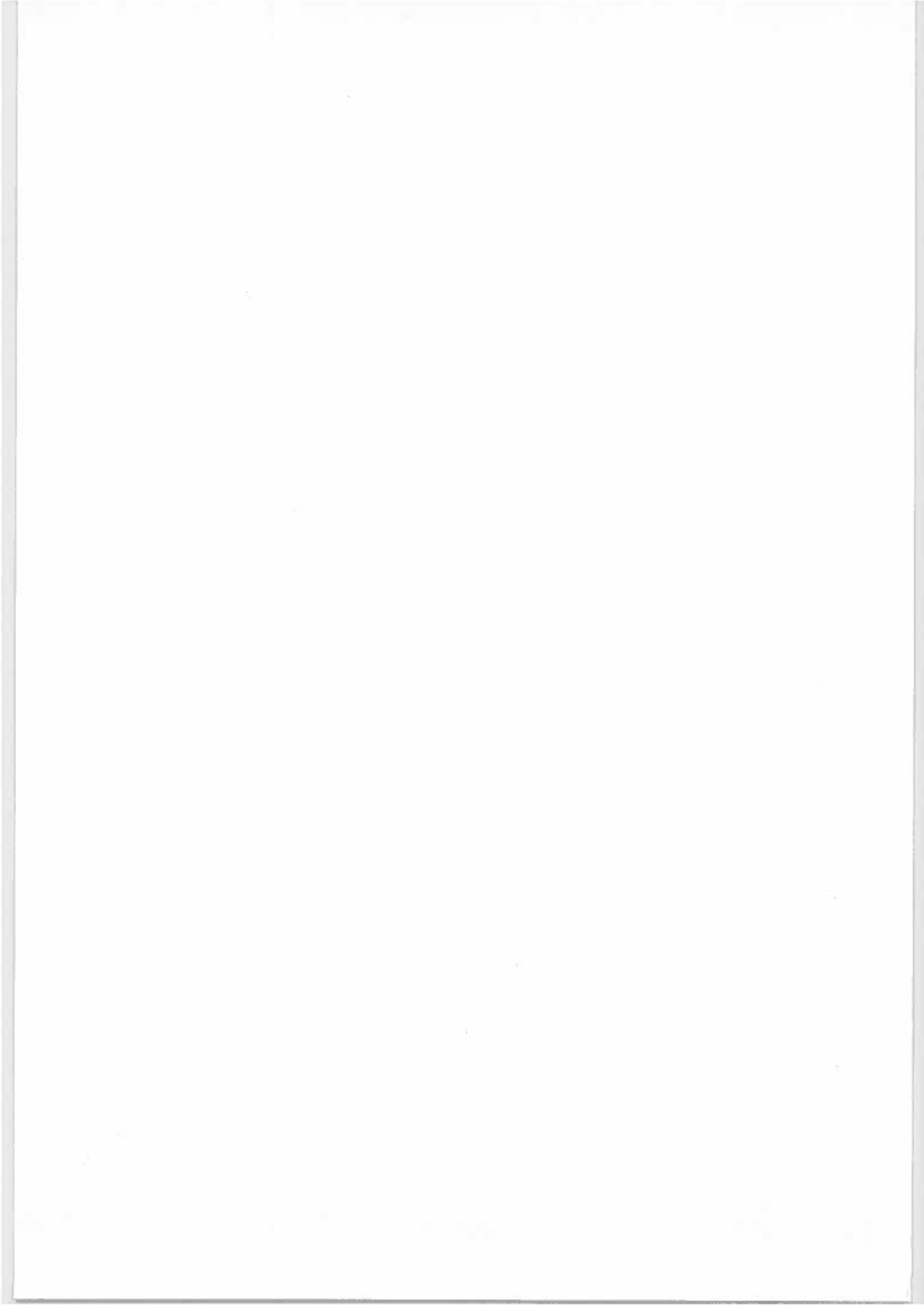
Jařabáč, M. and Chlebek, A., 1986: The effect of forests on the hydrological budget. Mitt.d.FBVA, Wien /in print/.

March 1987

FBVA-BERICHTE
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt
Wien

- 1987 22 Johann, Klaus: Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker.
Preis ÖS 60.-- 66 S.
- 1987 23 Pollanschütz, Josef; Neumann, Markus: Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse.
Preis ÖS 100.-- 98 S.
- 1987 24 Klaushofer, Franz; Litschauer, Rudolf; Wiesinger, Rudolf: Waldzustandsinventur: Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern.
Preis ÖS 100.-- 94 S.
- 1988 25 Johann, Klaus: Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen.
Preis ÖS 90.-- 88 S.
- 1988 26 Smidt, Stefan; Glattes, Friedl; Leitner, Johann: Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1986. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen.
Preis ÖS 120.-- 114 S.
- 1988 27 Smidt, Stefan: Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur.
Preis ÖS 80.-- 72 S.
- 1988 28 Forum Genetik-Wald-Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Innsbruck.
Preis ÖS 200.-- 192 S.
- 1988 29 Krissl, Wolfgang; Müller, Ferdinand: Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase.
Preis ÖS 50.-- 52 S.
- 1988 30 Marcu, Gheorge; Tomiczek, Christian: Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht.
Preis ÖS 30.-- vergriffen 28 S.
- 1988 31 Kilian, Walter: Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong.
Preis ÖS 50.-- 50 S.
- 1988 32 Smidt, Stefan; Glattes, Friedl; Leitner, Johann: Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987.
Preis ÖS 250.-- 234 S.
- 1988 33 Enk, Hans: 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern.
Preis ÖS 130.-- 124 S.

- 1988 34 **Krehan, Hannes:** Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Teil II: Fichtenbestände im Ausserfern (Tirol) und im grenznahen Gebiet des Mühl- und Waldviertels.
Preis ÖS 60.-- 60 S.
- 1988 35 **Schaffhauser, Horst:** Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87.
Preis ÖS 140.-- 138 S.
- 1989 36 Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (8). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 130.-- 128 S.
- 1989 37 **Rachoy, Werner; Exner, Robert:** Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen.
Preis ÖS 100.-- 100 S.
- 1989 38 **Merwald, Ingo:** Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84.
Preis ÖS 100.-- 92 S.
- 1989 Sonderheft:
Schneider, Werner: Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes.
Preis ÖS 200.-- 118 S.
- 1989 39 **Krehan, Hannes:** Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme.
Preis ÖS 60.-- 58 S.
- 1989 40 **Krissl, Wolfgang; Müller, Ferdinand:** Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldgebiet Österreichs.
Preis ÖS 140.-- 134 S.
- 1990 41 **Killian, Herbert:** Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn.
Preis ÖS 165.-- 162 S.
- 1990 42 **Jeglitsch, Friedrich:** Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987.
Preis ÖS 100.-- 98 S.
- 1990 43 Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (9). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 80.-- 80 S.



2

30