

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT
WIEN**

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

156. Heft

1985

1984 – 1985

**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*

(6)

	IUFRO	
Fachgruppe	Subject Group	Group sectoriel
	S1.04-00	

**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**

**Herausgegeben
von der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien**

Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-0850-8

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

INHALT - CONTENT - SOMMAIRE

	Seite/Page
Vorwort	7
Preface	10
Préface	13

TEIL / PART / PARTIE I

FAO/IUFRO - Symposium

FORSCHUNG IN KLEINEN EINZUGSGEBIETEN

Mathematische Modelle und Muster/Versuchs-Einzugsgebiete

RESEARCH ON SMALL WATERSHEDS

Mathematical Models and Experimental Watersheds

RECHERCHE DANS DES PETITS BASSINS VERSANTS

Modells mathematiques et bassins versants experimentaux

2. Oktober 1984, Torremolinos
Spanien - Espagne - Spain

KARL, J.: Runoff and erosion measurement in the Alpine region by means of artificial rainstorm tests	19
DJOROVIĆ, M. & V. VELASEVIĆ: Hydrology research net work of small watersheds in Republic Srbija, Yugoslavia	43

CAMBON, J.P.: Untersuchungen des mittleren Abflußkoeffizienten am System der inein- andergekoppelten Einzugsgebiete des Real-Collobrier (französische Côte d'Aix)	55
(Etude du coefficient d'ecoulement moyen sur le systeme de bassins versants emboites du Real-Collobrier; Cote d'Azur Francais)	
RUF, G.: Besonderheiten im Abflußverhalten eines kleinen, alpinen Einzugsgebietes	69
JARABAC, M. & A. CHLEBEK: Über die Einwirkung der Wälder auf die Wasserbilanz	87
BRECHTEL, H.M.: Hydrologic Research Areas in the Federal Republic of Germany and some Results from Small Experimental Watersheds	89
CA'ZORZI, F. & G. DALLA FONTANA & S. FATORELLI: Analysis of the hydrologic behavoiur of alpine watersheds with conceptual models	103
COSTANTINI, B. & M. CRESPI: The river Piave telemetric network in Veneto Region, Italy	129
Le Reseau de telemetrie du Fleuve Piave dans la Region Veneto, Italie	136
CADENAS de LLANO, F.L. & MINTEGUI AQUIRRE, J.A. & PEREZ-SOBA BARO, A.: Metodologia integrade para la determinacion de los sedimentos aportados por una cuenca	143
KRONFELLNER-KRAUS, G.: Forschung in kleinen Mustereinzugsgebieten in Österreich; Ziele, Methoden und ausgewählte Ergebnisse	161
Research in small experimental watersheds in Austria; Aims, Methods and selected results	169
BIUM, W.E.H., & K. KRESSE & W. MEIER: Landsat imagery for the assessment of soil erosion in large mountain watersheds	177

TEIL / PART / PARTIE II
REGIONALE LAWINENTAGUNG IUFRO/ÖGG

der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 und des ÖGG
(Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) Arbeitskreises
für Eis, Schnee und Lawinen

26. April 1985, Salzburg, Österreich

RYCHETNIK, J.: Lawinenaktivität mit und ohne Lawinenstützverbau	197
SCHAFFHAUSER, H.: Ziel und Aufgaben des neuen Institutes für Lawinenkunde der FBVA (Kurzfassung)	209
AMBACH, W. & H. EISNER: Deformationsmessungen an einem Firnschacht	211
LACKINGER, G.: Einsatz eines Mikrocomputers bei Gleitschneemessungen	223
KRONFELLNER-KRAUS, G.: Die Bergsturz-Mur- lawinen vom Mt. St. Helens, Washington, USA (Kurzfassung)	227
KÖRNER, H.: Die Bergsturzmuren vom Huascaran, Peru	233

V O R W O R T

Das vorliegende Heft beinhaltet die Tagungsbeiträge zweier Veranstaltungen der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 für "Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen" die in den Jahren 1984 und 1985 zusammen mit verwandten Arbeitsgruppen stattgefunden haben. Dem entsprechend gliedert sich das Heft in zwei Teile.

FAO/IUFRO-SYMPOSIUM IN TORREMOLINOS, SPANIEN

Im ersten Teil sind die Tagungs-Beiträge des gemeinsamen FAO/IUFRO-Symposiums über "Forschung in kleinen Einzugsgebieten" zusammengefaßt. Dieses Symposium fand am 2. Oktober 1984 im Rahmen der vierzehnten Tagung der FAO/EFC/MW-Arbeitsgruppe in Torremolinos, Spanien, in der Zeit vom 1. bis 5. Oktober 1984 statt. Diese gemeinsame Veranstaltung der Arbeitsgruppe (WP) für die Regelung von Gebirgseinzugsgebieten (MW) der Europäischen Forstkommission (EFC) der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) und der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 stellt eine Fortsetzung einer Reihe gemeinsamer Tagungen dar, deren letzte vor zwei Jahren (1982) in Palermo, Italien, abgehalten wurde.

Der 14. EFC/WM-WP-Tagung ging ein FAO/Spanisches Seminar über "Forsthydrologie und Restaurierung arider Gebiete" voraus und eine Studienreise in die Sierra Nevada folgte nach. Die gesamte Veranstaltungsserie war daher auch aus überseeischen Ländern gut besucht. Insgesamt waren 105 Teilnehmer aus 38 Ländern der Erde zusammengekommen, und zwar 9 aus Afrika, 6 aus den Nahen Osten, 5 von Asien, 9 von Lateinamerika und die anderen von den Mitgliedsländern der Europäischen Forstkommission, und zwar aus Deutschland, Frankreich, Italien, Jugoslawien, Norwegen, Österreich, Rumänien, Schweiz und Spanien, sowie von Internationalen Organisationen, wie IUFRO und MAB.

Das gemeinsame FAO/IUFRO-Symposium über die Forschung im kleinen Wildbacheinzugsgebieten war zwei Aspekten besonders gewidmet, die auch im Untertitel herausgestellt wurden: nämlich mathematischen Modellen und Mustereinzugsgebieten. Diese beiden Themen bzw. Untertitel waren bewußt gewählt worden, denn bei der Behandlung jedes hydrologischen Systemes stehen sich stets Modellsystem und Meßsystem gegenüber. Die Ergebnisse beider, müssen laufend gegenseitig angepaßt und berichtigt werden, müssen selbstverständlich müssen sich auch Modell- und Meßergebnisse verschieden großer Systeme entsprechen und sich auch in größeren Räumen richtig einfügen. Die vorliegenden Beiträge beleuchten eindrucksvoll das gesamte Spektrum:

- Kenntnisse über Kleinsysteme Wasser-Boden-Pflanze verbessern das Verständnis für die Einzugsgebietsforschung (Karl/Deutschland);
- vier Beiträge lieferten einen anschaulichen Überblick über die verschiedenen Faktoren und Probleme der Einzugsgebietsforschung (Djorovic/Jugoslawien, Cambon/Frankreich, Ruf/Österreich, Jarabac & al./CSSR, Brechtel/Deutschland);
- Möglichkeiten, Auswahl und Anwendung der verschiedenen hydrologischen Modelle behandelt ein Beitrag (Ca'Zorzi & al.) der sinnvoll durch die
- Darstellung eines modern aufgebauten Meßsystems mit telemetrischer Datenvermittlung und automatischer (Computer-) Auswertung ergänzt wird (Costantini & Crespi/Italien).
- Schließlich wurden auch die Methoden und Modelle der Berücksichtigung von Erosion und Feststofffrachten behandelt (Cambon et.al./Frankreich, Lopez Cadenas de LLano/Spanien) und
- in einem zusammenfassenden Überblick Modellziele den besonderen Problemen des alpinen Hochgebirges mit den dort schwierigen Meßbedingungen gegenübergestellt (Kronfellner-Kraus/Österreich).
- Der letzte Beitrag leitet zu großräumigen Erkundungen der Erosion mittels Satelliten über (Blum et.al./Österreich und Deutschland).

Schwerpunkte künftiger Forschungstätigkeit werden Modellparameter, Berichtigung von Meßfehlern und die Automatisierung von Messung, Datenübertragung und Auswertung bleiben, um Fragen der Praxis rasch und sicher beantworten zu können.

REGIONALE IUFRO/ÖGG LAWINENTAGUNG IN SALZBURG

Der zweite Teil dieses Heftes enthält die zur Publikation vorgelegten Beiträge der dritten ostalpin-regionalen, gemeinsamen IUFRO/ÖGG Tagung über "Lawinen und andere Massenbewegungen", welche am 26. April 1985 in Salzburg stattfand. Und zwar trafen dort Mitglieder des "Arbeitskreises für Eis, Schnee und Lawinen" (AK/ESL) der "Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik" (ÖGG, eine Zweigorganisation der "Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik" = International Society for Rock Mechanics) und der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 zu einem gemeinsamen Gedankenaustausch zusammen.

Die 22 Teilnehmer aus dem Ostalpenraum, aus Deutschland, Italien, Österreich, Schweiz und aus Japan diskutierten an Hand von sechs Referaten folgende Probleme:

- Wirksamkeit von Verbauungen und Aufforstungen (Rychetnik/Schweiz);
- Neue Aufgaben und Ziele der Lawinenforschung (Schaffhauser/Österreich);
- Meßtechnik in Schnee und Eis (Ambach, Lackinger beide Österreich);
- Meßbeispiele von Massenbewegungen (Kronfellner-Kraus/Österreich) und
- lawinendynamische Modelle (Körner/BRD).

Die Diskussionen zu diesen Berichten konzentrierten sich auf die aktuellen Arbeitsschwerpunkte, wie: Grundlagen der Warnung, Kontrolle und Zonung, die auch noch Besprechungsgegenstand der nächsten Zusammenkünfte sein werden.

Durch das freundliche Entgegenkommen der Tauernkraftwerke AG bestand die Möglichkeit am Vortag der Sitzung, am 25. April 1985, temporäre Schutzmaßnahmen und telemetrische Meßeinrichtungen im Bereich des Tauernkraftwerkes Glockner-Kaprun zu besichtigen.

DANKSAGUNG

Die einzelnen Beiträge dieses Heftes wurden möglichst unverändert vom jeweiligen Autor übernommen, auch wenn dadurch hinsichtlich der Einheitlichkeit Konzessionen gemacht werden müssen. Im wesentlichen handelt es sich um vollinhaltliche Original-Arbeiten. Diskussionsgrundlagen, die an anderen Stellen bereits publiziert sind, scheinen hier nur in Form von Kurzfassungen mit entsprechenden Literaturangaben auf.

Der Dank gilt allen Referenten, Dolmetschern, Organisatoren und insbesondere den jeweiligen Gastgebern, - in Spanien allen voran dem Präsidenten der EFC/MW Arbeitsgruppe Prof. Dr. Lopez Cadenas de Llano, Madrid, - in Italien dem FAO-Sekretariat in Rom, - in Österreich der Direktion der Tauernkraftwerke AG und für die Drucklegung dieses Heftes dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, und der Direktion der Forstlichen Bundesversuchsanstalt mit allen befaßten Mitarbeitern.

G. Kronfellner-Kraus
(Leiter der IUFRO Fachgruppe)

P R E F A C E

The present Booklet contains the Meeting Contributions of two Workshops of the Subject Group IUFRD S1.04-00 for "Prevention and Control of Torrent Erosion, Floods and Mud-flows, Snow Damages and Avalanches", which have taken place in the years 1984 and 1985 together with related working groups. For this reason the Booklet consists of two Parts.

FAO/IUFRD WORKSHOP IN TORREMOLINOS, SPAIN

In the first part the Meeting Contributions of the common FAO/IUFRD Workshop on "Research on Small Watersheds" are summarized. This Workshop took place on 2nd October 1984 in the framework of the Fourteenth Session of the FAO/EFC/MW Working Party in Torremolinos, Spain, sitting in the period of time from 1st to 5th October 1984. This common Meeting of the Working Party (WP) on the Management of Mountain Watersheds (MW) of the European Forestry Commission (EFC) of the Food and Agriculture Organization (FAO) and of the IUFRD Subject Group S1.04-00 is the continuation of a series of common meetings the last of which was held two years ago (1982) in Palermo, Italy.

The 14th EFC/MW-WP Session has been preceded by a Spanish FAO Seminar of "Forest Hydrology and Restoration of Arid Areas" and followed by a trip to the Sierra Nevada Mountains. All the series of Meetings therefore has been well visited also from overseas countries. The total number of 105 participants from 38 countries of the earth had met i.e. 9 from Africa, 6 from Near East, 5 from Asia, 9 from Latin America, and the other from the member countries of the European Forestry Commission i.e. from Germany, France, Italy, Yugoslavia, Norway, Austria, Romania, Switzerland, and Spain, as well as from international organizations such as FAO, IUFRD and MAB, UNESCO a.o.

The common FAO/IUFRD Symposium of the research in small torrential watersheds has been especially dedicated to two aspects which have been pointed out also in the subtitle i.e. mathematic models and experimental drainage basins. These two topics or subtitles have been chosen intentionally because in the study of each hydrological system the model system and the measuring system are always to be correlated. The results of both systems must always be adapted to each other, possibly amended, and of course the model and measuring results respectively of systems of different size must correlate and correctly fit also in larger areas. The present Contributions significantly clarify the whole spectrum:

- Knowledge of the small systems water/soil/plant improves the understanding for the research of the drainage basin (Karl/Germany);
- four statements brought a clear survey of the different factors and problems for the research of the drainage basins (Djorovic/Yugoslavia, Cambon/France, Ruf/Austria, Jarabac & al./Czechoslovakia, Brechtel/Germany);
- the possibilities, the choice and the application of the different hydrological models have been treated in a statement (Ca'Zorzi & al.) which is significantly completed by the
- presentation of an up-to-date measuring system with telemetric data transmission and automatic (computer) evaluation (Costantini & Crespi/Italy).
- Finally also the methods and models for the consideration of erosion and sediment transport have been treated (Cambon et al./France, Lopez Cadenas de Llano/Spain) and
- in a comprehensive survey the model aims have been discussed in view of the special problems in the high mountains of the Alps with their difficult measuring conditions (Kronfellner-Kraus/Austria).
- The last statement leads to large-space investigations of erosion by means of satellites (Blum et al./Austria and Germany).

The points of gravity in the future research activity will still be the model parameters, the correction of measuring errors and the automation of measuring, data transmission and evaluation in order to improve the possibility to give rapid and exact answers to the questions of practice.

REGIONAL IUFRO/ÖGG AVALANCHE MEETING IN SALZBURG

The second part of this Booklet contains the statements presented for publication in the Third Common IUFRO/ÖGG Meeting of the Region of the East Alps on "Avalanches and other Mass Movements", held in Salzburg on 26th April 1985. In this Meeting the members of the "Working Group for Ice, Snow and Avalanches (AK/ESL)" of the "Austrian Society for Geomechanics" (ÖGG, a branch organization of the "International Society for Rock Mechanics") and of the IUFRO Subject Group S1.04-00 joined for exchanging ideas.

The 22 participants from the region of the East Alps, from Germany, Italy, Austria, Switzerland, and also from Japan, have held discussions based on six statements treating the following problems:

- Efficacy of control works and afforestation (Rychetnik/Switzerland);
- new tasks and aims of avalanche research (Schaffhauser/Austria);
- measuring methods in snow and ice (Ambach, Lackinger, both from Austria);
- measuring examples of mass movements (Kronfellner-Kraus/Austria) and
- models of avalanche dynamics (Körner/Germany).

The discussions held on these statements have been focussed on the present points of gravity such as: Principles of warning, survey, and zoning which still will be objects of discussion in the next meetings.

By courtesy of the Tauern-Kraft-Werke AG it has been possible to visit on 25th April 1985, the day before the Meeting, the temporary protection measures and the telemetric measuring systems in the area of the Tauern Power Station Glockner-Kaprun.

THANKSGIVING

The different statements in this Booklet have been taken from the respective authors without modifications as far as possible, though this meant a certain sacrifice of uniformity. These contributions are essentially complete original works. The bases of discussion which have already been published elsewhere are inserted here only as summaries with the respective literature reference.

Our thanks are given to all speakers, interpreters, organizers and especially to the respective hosts - in Spain first of all to the President of the EFC/MW Working Party Prof. Dr. Lopez Cadenas de Llano, Madrid - in Italy to the FAO Secretary Office in Rome, - in Austria to the management of the Tauern Kraft-Werke AG, and for the printing of this Booklet to the Federal Ministry of Agriculture and Forestry, and to the management of the Federal Forest Research Organization of Vienna and to the staff concerned.

G. Kronfellner-Kraus
(Chairman of the Subject Group)

P R E F A C E

Le présent cahier contient les contributions de session de deux symposiums organisés par le groupe sectoriel IUFRO S1.04-00 sur "prévention et correction de l'érosion torrentielle, des crues et des laves torrentielles, du dommage causé par la neige et d'avalanches" qui ont eu lieu dans les années 1984 et 1985 ensemble avec des groupes de travail similaires. De cette façon, le cahier est divisé en deux parties.

SYMPOSIUM FAO/IUFRO A TORREMOLINOS, ESPAGNE

Dans la première partie, les contributions dans la session du symposium commun FAO/IUFRO sur "recherches dans les petits bassins hydrologiques" ont été résumées. Ce symposium a eu lieu le 2 octobre 1984 dans le cadre de la quatorzième session du groupe de travail FAO/EFC/Mw du 1er au 5 octobre 1984 à Torremolinos, Espagne. Ce symposium commun du groupe de travail (WP) sur l'aménagement de bassins versants de montagne (Mw) de la Commission Forestière Européenne (EFC) de l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et du groupe sectoriel IUFRO S1.04-00 est la continuation d'une série de sessions communes dont la dernière a eu lieu il y a deux années (1982) à Palerme, Italie.

La 14e session EFC/Mw-WP a été précédée par un séminaire espagnol FAO sur "Hydrologie forestière et rétablissement de régions arides" et suivie par un voyage d'études à la montagne de Sierra Nevada. C'est ainsi que toute la série de sessions était bien fréquentée aussi par des pays d'outremer. Un total de 105 participants venus de 38 pays de la terre s'y étaient réunis, à savoir 9 de l'Afrique, 6 du Proche-Orient, 5 de l'Asie, 9 de l'Amérique latine et les autres des pays membres de la Commission Forestière Européenne, à savoir de l'Allemagne, de la France, de l'Italie, de la Yougoslavie, de Norvège, de l'Autriche de Roumanie, de la Suisse et d'Espagne, ainsi que d'organisations internationales comme FAO, IUFRO, MAB, UNESCO, etc.

Le symposium commun FAO/IUFRO sur les recherches dans les petits bassins hydrologiques de torrents était spécialement consacré à deux aspects qui étaient mentionnés aussi dans le sous-titre: C'étaient les modèles mathématiques et les bassins hydrologiques échantillon. On avait choisi intentionnellement ces deux thèmes ou sous-titres, puisque dans l'étude de chaque système hydrologique il y a toujours le système modèle vis-à-vis le système de mesure. Il faut toujours adapter les résultats de ces deux systèmes entre

eux et les corriger, et naturellement aussi les résultats de modèle et de mesure obtenus de systèmes de différente grandeur doivent s'accorder et s'insérer correctement aussi dans des espaces plus grands. Les présentes contributions éclairent d'une façon significative le spectre total:

- La connaissance des petits systèmes eau-sol-plante élargit la compréhension pour la recherche des bassins hydrologiques (Karl/Allemagne);
- quatre contributions ont fourni une vue générale très claire sur les facteurs et problèmes de la recherche des bassins hydrologiques (Djorovic/Yougoslavie, Cambon/France, Ruf/Autriche, Jarabec & al./Tchécoslovaquie, Brechtel/Allemagne);
- possibilités, choix et application des différents modèles hydrologiques, traités dans une contribution (Ca'Zorzi & al.) qui était complétée d'une façon significative par la
- présentation d'un système de mesures établi d'une façon moderne par la transmission téléométrique de données et l'évaluation automatique par ordinateur (Costantini & Crespi/Italie).
- Enfin aussi les méthodes et modèles pour considérer l'érosion et les transports de sédiments ont été traités (Cambon et.al./France, Lopez Cadenas de Llano/Espagne) et
- en résumant une vue générale, les buts de modèle ont été discutés en face des problèmes de la haute montagne des Alpes avec ses conditions difficiles des mesurage (Kronfellner-Kraus/Autriche).
- La dernière contribution passe à l'investigation de grands espaces de l'érosion moyennant des satellites (Blum et.al./Autriche et Allemagne).

Les points de gravité des activités futures de la recherche seront les paramètres de modèle, la correction des erreurs de mesurage et l'automatisation du mesurage, la transmission de données et l'évaluation afin de pouvoir répondre d'une façon rapide et sûre aux questions de la pratique.

SESSION REGIONALE IUFRO/ÖGG SUR LES AVALANCHES A SALZBOURG

La deuxième partie de ce cahier contient les contributions présentées pour la publication de la troisième session commune IUFRO/ÖGG régionale des Alpes orientales sur "Avalanches et autres mouvements de masses" qui avait lieu à Salzbourg le 26 avril 1985. En effet, des membres du "Groupe de travail pour la glace, la neige et les avalanches" (AK/ESL) de la "Société autrichienne de géomécanique" (ÖGG, une organisation affiliée de la "Société internationale de la mécanique de rocs) et du groupe sectoriel IUFRO S1.04-00 s'y sont réunis pour un échange commun d'idées.

Les 22 participants de la région des Alpes orientales, de l'Allemagne, de l'Italie, de l'Autriche, de la Suisse et du Japon ont discuté sur la base de six conférences sur les problèmes suivants:

- Efficacité des défenses contre les torrents et des reboisements (Rychetnik/Suisse);
- nouveaux tâches et buts de la recherche d'avalanches (Schaffhauser/Autriche);
- technique de mesurage dans la neige et la glace (Ambach, Lackinger, les deux de l'Autriche);
- exemples du mesurage de mouvements de masses (Kronfellner-Kraus/Autriche) et
- modèles de la dynamique des avalanches (Körner/Allemagne).

Les discussions sur ces conférences se concentraient sur les points de gravité actuels du travail, comme: bases de l'avertissement, du contrôle et de la démarcation de zones qui resteront encore les objets des délibérations dans les réunions prochaines.

Par courtoisie de la Société des Usines Electriques des Tauern, il était possible de visiter le 25 avril 1985, le jour avant la session, les mesures temporaires télémétrique dans la région de l'usine électrique des Tauern Glockner-Kaprun.

REMERCIEMENT

Les différentes contributions de ce cahier ont été reproduites de leurs auteurs en changeant le moins possible, même si cela signifie un sacrifice quant à l'uniformité. Ce sont essentiellement des travaux originaux complets. Les bases de discussion qui avaient été publiées déjà ailleurs, apparaissent ici seulement comme des résumées avec les références correspondantes de la littérature.

Le remerciement est donné à tous les conférenciers, interprètes, organisateurs et surtout à Monsieur le président du groupe de travail EFC/MW Prof. Dr. Lopez Cadenas de Llano, Madrid, - en Italie au secrétariat FAO à Rome, - en Autriche à la direction de la Société de l'Usine Electrique des Tauern, et pour l'impression de ce cahier au Ministère Fédéral de l'Agriculture et de la Sylviculture, et à la direction de l'Institut Fédéral de Recherches Forestiers avec tout son personnel concerné.

G. Kronfellner-Kraus
(Chef du Groupe Sectoriel)

TEIL / PART / PARTIE I

FAO/IUFRO-Symposium

FORSCHUNG IN KLEINEN EINZUGSGEBIETEN

Mathematische Modelle und Muster/Versuchs-Einzugsgebiete

RESEARCH ON SMALL WATERSHEDS

Mathematical Models and Experimental Watersheds

RESEARCH DANS DES PETITS BASSINS VERSANTS

Modells mathematiques et bassins versants experimentaux

2. Oktober 1984, Torremolinos

Spanien - Espagne - Spain

RUNOFF AND EROSION MEASUREMENT IN THE ALPINE REGION BY MEANS OF ARTIFICIAL RAINSTORM TESTS

by

Johann KARL

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

1 Introduction

For many years the action of heavy rains in causing soil and rock erosion has been investigated in a number of Alpine torrent watersheds under the aspect of a quantitative determination of these phenomena. As a rule, the influence exercised by various parameters such as vegetation, types of soils and rocks as well as topography in connection with this process has been assessed in proportion to their occurrence in the respective area. It has become obvious that apart from the shape of the watershed and the bedrock foundation the prevailing vegetation plays a decisive role in the process of runoff and soil erosion.

To enable comparative measuring of these different parameters to be carried out under natural rainstorm conditions, a large number of test lots at different sites would be required together with gauging instruments along torrential rivers. These instruments, however, make very high maintenance demands or in some cases are simply unsuited for operation in alpine regions. And what comes more is that it is quite rare for them to be ready for service when torrents are in flood. Another requirement to be met in this connection is the evaluation of observation series over many years in order to obtain reliable statistical data. For all these reasons, permanent test lots have not been established in the alpine region nor have gauges been installed in alpine torrents ex-

In order to come to shorter observation periods and allow repeated measurements to be taken at any time that suits, tests have been carried out since 1973 by the Bavarian State Bureau for Water Resources Management based on the application of artificially created rain of storm force to representative vegetation units at different sites. These tests centre on the investigation of the runoff process in forest and grassland areas but touch also upon the problem of levelled skiruns.

Test method

Testing is carried out by means of the mobile erosion measuring installation of KARL and TOLDRIAN (1973) developed in 1972 with the support of the German Association for Water Resources and Land Improvement.

2.1 Artificial rainstorm generation

As may be seen in Figure 1, the overall system consists of a U-shaped pipeline equipped with a large number of 70 cm high vertical pipes on top of which are fitted low-pressure nozzles of the same type as used in the Perrot system 'Starre Regner' (rigid rainers). Flow controllers help to keep the output of all nozzles constant even on steep slopes.

The test area is 5 m wide and 20 m long. The rainfall intensity is adjustable between 20 mm/h and 100 mm/h depending on the total number of nozzles activated. For tests in the Alps the intensity most frequently chosen was 100 mm/h corresponding to the rainfall intensity observed locally during short-term natural storms.

The amount of water spread over the test area is determined from the known flow capacity of the nozzles, a water meter and HELLMANN's collecting troughs.

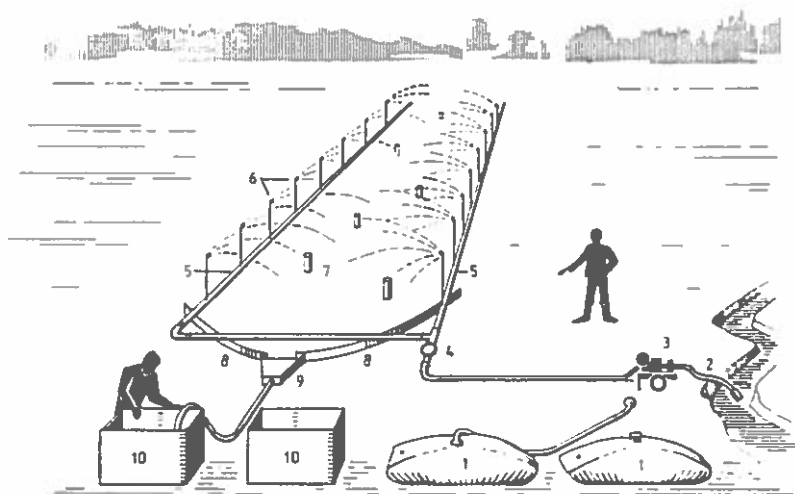


Figure 1: Semi-schematic representation of the mobile erosion measuring installation developed by KARL and TOLDRIAN

- | | |
|---|---|
| 1 tank with a capacity of 5,000 l or | 6 rigid rainers (PERROT) |
| 2 water intake from natural body of water | 7 HELLMANN'S pluviometer |
| 3 motor pump | 8 metal screens |
| 4 calibrated water meter | 9 collecting funnel |
| 5 pipelines | 10 calibrated collecting troughs (capacity 500 l) |

As regards erosion tests on exposed ground without vegetative cover the size of the water drops and the resulting rate of fall are very decisive factors. On vegetated ground, however, the drops disintegrate at the point of impact on plant particles which means in the latter case the drop size and rate of fall are irrelevant.

In order to enable a comparison to be made between artificial rainstorms generated in the erosion measuring installation and natural storm events, both size and velocity of the artificially created drops were determined along with the resulting kinetic energy striking upon the ground. It was found that approximately 75 p.c. of the drops have diameters ranging between 1 and 4 mm.

Table 1: Classification of drop sizes

Size classification: average (p.c.)							
Ø mm	Total p.c.	Distance from nozzle					
		0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	> 5m
0 - 1	20.85	4.285	4.285	9.065	2.02	1.195	
1 - 2	42.725	0.28	-	13.7	11.285	17.18	0.28
2 - 3	23.385	0.12	-	-	8.81	13.02	1.43
3 - 4	9.96	-	-	-	2.25	5.25	2.45
4 - 5	1.595	-	-	-	-	0.35	1.18
5 - 6	0.62	-	-	-	-	-	0.62
> 6	0.76	-	-	-	-	-	0.76
	99.895	4.685	4.285	22.77	24.37	37.0	6.72

A comparison being made with distrometer measurements of natural rainstorms proved that the kinetic energy obtained for artificial rainstorms is very much the same as that of natural storm events (Figure 2).

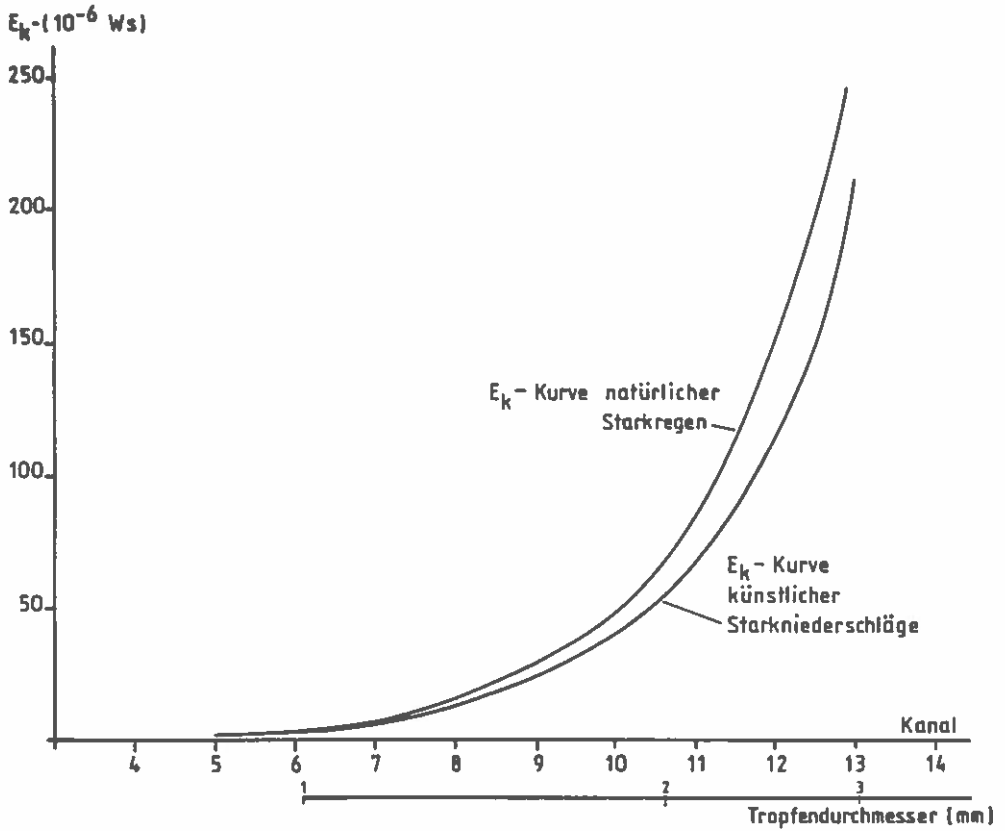


Figure 2: Comparison between the E_k curves of natural and artificial rainstorms

E_k -Kurve natürlicher Starkregen - E_k curve of natural rainstorm,

E_k -Kurve künstliche Starkniederschläge - E_k curve of artificial rainstorm

Tropfendurchmesser - drop diameter, Kanal - channel

The results shown in Figure 3 are very similar.

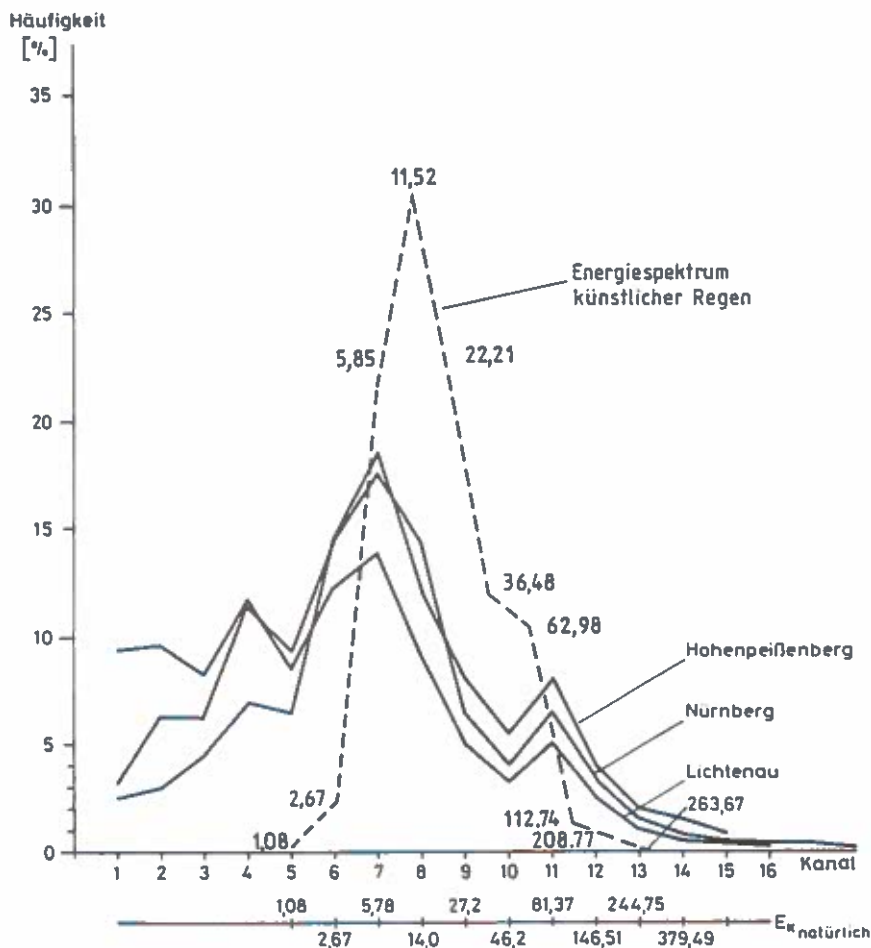


Figure 3: Comparison between the energy spectra of artificial and natural rainstorms

Häufigkeit - frequency, Kanal - channel, Energiespektrum künstlicher Regen - energy spectrum of artificial rain, E_k natürlich - E_k natural

The pattern shown in Figure 4 is developed from the energy spectra of the different drop sizes observed within the test area with a surface of 5 x 20 m. However, this pattern is merely theoretical in that the configurations change considerably with every movement of the air.

	1 x — 1,905 %	$E_k < 4.0 \times 10^{-6} \text{ W/s}$		$3 \times E_{k1} + 1 \times E_{k2} — 6.025 \%$
	1 x — 7,2 %			$4 \times E_{k1} + 1 \times E_{k2} — 0,95 \%$
	2 x — 16,385 %			$1 \times E_{k1} + 2 \times E_{k2} — 4,7625 \%$
	3 x — 9,7975 %			$2 \times E_{k1} + 2 \times E_{k2} — 4,5625 \%$
	4 x — 12,075 %			$3 \times E_{k1} + 2 \times E_{k2} — 0,4375 \%$
	1 x — 5,6 %	$E_{k2} > 210 \times 10^{-6} \text{ W/s}$		$4 \times E_{k1} + 2 \times E_{k2} — 0,0625 \%$
	2 x — 1,0875 %			$1 \times E_{k1} + 3 \times E_{k2} — 0,775 \%$
	1 x $E_{k1} + 1 \times E_{k2} — 11,975 \%$			$2 \times E_{k1} + 3 \times E_{k2} — 0,4 \%$
	2 x $E_{k1} + 1 \times E_{k2} — 15,9 \%$			$3 \times E_{k1} + 3 \times E_{k2} — 0,1 \%$

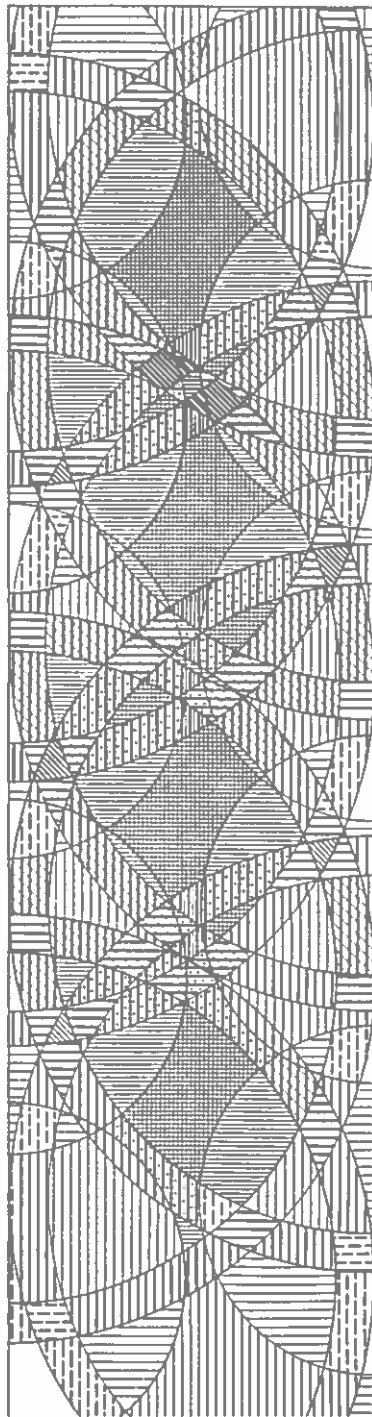


Figure 4: Pattern of energy spectra obtained from the test area with a surface of 100 m² for an artificial rainstorm with an intensity of 50 mm/h

2.2 Test procedure

The separate parts of the measuring installation are transported to the test site in a van. The necessary water for testing is either pumped into the system directly via a hose pipe from some natural body of water or water supply plant located near the test site or carried to the spot in a tank wagon.

Metal screens mounted along the bottom edge of the test area serve to direct the runoff water to a funnel from where it passes through a hose pipe into a calibrated trough. The discharge hydrographs are derived from total runoff being set against time.

The prevailing vegetation is registered under aspects of plant sociology. The soil profiles are described and the grain size groups and humus contents defined by laboratory analyses. The moisture content of the soils is determined before and after testing by gravimetric methods.

The washed-off solid material is abstracted from every 100 l of surface runoff, its weight then being converted to total runoff. Grain size groups are determined for sufficient quantities of detached soil material.

3 Test results

On the following pages the results of our tests based on the generation of artificial rain (hereinafter called N_k) at different sites and in different vegetation units are described in detail. What was common to all of them is that there is no indication of an interdependence between the volume of surface runoff (hereinafter called A_0) and the occurrence of soil erosion.

Furthermore, it became evident that the existing bedrock foundation and the prevailing type of soil both play an important role in this process but that the type of vegetative cover is of much greater moment than the gradient of the respective ground.

3.1 Forests in the mountainous zone

Our tests in natural forests in the mountainous zone showed that in these forests surface runoff and soil erosion occurred under very specific circumstances only. The results of these tests have been classified into the following four groups (see Table 2):

3.1.1 Forests without surface runoff

In mixed forest populations stocked with spruce, fir and beech trees and in populations exclusively stocked with spruce where regular grazing of cattle did not take place, rainfall with an intensity of approximately 100 mm/h did not produce any surface runoff at a large number of sites. This applies in particular to sites where we find Brown earths, grey-brown podzolic soils and Rendzina soils resting on masses of rock debris from calcareous alpine and flysch or on main dolomite. Similar conditions exist on hard limestone.

3.1.2 Forests with surface runoff but without or with negligible soil erosion

A great majority of the forests with surface runoff but without or with negligible soil erosion are exclusively stocked with spruce trees which cannot be classified as natural forests in the mountainous zone. In a few exceptional cases extreme surface runoffs of as much as 69 p.c. were observed being attributable to an impervious subsoil in a Pleistocene valley fill. The soils characteristic of such forests are cal-

Table 2: Forests in the mountainous zone

Height (m above mean sea level)	Bedrock	Soil type	Gradient %	Population (type of tree)	Age (years)	Artificial rain (N _k) mm/h	Surface runoff (A _O) (l)	Surface runoff (A _O) (% N _k)	Interflow (A _Z) (% N _k)	Soil erosion (g/l)	Soil erosion (kg/100 m ²)	Soil erosion (kg/ha)
Forests without surface runoff												
1050	sf	B	40	Fi-Ea-wEr	100j	95						
1150	sf	B	55-60	Fi-Ta-Bu	120j	98						
650	sk	R	24	Fi-Ta-Bu	80j	97						
1000	sk	R	22	Fi	20-40j	10j						
800	sk	R	16	Fi-Ta-Bu	80-120j	76						
1000	sk	R	16	Fi-Ta-Bu	80-120j	76						
750	tv	LS	93	Fi-Ta-Bu	120j	100						
740	tv	LS	73	Fi-Ta-Bu	80j	100						
760	tv	LS	50	Fi-Ta-Bu	120j	99						
400	tv	LS	60	Fi-Ta-Bu	120j	44						
1120	ko	LS	40	Fi	20j	97						
1130	sk	B	99	Fi	60-80j	99						
1200	sk	B	99	Fi	60-80j	99						
1100	sk	B	58	Fi-Ta-Bu	80j	10j						
900	nd	R	2-10	Fi-Ta-Bu	120j	93						
900	nd	R	35	Fi-Ta-Bu	120j	93						
1000	nd	R	90	Fi-Ta-Bu	120j	93						
1100	nd	R	35	Fi	160j	93						
1100	nd	R	85	Bu	100j	93						
1000	nd	R	70	Fi	80j	91						
Forests with surface runoff but without or with negligible soil erosion												
1100	sf	B	22	Fi	50j	100	220	1,2				
1170	ko	LS	26-28	Fi	20j	90	100	1,3		0,3	0,1	10
1040	nd	R	57	Fi-Ta-Bu	100j	95	190	3,1		0,6	0,2	20
1200	sf	Gn	53	Fi	80j	96	480	5,0		0,9	0,4	40
900	sf	Gn	78	Fi	60j	97	530	6,0		3,2	1,3	190
900	sf	Gn	72	Fi	120j	95	760	8,0		0,8	0,6	60
1100	sf	G	48	Fi	160j	93	740	8,0				
1070	sf	B	60	Fi-Bu	20-30j	97	800	8,2				
680	sf	Gn	50	Fi	70j	100	1 000	10,0		3,8	3,8	380
940	sf	Gn	42	Fi	80-120j	90	1 930	17,8		1,2	1,8	180
1100	ko	LS	38-40	Fi	20j	97	2 500	25,8		0,3	0,9	80
1300	ko	LS	45	Fi	10j	82	2 250	27,8		0,1	0,23	23
1100	sf	G	24	Fi	120j	93	3 300	35,5		1,2	4,0	400
1050	sf	B	20-25	Fi-wEr	30j	100	3 920	39,2				
1050	sf	B	55-60	Fi-Ta-Bu	160j	93	4 510	48,5				
1050	sf	G	45	Fi	10-20j	94	6 500	69,1		0,8	5,2	520
Forests severely affected by grazing of cattle												
1030	ko	B	16	Fi-wEr Fi-Ta-Bu	120-140j	76	1 940	25,5				
1100	sf	G	20	Fi-wEr	120j	93	4 700	50,5		0,9	4,2	420
1100	sf	G	24	Fi-wEr	80j	100	5 470	50,7		7,6	21,6	2 160

Interflow measured

Key to Table 2:

Soil types:	B Brown earth, typical gley, R Rendzina, LS grey-brown podzolic soil - pseudo-gley soil, Gn moist gley soil
Bedrock:	sf hill-slope debris (flysch and other bedrock with variable lithology), ko limestone from Oberrät (upper triassic to lias), sk hill-slope debris (calcareous alpine), tv lake fills (valley fill), hd main dolomite
Population: (type of tree)	Fi spruce, Bu beech, Ta fir, WEr grey alder, Es ash bew. grazed

careous lake fills and hill-slope gley soils affected by waterlogging right up to the ground surface.

It is worth mentioning that in spite of the presence of high runoff in natural forest populations there was no sign of any accompanying soil erosion, whereas man-made populations exclusively stocked with spruce proved to be stricken both by surface runoff and soil erosion.

3.1.3 Forests severely affected by grazing of cattle

In a large number of mountain forests grazing of cattle is still a common practice. Except for sites resting on a limestone formation, surface runoff and in one specific case extensive soil erosion was typical for all these forests.

3.1.4 Interflow measurement

Interflow is sure to occur in most forest populations. However, measuring of interflow requires a high amount of technical and operational efforts which is why during our tests it was limited to a few test sites. The measured values range between 24 and 36 p.c. of artificial rain with an intensity of approximately 90 mm/h.

3.2 Alpine crook timber and dwarf shrub populations

Tests were carried out on gneiss in the Tauern mountains and on flysch and calcareous alpine in the northern part of the Alps. In both cases populations of *Pinus mugo*, *Alnus viridis*, *Rhododendron ferrugineum* and *Vaccinium myrtillus* were exposed to artificial raining, the intensity being 100 mm/h.

These tests showed that there is only minor soil erosion in such populations but surface runoff may account for as much as 31 p.c. of the total quantity of artificial rain applied at a rate of 100 mm/h. As a matter of fact, however, this high runoff value referred to a population with a large share of *Nardus stricta* vegetation. This type of grass is well-known for its very dense root system preventing the water from rapidly penetrating the surface of the soil. Crook-timber and dwarf shrubs have a similar positive effect as natural forest populations.

Table 3

Vegetation	Soil type	Gradient	A_0 in p.c. of N_k	Soil erosion kg/100m ²
<i>Nardus</i> grass with <i>Rhododendron ferr.</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>	'Ranker' with gley characteristics	55 %	31.4	-
<i>Alnus viridis</i>	pseudo-gley soil	80 %	16.36	-
<i>Pinus mugo</i> , <i>Rhododendron ferr.</i>	podsol	60 %	15.3	-
<i>Alnus viridis</i> juv. <i>Rhododendron ferr.</i> <i>Vaccinium myrt.</i>	'Ranker' with gley characteristics	58 %	11.0	0.1
<i>Nardus stricta</i> <i>Vaccinium myrt.</i>	Brown earth podsol	60 %	5.0	0.024
<i>Alnus Viridis</i> <i>Rhododendron ferr.</i>	'Ranker' with gley charac-	65 %	4.1	0.03

3.3 Grass communities in the subalpine and alpine zones

3.3.1 Grassland used as pasture

The response of grass communities to rainstorms was investigated in the Tauern area on gneiss and in the northern part of the Alps on flysch and calcareous alpine. As regards these grass communities it may be generally said that with almost no exception the surface runoff observed is very to extremely high but soil erosion does not occur at all or on a very small scale. Runoff usually starts in full strength within a few minutes subsequent to the occurrence of rain.

One thing which became very clear is the role which the bedrock foundation and the type of soil play in the runoff and erosion process on grassland. Thus, for instance, Rendzina soils developed on hard limestone produce very little surface runoff and are not susceptible to soil erosion. However, as regards pseudo-gley and 'Ranker' soils resting on gneiss, surface runoff measured is high to very high ranging between 27 and 91 p.c. of the total volume of artificial rain. This was also accompanied by extensive soil erosion which is above all attributable to the gappy structure of the *Carex curvula* cover preferably growing there.

Substantial surface runoff without soil erosion was observed in *Nardus stricta* populations along the timberline on fossil receptional moraines. Runoff values ranged between 10 and 55 p.c. of total rainfall.

3.3.2 Pastures additionally used as skiruns

A substantial acceleration of surface runoff became manifest for pastures in the mountainous, subalpine and alpine zones where these periodically serve as skiruns and for this purpose have been smoothed by bulldozers. With one exception surface

Table 4: Surface runoff and soil erosion on grassland in the mountainous, subalpine and alpine zones

Height (m above mean sea level)	Bedrock	Soil type	Gradient %	Alpine grass	Utilization	Artificial rain (N) (mm/h)	Surf. runoff (N _O) (l)	Surf. runoff (N _O) (g N _K)	S. erosion (g/l N _O)	S. erosion (kg/100m ²)	S. erosion (kg/ha)
1250	pk	BR	25	bg	fw	56	3 180	33,1	0,04	0,13	13,0
1250	pk	B	20	bg	sw	89	5 600	62,8	0,01	0,06	6,0
1300	pk	L	36-38	bg	fw	91	1 600	39,6	0,07	0,25	25,0
1250	dw	R	40-42	bg	fw	82	1 120	13,7	0,02	0,02	2,0
1300	pk	B	48-52	bwz	unbew.	82	410	5,0	0,06	0,02	2,0
1500	fz	G	12	fw	sw	56	5 570	58,0	0,01	0,06	6,0
1500	fs	Gn	16	fw	sw	95	7 180	75,6	0,03	0,2	20,0
1500	fz	Gn	18	fw	sw	94	7 050	75,0	0,05	0,4	40,0
1410	pk	R	50	fw	iw	46	193	8,4	-	-	-
1400	pk	R	48	fw	unged.	55	145	5,3	-	-	-
1400	pk	R	40	fw	PK	65	798	30,2	-	-	-
1400	pk	R	43	fw	NPK	53	90	3,4	-	-	-
2300	gn	S	35	ks	sw	90	3 900	43,4	0,07	0,27	27,0
2300	gn	S	65	ks	sw	91	3 470	38,2	0,08	0,28	28,0
2100	gn	S	25-30	ks	sw	83	4 515	54,3	0,05	0,23	23,0
2100	gn	N	38	ks	sw	90	2 102	46,5	0,05	0,13	13,0
2100	gn	S	60	ks	sw	86	3 070	35,6	0,3	0,92	92,0
2100	gn	S	33	ks	sw	66	2 940	44,5	0,4	1,18	118,0
2000	gn	S	22-40	ks	sw	69	3 830	43,20	0,5	1,92	192,0
2000	gn	BG	40-45	ks	sw	79	2 185	27,5	0,3	0,56	56,0
2300	gn	S	28-30	ks	sw	75	6 820	91,4	0,1	0,58	58,0
2300	gn	S	70	ks	sw	74	4 210	57,4	0,6	2,50	250,0
2200	gn	S	68	ks	sw	63	4 430	69,3	0,4	1,80	180,0
2200	gn	S	48-52	ks	sw	86	4 020	46,2	0,3	1,20	120,0
1050	hd		22	fw	iw	100	6 800	63,0	-	-	-
1050	hd		22-24	fw	iw	93	3 700	39,8	-	-	-
1100	ko		20	fw	iw	98	3 740	38,2	0,4	1,5	150,0
1100	ko		20	fw	iw	85	2 830	33,3	-	-	-
1100	ko		30	fw	iw	78	2 600	33,3	-	-	-
1100	ko		32	fw	iw	81	2 880	35,6	0,4	1,2	120,0
1100	ko		55	bw	w	68	870	12,9	-	-	-
1930	de	colluvial Brown earths	23-35	bw	sw	92	5 100	55,4	-	-	-
1930	de		25-30	bw	sw	90	2 100	23,3	-	-	-
1930	de		59	bwz	sw	73	2 930	40,1	-	-	-
1930	de		30-40	bw	sw	83	840	10,1	-	-	-
1930	de		34	fw	sw	100	1 650	16,5	-	-	-

Soil types: BR Brown earth Rendzina, B Brown earth, L grey-brown podzolic soil, G typical gley soil, Gn moist gley soil, R Rendzina, N 'Ranker', S pseudo-gley soil, BG Brown earth gley soil

Bedrock: pk laminated limestone, dw receptional moraine, fz flysch ('Zementmergel' formation=marl with siliceous layers), gn gneiss, hd main dolomite, ko Rätö lias limestones, fs flysch (Reiselsberger Sandstein (sandstone))

Alpine grass: bg *Sesleria coerulea*, bwz *Nardus stricta* interspersed with dwarf shrub, fw rich pastures, ks *Carex curvula*, bm *Nardus stricta*

Utilization: iw intensive grazing, sw large holding paddock, fertilized d/KPN (mineral fertilizers K potash, P phosphate, N nitrogen), d/m (organic manure, dung, liquid manure), unbew. ungrazed, unged. ungrazed, unfer.

runoff on these slopes was always above 40 p.c. of the total amount of rain and even came up to as much as 86 p.c. Soil erosion does not occur or is quite insignificant except in one single case which refers to an alpine pasture provided with a cover of *Carex curvula*. The same conditions are also applicable to pastures not serving as skiruns.

Table 5: Surface runoff and soil erosion on natural mountain pastures periodically used as skiruns

Height (m above mean sea level)	Bedrock	Soil type	Gradient	Vegetation	Utilization	Artificial rain (N_k) (mm/h)	Surf. runoff (A_o) (l)	Surf. runoff (A_o) ($\% N_k$)	S. erosion ($g/l A_o$)	S. erosion (kg/100m ²)	S. erosion (kg/ha)
2390	dw	S	31	Curvulet.	Aw,S	89	7 340	82,5	0,13	1,4	140
1970	dw,ph	B,G	25	Rasenges.	Aw,S	90	3 770	41,3	-	-	-
1980	dw,ph	B,G	25-40	Rasenges.	S	86	3 520	40,9	-	-	-
2100	sf,gn,gl	B,G	21	Rasenges.	Aw,S	33	1 470	44,5	-	-	-
1450	sf	G	18	Br.-Segge	Aw,S	94	7 050	75,0	0,15	0,05	5
1680	dw	B,G	35	Rasenges.	Aw	100	6 310	63,10	-	-	-
1150	sk	G	23	Seggen	Aw,S	75	6 480	66,4	2,4	0,37	37
1330	lf	B,G	50	Rasenges.	Aw,S	88	4 250	48,3	2,1	0,50	50
1330	lf,tv	B,G	40	Rasenges.	Aw,S	80	3 000	37,5	0,48	0,15	15
1980	dw,ph	N	38-40	Rasenges.	Aw,S	73	4 420	60,7	-	-	-
1980	dw,ph	N	45	Rasenges.	Aw,S	70	1 160	16,1	-	-	-

Soil types: S pseudo-gley soil, B Brown earth, G typical gley soil, N 'Ranker

Bedrock: dw receptional (main) moraine, ph quartzose phyllite formation, sf hill-slope debris (flysch and other bedrocks with variable lithology), gn non-subdivided gneiss, gl micaceous schist formation, sk hill-slope debris (calcareous alpine), lf lias 'Fleckenmergel' (marl with siliceous spots), tv lake fills (valley fills)

Utilization: AW mountain pasture, S skirun

Vegetation: Rasenges. grass community, Segge sedge

3.3.3 Resowing of grass on levelled skiruns

It happens quite frequently that in the course of the construction of new skiruns the existing cover of grass has been removed and afterwards attempts are made to restore the original stand of grass by resowing. Depending on the respective site conditions the result of such resowing are secondary stands of grass of variable stability whose behaviour with respect to rainstorms varies accordingly.

Surface runoff did not occur on pervious rock debris from calcareous alpine. The results are shown in Table 6.

4 Eroded sites without vegetative cover

Artificial rainstorm tests were carried out at eroded sites without vegetative cover in a Pleistocene valley fill at the northern boundary of the Alps and in the alpine zone of the Tauern mountain range. According to the results there was very high surface runoff partly accompanied by an extremely high degree of soil erosion.

In one specific case for instance 59.800 kg/ha of soil were washed off by the action of artificial rain applied with an intensity of 100 mm/h. In general, high portions of coarse stones and gravel in the debris mass did not have any stabilizing effect regarding susceptibility to erosion whereas a high portion of silt involved much higher erodibility.

5 Bio-engineering measures

In the past the effect of bio-engineering measures has been investigated in one single case only. At an eroded site grown with *Alnus incana* a total amount of 3.440 kg/ha of soil was

Table 6: Surface runoff and soil erosion on levelled skiruns

Height (m) above mean sea level	Bedrock	Soil type	Gradient %	Vegetation	Utilization	Artificial rain (N) (mm/h)	Surf. run- off (A) (l)	Surf. run- off (A) (% N) _k	S.erosion (g/l A) O	S.erosion (kg/100m ²)	S.erosion (kg/ha)
1450	sf	O	34	Ansaat	Sp	97	8 540	88,0	20,7	176,8	17 680
1650	dw	O	42-48	Ansaat	Sp	100	7 940	79,4	1,3	10,3	1 030
1550	dw	O	48-50	Ansaat	Sp	100	7 240	72,4	11,6	84,0	8 400
900	dw	O	38	Ansaat	Sp	81	5 030	62,1	1,6	8,0	800
900	dw	O	25	Ansaat	So	78	3 450	44,2	-	-	-
1250	dw	G	22-23	Ansaat	Sp	86	5 800	67,4	0,2	1,6	160
1250	dw	O	14	Ansaat	Sp	85	6 200	72,9	0,2	1,6	150
1130	dw	O	55	Ansaat	Sp geschn	99	-	-	-	-	-
1150	dw	O	26	Ansaat	Sp	96	3 080	32,0	0,2	0,07	7
1100	sk	G	51	Ansaat	Sp	100	-	-	-	-	-
1100	sk	O	43	Ansaat	Sp	100	-	-	-	-	-
1100	sk	O	34	Ansaat	Sp	100	4 000	40,0	2,5	1,0	100
1800	dw,gl	O	35-45	Ansaat	Sp	63	2 030	32,3	1,2	2,4	240
1940	gl,ph	N	32	Ansaat	Sp	88	3 900	44,3	0,5	2,0	200
1950	gl,ph	O	22-24	Ansaat	Sp	80	4 660	58,3	0,4	1,9	190
1950	gl,ph	O	15	Ansaat	Sp	83	5 900	71,0	0,4	2,4	240
1640	gl,ph	O	10-13	Ansaat	Sp	65	4 300	66,2	-	-	-
1150	dw	O	22	Ansaat	Ss	78	6 100	78,2	0,2	1,2	120

Soil types: O virgin soil, G typical gley soil, N 'Ranker'

Bedrock: sf hill-slope debris (flysch and other bedrock with variable lithology), dw receptional (main) moraine, sk hill-slope debris (calcareous alpine), gl micaceous schist formation, ph quartzose phyllite formation

Utilization: Sp levelled skirun

washed off in understocked stands, whereas in about 15 years old densely stocked stands of *Alnus incana* at the same site the quantity of soil particles removed was much less, i.e. between 340 to 60 kg/ha. In all these cases, however, surface runoff remained at a very high level of between 34 and 60 p.c.

6 Summary

In 1973 the Bavarian State Bureau for Water Resources Management has put into operation a mobile erosion measuring installation which serves to spread artificial rain with adjustable intensities between 20 and 100 mm/h over a test area of 100 m². Intensity as well as drop and energy spectra of these rains correspond to those of natural rainstorms measured in southern Germany.

In the alpine region this installation has been used to perform a large number of tests in the major vegetation units on various bedrock formations.

In mixed natural forests in the mountainous zone surface runoff was produced in a few cases only. Accordingly, there was hardly any or only negligible soil erosion at these sites. Surface runoff frequently occurred in man-made spruce populations and at times was accompanied by soil erosion. Surface runoff and soil erosion were particularly high in forests affected by grazing of cattle. Interflow was measured in a few cases only.

The second large group of alpine vegetation studied comprised different communities of grasses. Except for a few cases the feature characteristic of these sites was high to very high surface runoff, however without or with very negligible accompanying soil erosion. This applies in particular to understocked natural grass communities in the high alpine zone.

Surface runoff from mountain pastures is accelerated substantially when these are periodically used as skiruns. The same is true for levelled skiruns where the original cover of grass has been restored by resowing.

As was expected, soil erosion reached a maximum on eroded sites without vegetative cover. At these sites, bio-engineering control measures proved to be most effective in the sense of reduced erodibility.

In summary, it can be said that besides bedrock and soil type vegetation is another decisive factor for the occurrence and magnitude of surface runoff and soil erosion.

Zusammenfassung

Am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft ist seit 1973 eine transportable Erosionsmeßanlage im Einsatz, mit der künstliche Starkniederschläge mit wahlweiser Intensität zwischen 20 und 100 mm/h auf einer Fläche von 100 m² erzeugt werden können. Diese Niederschläge entsprechen in Intensität, Tropfen- und Energiespektrum in Süddeutschland gemessenen natürlichen Starkregen.

In den Alpen wurden mit dieser Anlage zahlreiche Versuche in den wichtigsten Vegetationseinheiten auf unterschiedlichen Gesteinsunterlagen durchgeführt.

In naturnahen montanen Mischwäldern konnten nur in wenigen Fällen Oberflächenabflüsse erzielt werden. Dementsprechend traten hier auch keine oder nur geringfügige Bodenabträge auf. In naturfernen Fichtenbeständen waren Oberflächenabflüsse häufig und hier konnten auch gelegentlich Bodenabträge festgestellt werden. Hohe Oberflächenabflüsse und Bodenabträge traten in Wäldern auf, die durch Beweidung mit Rindern belastet sind. In einigen Fällen konnten Zwischenabflüsse gemessen werden.

Die zweite große Gruppe der untersuchten alpinen Vegetationseinheiten waren Rasengesellschaften. Bis auf wenige Ausnahmen ist ihnen gemeinsam, daß hohe bis sehr hohe Oberflächenabflüsse auftraten, die jedoch zu keinen oder nur geringen Bodenabträgen führten. Dies trifft vor allem für lückige hochalpine natürliche Rasengesellschaften zu.

Die Oberflächenabflüsse von Rasengesellschaften werden durch die Nutzung als Skipiste wesentlich verschärft und gleiches gilt für die auf planierten Skiabfahrten angesäten künstlichen Rasen.

Erwartungsgemäß die höchsten Bodenabträge fanden auf vegetationsfreien Anbruchsflächen statt, während ingenieurbio-biologische Verbauungen sehr gute erosionsmindernde Wirkung zeigten.

Insgesamt ist festzustellen, daß neben der Gesteinsunterlage und den Böden die Vegetation entscheidend für Oberflächenabfluß und Bodenertrag ist.

References

- BUNZA, G.: Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag auf Almflächen des Stubnerkogels im Gasteiner Tal. Veröffentlichung des Österr. MaB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern, Band 2, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 1978.
- BUNZA, G.: Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in alpinen Grasland-Ökosystemen. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 1984.
- BUNZA, G.: Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in der alpinen Grasheide der Hohen Tauern an der Großglockner-Hochalpenstraße. Veröffentlichung des Österr. MaB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern, to be published in 1984.
- BUNZA, G., DEISENHOFER H.-E., KARL J., PORZELT M. & RIEDL J.: Eine transportable Erosionsmeßanlage. Schriftenreihe des DWWK, to be published in 1984.
- KARL, J.: Methode und Möglichkeiten vergleichender Abflußmessungen mittels simulierter Starkregen. Interpraevent Bad Ischl, Bd. 4, 1980.
- KARL, J.: Methoden der Erfassung und landschaftsökologischen Beurteilung von Abtragsvorgängen in den Alpen. Geomethodica 6, BGC, Basel, 1981, pp 119-142.
- KARL, J.: 10 Jahre Abfluß- und Erosionsmessungen auf land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen mit Hilfe künstlicher Starkniederschläge. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsschrift 1/83, 1983, pp 191-200.
- KARL, J., TOLDRIAN, H.: Eine transportable Beregnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag. Wasser und Boden 25, 1973, pp 63-65.
- KARL, J.: Erosionsversuche auf zwei Skiabfahrten und im angrenzenden Wald bei Achenkirch/Tirol. Alpine Umweltprobleme Teil 1, H. A62, Beiträge zur Umweltgestaltung, Erich-Schnidt-Verlag, Berlin, 1977.

KARL, J., PORZEIT, H., BUNZA, G.: Oberflächenabfluß und Boden-
erosion bei künstlichen Starkniederschlägen.
Schriftenreihe des DVWK, to be published in 1984.

SCHAUER, Th.: Vegetationsveränderungen und Florenverlust auf
Skipisten in den bayerischen Alpen.
Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt,
H. 46, 1981, pp 149-179.

TOLDRIAN, H.: Wasserabfluß und Bodenertrag in verschiedenen
Waldbeständen.
Allgemeine Forstzeitschrift 29, 1974, pp 1107-1108.

HYDROLOGY RESEARCH NET WORK OF SMALL WATERSHEDS IN REPUBLIC SRBIJA, YUGOSLAVIA

Dr. Miroljub DJOROVIĆ, prof.
Dr. Velizar VELASEVIĆ, prof.

University of Belgrade

S U M M A R Y

The river basins form the logical units for hydrological studies. In order to understand the hydrology of typical natural areas, representative basins have been established for a number of well defined types of environment.

The relationship between the different components of the hydrological cycle can be studied in a number of ways but small watersheds offer the most adequate way of it.

Such investigation also form a basis for understanding and predicting the behaviour of other basins with similar characteristics.

The validity of such approach for hydrological prediction is closely connected to the degree to which similarity between different watersheds can be fulfilled.

The objectives of investigation of hydrological processes in small watershed are the following:

- Determination of all elements of water balance and total water balance computation;
- Development of relations between basin characteristics and hydrological characteristics;
- Study on hydrological characteristics themselves;
- Development of relation between the elements of the hydrological cycle;

Hydrological investigation will be performed under different

- geological
- hydrological and
- land use factors

For that purpose, a hydrology research net work of small watersheds is set up in Republic Srbija, covering 55.000 km² and consisting of seven representative small watersheds, whose general characteristics are given in table no 1.

Table no 1: General characteristics of small watersheds net work in Republic Srbija.

Watershed name	Area km ²	Elevation m above sea	Rainfall m	Cover
V. Dičina	23,0	692	902	Good forest
Repinska r.	7,82	641	773	Forest and grass
Kalimanska r.	16,04	809	800	Forest and grass
Ralja	9,45	330	650	Agriculture land
R- 1	0,076	880	1020	Forest
R- 2	0,064	892	1020	Grass
R- 3	0,084	860	1020	Poor grass (40%) Stony area (60%)

Duration of these hydrology investigations is planned to last at least 10 years, starting from 1980.

The primary purpose in most of established basins is to determine the elements of the water budget as fully as possible from practical and economical reason.

Also, studies are directed to the factors affecting the runoff process and also to the differences in runoff between basins under similar climatic condition.

To define the influence of those factors, the watersheds R- 1, R- 2 and R- 3 are very suitable. They are placed very near one to another and with very similar physical characteristics with only one clear difference: cover.

The first watershed is completely under forest cover, the second watershed is under good grass cover and the third on is stony (60%) and under poor grass and shrubs (40%).

After only three years of observation it is possible to confirm well know conclusions about the influence of cover on runoff (table no.2), but for the first time based on our own experiment data.

The influence of cover could be seen in comparison of the following characteristics registered in watersheds R- 1, R- 2 and R- 3 during the period 1980 - 1983.

Total amount of flow	R-1	R-2	R-3	Hydrological benefit
	Increasing			
Rate of flow	R-1	R-2	R-3	
	Increasing			
Variation of Flow	R-1	R-2	R-3	
	Increasing			
Water quality	R-1	R-2	R-3	
	Improving			

Though still at the beginning, those investigation point out to the real significant role of forest and forest soil on runoff retention and retardation as the most important factors in flood prevention in hilly-mountainous regions.

RAINFALL AND RUNOFF RELATION IN EXPERIMENTAL WATERSHEDS

FOR THE PERIOD 1980 - 1983 (Per year)

Watershed No	Rainfall l/m^2	Runoff - total			Runoff coefficient
		Duration days	Q_{sr} l/s	Q_{max} .l/s Q_{min} .l/s	
1 Forest cover)	963	125,96	2,32	5,73 1,31	0,345
2 Grass cover)	997	115.17	2,92	7,2 1,7	0,460
3 Poor grass and sparse shrubs)	885	94,82	5,0	18,3 2,36	0,549

No.2

Surface water runoff^x, water permeability and water protection class
in even-aged and uneven-aged spruce stands

Age in years Coefficient of the surface water runoff measured Water protection relative class Time for infiltration of 200 mm s

X	Y	$\bar{y}$	$\Delta = Y - \bar{y}$	$\frac{\Delta}{y} \cdot 100$	S
I. Even-aged stands					
12	0,392	0,366	0,026	6,63	730
25	0,281	0,310	0,029	10,32	620
48	0,205	0,211	0,006	2,93	590
71	0,121	0,119	0,002	1,65	425
93	0,074	0,075	0,001	1,35	360
115	0,050	0,047	0,003	6,00	315
130	0,031	0,033	0,002	6,45	210
II. Uneven-aged stands					
1-140	0,032	-	-	-	260

ace water runoff = overland flow

TABLE No.3

Runoff value ($\bar{y}_n$) in dependence on spruce stand age ($\bar{x}$),
determined by formulae 1 and 2 and gradient in the change
of the runoff ($\pm \Delta$) for even-aged stands

Age in years $\bar{x}$	Surface water runoff $\bar{y}_n$	Gradient in the change of Y $\pm \Delta = \bar{y}_n - \bar{y}_{n+1}$	Water protection class
0	0,418	-	III
10	0,374	0,044	III
20	0,332	0,042	III
30	0,288	0,044	III
40	0,246	0,042	II
50	0,202	0,044	II
60	0,160	0,042	II
70	0,116	0,044	II
80	0,099	0,017	II
90	0,080	0,019	II
100	0,065	0,015	II
110	0,052	0,013	II
120	0,042	0,010	I
130	0,033	0,009	I
140	0,025	0,008	I

TABLE No.4

Changes in the capacity, stock, ratio rotten - non rotten part of the litter (in g), in the water stable aggregates and ratio carbon - nitrogen from the surface soil layer according to the age of even-aged and uneven-aged spruce stands

Age class	Mean age in years	Litter			Soil (0-5 cm)	
		capacity	stock	ratio	C/N	Water-stable aggregates more of 1mm
		in cm	in t/ha	A''_0/A'_0		%
I. Even-aged						
I	10	1,93	21,9	1,41	16,82	23,4
II	30	2,45	34,6	1,83	15,60	29,8
III	50	2,72	44,7	2,44	14,31	31,9
IV	70	3,10	53,2	2,48	13,75	31,4
V	90	4,06	52,6	2,65	13,53	32,1
VI	110	4,10	71,5	2,92	13,18	33,2
VII	130	4,23	80,3	3,38	12,84	32,9
II. Uneven-aged						
I-VII	1-140	3,87	60,3	2,53	13,55	33,8

Change of the compactness, specific gravity and the porosities (total, capillary and non-capillary) of the forest litter and surface soil layer in dependence on the age of even aged and uneven aged spruce stands

rs	L i t t e r		S o i l (0-5 cm)			
	compactness		specific gravity		compactness	
	specific gravity		total capil- non-capillary		specific gravity	
	d	$\frac{V}{V_{nnb}} \frac{Va}{\% \text{ volume}}$	d	$\frac{V}{V_{nnb}} \frac{Va}{\% \text{ volume}}$	d	$\frac{V}{V_{nnb}} \frac{Va}{\% \text{ volume}}$
g/cm ³						
I. Even-aged						
0,284	1,976	85,6	61,7	23,9	0,943	2,550
0,264	1,819	85,5	55,7	29,8	0,809	2,444
0,255	1,761	85,5	52,5	33,0	0,812	2,338
0,255	1,708	85,2	48,1	38,1	0,772	2,320
0,222	1,698	86,9	44,2	42,7	0,759	2,306
0,182	1,659	89,0	36,3	52,7	0,767	2,292
0,177	1,660	89,3	34,3	55,0	0,697	2,250
II. Uneven-aged						
40	0,199	1,655	87,9	38,6	49,4	0,771

TABLE 7

Changes of the water balance of the litter (in mm; in % from the absolutely dry matter and % from the rainfall) in dependence on the age of the even-aged and uneven-aged spruce stands, after one-hour irrigation with 60 mm rainfall

Mean age				P				W				Fov				I							
Moment moisture				After the ex-				rainfall				retained water				runoff				infiltration			
Before the experiment				periment																			
Years	%	mm		%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm				
I. Even-aged																							
10	27,8	1,5		99,1	5,4	100,0	60,0	6,5	3,9	30,2	23,5	54,3	32,6										
30	34,4	2,2		94,7	6,1	100,0	60,0	5,5	3,9	28,1	16,9	65,4	39,2										
50	38,2	2,7		87,9	6,1	100,0	60,0	5,7	3,4	20,5	12,3	73,8	44,3										
70	41,2	3,0		84,5	6,2	100,0	60,0	5,3	3,2	12,1	7,4	82,5	49,5										
90	49,6	4,4		116,3	10,4	100,0	60,0	10,0	6,0	7,4	4,4	82,6	49,6										
110	49,4	3,7		122,8	9,2	100,0	60,0	9,2	5,5	5,0	3,0	85,8	51,5										
130	60,9	4,6		111,6	8,4	100,0	60,0	6,3	5,8	3,1	1,8	90,6	54,4										
II. Uneven-aged																							
1-140	59,7	4,6		100,4	7,7	100,0	60,0	5,2	3,1	3,2	1,9	91,6	55,0										

UNTERSUCHUNG DES MITTLEREN
ABFLUSSKOEFFIZIENTEN AM SYSTEM
DER INEINANDERGEKOPPELTEN
EINZUGSGEBIETE
DES REAL-COLLOBRIER
(französische Côte d'Aix)

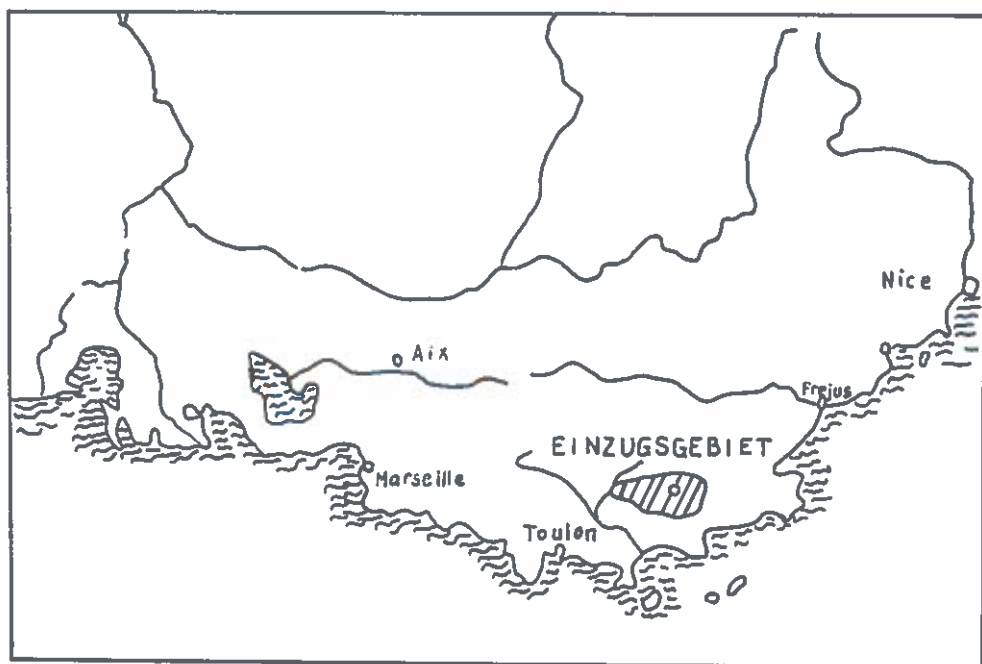
von J.P.CAMBON (CEMAGREF-Gpt.d'Aix)

EINLEITUNG

Das Hügellgebiet der Maures erstreckt sich entlang des Mittelmeeres zwischen Toulon und Fréjus und ist der Beginn der französischen Côte d'Azur. Es bildet den kristallinen Kern der Provence. Auf diesem hauptsächlich kieselsäurehaltigen Boden ist der Wald vor allem durch Kastanien- und Korkeichenhaine vertreten, aber die geringe Tiefe des Erdbodens, ja sogar dessen gänzlichcs Fehlen ermöglicht an vielen Stellen keine Bildung von Baumbestand, und der Boden ist von dichtem Maquis bedeckt.

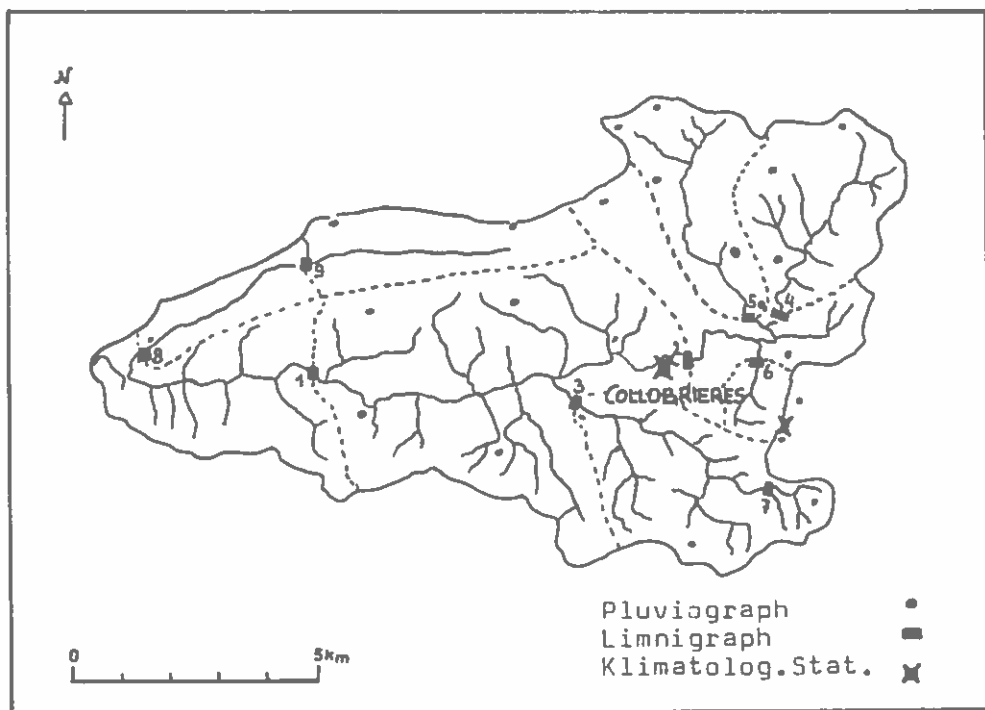
Das Gewässernetz beschränkt sich im wesentlichen auf den Rand des Massivs. Nur einige wenige Wasserläufe haben in den Maures ihr Tal gegraben; auf einem von ihnen, dem REAL-COLLOBRIER, errichtete das CEMAGREF bereits 1966 ein Beobachtungsnetz für hydrologische Erscheinungen.

LAGE DES EINZUGSGEBIETES DES REAL-COLLOBRIER



Neben weiteren Zielsetzungen waren die über den Einzugsgebieten vorgenommenen Beobachtungen dazu bestimmt, Modelle aufzustellen, auf Grund welcher man - ausgehend von den Beobachtungen, die bei den Stationen des von den SRAE geleiteten Primärnetzes (Oberfläche in der Größenordnung von etwa hundert km²) - die bei bedeutend geringeren Oberflächen (etwa zehn km²) zu erwartenden Ergebnisse schätzen kann.

Das Gebiet des Real-Collobrier ist für diese Forschungen besonders gut geeignet, da es in einem gleichen geologischen Kontext und bei einer durch Menscheneinwirkung nur wenig veränderten, homogenen Vegetation ein Gebietsystem darbietet, dessen jeweilige Oberfläche mit Genauigkeit bestimmbar sind, im Gegensatz zu dem, was in einen für die Provence so typischen Karstgebiet vor sich geht.



N	STATION	Oberfläche	X	Y	Z	Anfang	eingekoppelt in
1	PONT DE FER	70,6	915,2	111,5	89	1953	-
2	COLLOBRIERES	29,5	922,7	112,0	184	1965	1
3	MALIERE	12,3	920,8	111,0	138	1965	1
4	VALESCURE	9,36	925,0	112,9	211	1967	1-2
5	MAURETS	8,37	924,8	112,8	209	1966	1-2
6	VAUBARNIER	1,54	924,8	112,0	219	1968	1-2
7	RIMBAUD	1,40	925,0	109,5	170	1967	1-3
8	DAVIDS	9,7	911,9	111,7	88	1972	-
9	COGOLINS	5,5	915,0	113,6	152	1971	8

ANALYSE DER MEHRJÄHRIGEN DATEN

Wir sind daran gegangen, zu überprüfen, ob eine Gesetzmäßigkeit besteht, die es erlaubt, vom Abfluß, den man beim Ausgang eines Gebietes beobachtete, dessen Oberfläche die gleiche Größenordnung aufweist wie jene der Gebiete des von der SRAE (hier Station Pont de Fer 70 km²) geleiteten Hauptnetzes, auf jene Abflüsse zu schließen, die bei jenen Gebieten zu beobachten sind, deren Oberfläche geringer ist.

Wir haben daher für den Zeitraum von 12 hydrologischen Jahren (August 1970 - August 1982) eine Aufstellung des mehrjährigen Mittels der Abflußkoeffizienten gemacht. Die Ergebnisse sind nachstehend in abnehmender Ordnung der Oberfläche angeführt.

	PdeF	Coll	Mal.	Dav.	Val.	Mau.	Cog.	Vau.	Rimb.
Oberfläche km ²	70,6	29,5	12,3	9,7	9,36	8,37	5,5	1,54	1,40
mittl. Niederschlag	1122	1216	1174	1115	1277	1186	1182	1169	1358
mittl. Abweichung	308	347	314	264	370	318	278	306	378
mittl. Abflußhöhe	379	461	482	210	565	419	213	512	767
mittl. Abweichung	209	250	243	119	307	238	154	260	314
Abflußkoeffizient %	34	38	41	19	44	35	18	44	57
=====									

Die Prüfung dieser Tabelle zeigt, daß der Abflußkoeffizient nicht signifikant zur Fläche abweicht und Werte aufweist, die unerklärlich niedrig sind.

Diese erste Feststellung wird durch die Analyse mit linearen oder umgeformten Korrelationen zwischen Gebietsfläche und Abflußkoeffizienten bestätigt.

Bei den 9 Gebieten wird ein Koeffizient $r = 0,13$ ermittelt, ein sehr schlechter Wert; wenn man die Werte der beiden Stationen Davids und Cogolins beiseite läßt, die an einem Gerinne liegen, daß an das Hauptgebiet angrenzt (Ravin de Sauvecane) und einen Koeffizienten unter 20 % aufweist, so erhält man das Verhältnis:

$$a = 50,9 \cdot E^{-0,096} \quad (r=0,802)$$

Wenn man aus der Reihe auch die ebenfalls schwachen Werte von Vaubarnier herausnimmt, so erhält man:

$$a = 58,6 \cdot E^{-0,131} \quad (r=0,996)$$

Vorläufige Schlußfolgerung

welche die auf den Gebieten vorgenommenen Beobachtungen einhüllt, ist es verlockend, sie als jene Kurve zu betrachten, die für die Varianten der mehrjährigen Abflußkoeffizienten mit Abhängigkeit von der Fläche in dem Fall charakteristisch ist, wo sich das Gebiet nach dem Maximal-Typus verhält.

Es bleiben also, wenn man sich auch für die vier beiseitegelassenen Gebiete interessiert, die Ursachen der Veränderlichkeit der Relation zu erklären und zu prüfen, ob sie nicht so gartet sind, daß sie diese Schlußfolgerung entkräften.

Unterschiedlichkeit der morphologischen Merkmale

Die erste zu prüfende Hypothese besteht darin, diese Veränderlichkeiten des Abflußkoeffizienten durch die Unterschiede der morphologischen Merkmale zwischen den Einzugsgebieten zu erklären.

Diese Hypothese ist umso überzeugender, als die beiden Gebiete des Ravin de Sauvecanne, die aus der vorher durchgeführten Abstimmung herausgenommen waren, in einem sehr langgestreckten Gebiet mit einem Entwässerungsnetz liegen, das auf ein geradliniges Gerinne beschränkt ist.

Wir haben daher eine Analyse mit Multikriterien erstellt, indem wir bei den 9 Gebieten die Beziehungen testeten, die zwischen den Abflußkoeffizienten und den herkömmlichen Parametern des physikalischen Komplexes bestehen: Fläche des Gebietes, Neigungsindizes, Umfang, Länge des Talweges, Länge und Breite des äquivalenten Rechteckes, Dichte-Index, Entwässerungskoeffizient.

Trotz mehrerer Versuche und verschiedenen Kombinationen zwischen diesen verschiedenen Faktoren konnten wir eine Relation des Abflußkoeffizienten nur mit einem einzigen Faktor deutlich herausstellen: dem Entwässerungskoeffizient D, mit dem eine Beziehung besteht in der Formel:

$$a = 0,5 + 38,1 \log D \quad (r = 0,956)$$

Obwohl es interessant erscheint, auf dieses Ergebnis hinzuweisen, ist es doch nicht erklärend genug. In der Tat scheint uns dieser Parameter keine wirkliche Ursache des geringen Abflusses zu sein, sondern vielmehr eine Folgeerscheinung des Abflußmangels, der eine geringe Dichte des Gerinnesystems bewirkte. Es kann nichtsdestoweniger bei einer Extrapolationsformel der Ergebnisse des Real-Collobrier angewendet werden, doch kann es für eine Erklärung der beobachteten Erscheinung nicht ausreichen.

Unterschiedlichkeit des geologischen Substrates

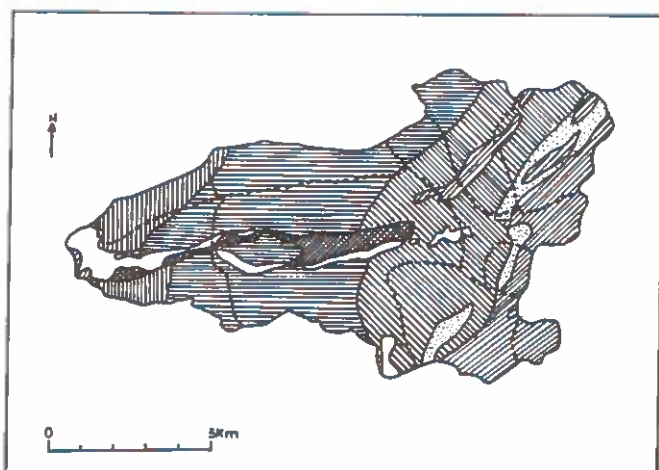
Also sind wir daran gegangen, eine zweite Hypothese zu prüfen nach welcher die Abflußkoeffizienten von der geologischen Bodenbeschaffenheit beeinflusst sein sollen.

Wir haben differenzmäßig den Abflußkoeffizienten für die Zwischengebiete berechnet, bei welchen wir über keine Beobachtungsdaten verfügen. So haben wir, ausgehend von den Beobachtungen von Valescure, Maurets und Vaubarnier, verglichen mit jenen von Collobrières, den repräsentativen Wert des nicht beobachteten Gebietes des Vaudrèches-Racas ermittelt: 32 % bei 10,4 km². Und ebenso, ausgehend von Collobrières und Malière verglichen mit Pont de Fer, jene des unteren Tales des Real-Collobrier: 22 % bei 28,6 km².

Hiedurch wird eine Verringerung des Abflußkoeffizienten von Osten nach Westen jeweils nach Nord-Süd-orientierten Streifen ersichtlich.

Diese Anordnung in Streifen Nord-Süd erinnert ziemlich genau an die geologische Anordnung. Streifen 1 entspricht ziemlich gut dem Anstehen des Gneis von Bormes und des Glimmerschiefers des Cap-Nègre; die Streifen 2 und 3 entsprechen jenem des Glimmerschiefers von Berles; Streifen 4 jenem der Schiefers des Loli und der Phylladen der Maurettes.

GEOLOGISCHE KARTE (nach S. GUEIRARD)



Phylladen der Maures

Schiefer des Loli

Permisch

Glimmerschiefer d. Berles

Gneis der Bormes

Glimmerschiefer

Alluvionen

Es scheint daher, daß bei dem Abflußkoeffizienten eine starke Beziehung mit der anstehenden Geologie des Untergrundes im Einzugsgebiet besteht.

Schlußfolgerung der mehrjährigen Analyse

Als Schlussfolgerung kann man daher festhalten, daß in den Maures bei den Abflußkoeffizienten starke Ungleichheiten herrschen. Die beschreibenden physikalischen Parameter der Einzugsgebiete allein gestatten keine Erklärung der Schwankungen der Beobachtungen.

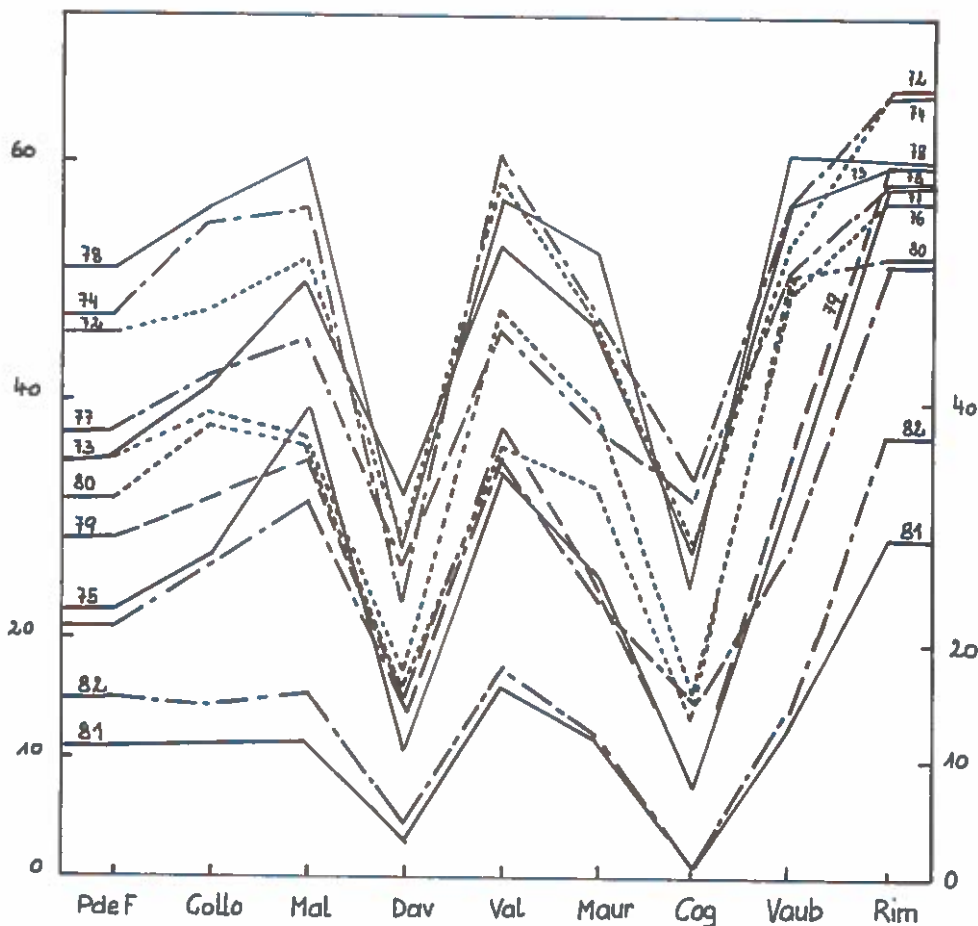
Auf Grund dieser Tatsache kann man die Mantelkurve, die bei der Untersuchung der Schwankungen des Abflußkoeffizienten abhängig von der Fläche ermittelt wurde, nicht in Betracht ziehen, ohne sie zu ergänzen, da es sehr wenige Gebiete gibt, welche homogene geologische Bedingungen aufweisen.

Wenn die Geologie so beschaffen ist, daß sie von sich allein aus die Verhaltensschwankungen der Gebiete zu klären vermag, so muß mit dem Zeitraum der Andersartigkeiten eines jeden Gebietes eine Stetigkeit vorhanden sein, die auf ähnliche Weise alle Jahre hindurch reagieren muß.

UNTERSUCHUNG DER JAHRESDATEN

Wir haben versucht, bei den Jahresdaten die jährigen Daten ermittelten Schlußfolgerungen zu überprüfen.

Die erste Untersuchung erfolgte graphisch und erlaubte die Feststellung, daß die Kurven tatsächlich den gleichen Allgemeinverlauf zeigen und zueinander parallel verbleiben. Daraus ist zu schließen, daß die Abflußkoeffizienten im Laufe der verschiedenen Jahre in Bezug aufeinander proportional bleiben, trotz der Schwankungen des Jahres-Niederschlags, wonach die Gebiete ähnliche Reaktionsweisen zeigen, Hinweis auf eine gute Gesamtqualität der Messungen, Bestätigung der Ähnlichkeit der Verhaltensweisen im Laufe der Zeit.



Analyse der jährlichen Variabilität

Wir haben die Analyse der Korrelation angefertigt, die zwischen Abflußkoeffizienten und Jahresniederschlag besteht. Laut Relation $a = A \times \text{Niederschlag} + B$. Die Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle angegeben.

	A	B	r
Pont de Fer	0,036	-10,05	0,895
Collobrieres	0,037	-10,47	0,913
Maliere	0,033	+ 1,57	0,788
Davids	0,023	- 8,8	0,796
Valescure	0,036	- 4,49	0,868
Maurets	0,034	- 8,26	0,913
Cogolins	0,027	-15,25	0,795
Vaubarnier	0,043	- 8,67	0,877
Rimbaud	0,027	+18,14	0,884

Die Anwendung von nichtlinearen Modellen (logarithmisch, potentiell oder exponentiell) führt zu keiner merkbaren Verbesserung der Korrelationsergebnisse.

Wir haben die Beobachtungswerte mit den Schätzwerten durch Anwendung dieser Relationen verglichen, wodurch wir die nachstehende Abweichungstabelle erhielten.

	PdeF	Coll	Mal.	Dav.	Val.	Mau.	Cog.	Vau.	Rim.
66-67	4,4	3,6	11,1						
67-68	-5,3	-5,2	-2,4		-3,5				-1,4
68-69	-1,6	-1,5	6,4		0,1				4,0
69-70	1,9	2,5	5,9		9,2	2,0	0,7	6,2	4,1
70-71	-3,8	1,7	2,0	2,7	6,1	0,9	4,5	-1,8	8,8
71-72	-0,1	-1,4	-3,0	4,9	-3,3	0,7	6,4	0,0	0,5
72-73	12,5	9,8	16,2	12,7	15,0	11,5	15,8	16,3	7,1
73-74	0,7	1,0	2,5	1,8	1,6	-1,7	4,1	-0,7	3,0
74-75	-4,0	-2,2	0,4	-2,3	-2,3	-1,1	-4,6	-6,8	-0,5
75-76	-9,2	-7,9	-11,8	-8,0	-9,3	-4,0	-9,3	-6,8	-4,9
76-77	-3,5	-4,7	-8,1	-1,9	-4,2	-2,6	0,6	-5,4	-6,5
77-78	5,9	6,8	4,0	1,2	3,0	2,4	-2,5	-0,1	-5,2
78-79	5,7	10,1	0,4	0,9	7,6	3,1	-1,3	6,6	6,6
79-80	0,9	0,9	-3,4	-4,1	-4,2	-3,6	-6,8	6,2	2,5
80-81	-4,3	-5,7	-11,5	-5,7	-10,9	-7,9	-5,5	-11,3	-5,8
81-82	-0,1	-2,3	-9,8	-2,4	-4,8	0,3	-1,9	6,5	-12,2

Es kann festgestellt werden, daß sie nicht zufällig verteilt sind, sondern daß im allgemeinen für ein und dasselbe Jahr die Abweichungen das gleiche Merkmal aufweisen und signifikant die gleiche Größenordnung.

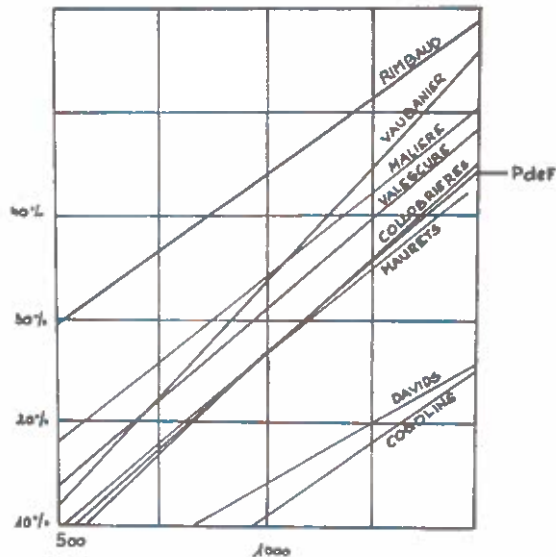
Da die Chronologie der Niederschlagsabschnitte über den Gebieten ähnlich ist, darf angenommen werden, daß ein wesentlicher Anteil dieser Abweichungen schon allein durch sie erklärbar ist.

Die Angleichung des Abflußkoeffizienten abhängig vom Jahresniederschlag nach der Formel:

$$a = A \times \text{Niederschlag} + B,$$

die in der Tabelle dieser Seite angegeben ist, wird auf nachstehendem Diagramm dargestellt:

DIAGRAMM DER ABFLUSSKOEFFIZIENTEN



Dieses Diagramm veranlaßt uns zur Formulierung zweier Hypothesen, welche die Werte A und B betreffen.

- 1) Die Prüfung der Ordinaten am Anfang (B) zeigt, daß die Mehrheit der Stationen Ordinaten der Größenordnung von -9 haben, nur Cogolins weist einen schwächeren Wert auf (-15), Valescure einen etwas höheren Wert (-4,5), schließlich erscheinen deutlich verschieden die beiden positiven, Rimbaud und Malière entsprechenden Werte. Diese beiden Gebiete liegen am gleichen Bach, ihre Ergebnisse sind daher in Bezug aufeinander kohärent.

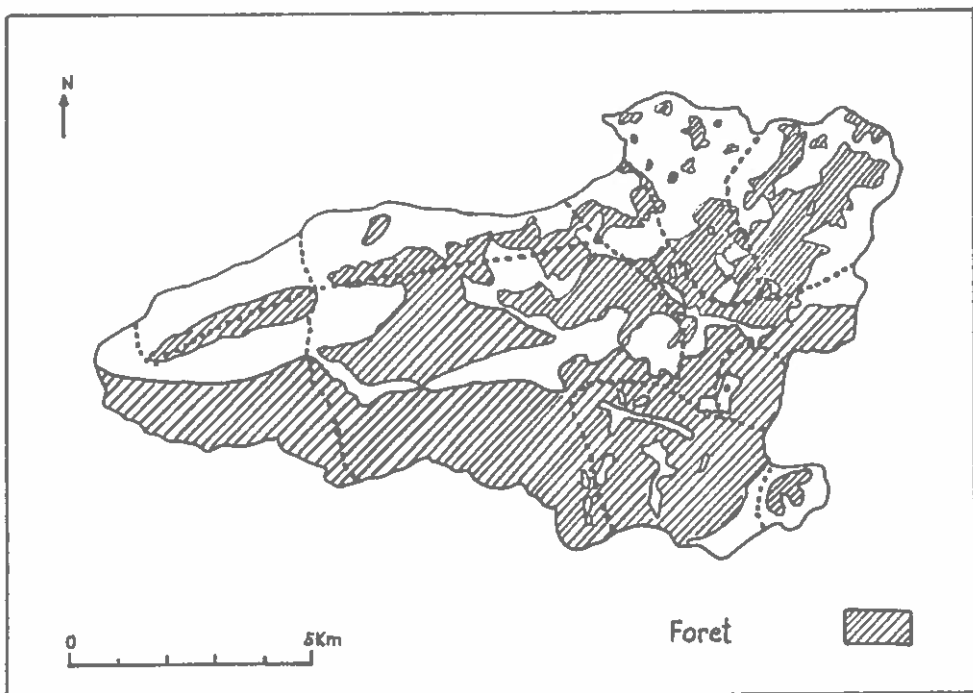
Bei dieser Anordnung wird man an die im ersten Teil diese Studie erwähnten Streifen erinnert, und wir neigen zu der Meinung, daß die Ordinate zu Beginn die geologische Beschaffenheit des Einzugsgebietes zum Großteil widerspiegelt.

- 2) Bei Prüfung der Neigungen der Korrelationsgeraden (A) zeichnet sich eine Hauptgruppe ab, bei der das Mittel dieses Parameters die Ordnung 0,035 aufweist; davon unterscheiden sich einerseits die am Vaubarnier beobachteten Werte ($A = 0,043$), andererseits jene der drei Stationen Rimbaud, Davids und Cogolins ($A = 0,027$, sogar 0,023).

Prüft man die Vegetationskarten, so stellt man fest, daß diese drei letzten Gebiete relativ schwach bewaldet sind und daß ihre Vegetation hauptsächlich in Form von dichtem Maquis auftritt ja sogar (im Falle von Davids) vertreten ist durch breite, mit Weinkulturen bepflanzte Bereiche; Vaubarnier hingegen ist stark bewaldet.

Die anderen fünf Gebiete sind in Bezug auf diese Extremfälle weniger gut charakterisiert, tragen aber im allgemeinen ge-

VEGETATIONSKARTE



Wir neigen daher zu der Annahme, daß die Neigung der Korrelationsgeraden vielleicht ein Abbild der in diesen Einzugsgebieten bestehenden Vegetationsunterschiede ist.

Der Gegensatz zwischen dem Verhalten des Maquis und des Waldes kann untersucht werden, wenn man vor allem die Gebiete Rimbaud-Vaubarnier eingehend studiert, und zwar:

Rimbaud (Fläche $1,5 \text{ km}^2$), wo die Vegetation hauptsächlich aus buschartigem, ziemlich schütterem Maquis besteht, und wo Skelettboden vorherrscht.

Vaubarnier (Fläche $1,5 \text{ km}^2$), wo die Vegetation hauptsächlich aus Wald besteht, mit überwiegendem Auftreten von auf ziemlich tiefen Böden angelegten Kastanienhainen.

Wenn man auf das Jahresdiagramm Bezug nimmt, so stellt man fest, daß in einem nicht besonders ergiebigen Jahr (Beispiel: 1980-81 oder 1981-82) die Abweichung zwischen den beiden Stationen bei der Größenordnung von 50 % liegt, wogegen in einem feuchten Jahr diese Differenz nur einige Prozente beträgt (Beispiel: 78, 74).

Daher scheint es, daß die Einflußnahme des Waldes auf den Abfluß bei diesen Gebieten der Größenordnung von 1 km^2 erkennbar ist.

Diese Hypothese wird durch die Tatsache erhärtet, daß die Station Vaubarnier während der Sommerperiode Zyklen von Tagesschwankungen der Abflußmenge aufweist. Dieses Phänomen, auf das bereits von mehreren Autoren hingewiesen wurde, wird als das Er-

Während dieser Periode ist der Wasserverbrauch durch die Pflanzen sehr hoch, wogegen die Wasserreserve des Bodens ausreicht, damit die der xerophilen Vegetation eigenen Schutzfaktoren nicht wirksam werden, welche den Wasserverbrauch einschränken, sodaß der ETR nahe beim ETP liegt.

Es wird daher festgestellt, daß bei dem Rimbaud-Gebiet, wo die Wasservorräte gering sind und wo die Vegetation schwache Fähigkeit zur Retention und Evapotranspiration besitzt, die Abflußkoeffizienten hohe Werte aufweisen. Auf dem benachbarten Gebiet jedoch (Vaubarnier) mit tieferem Boden, bei starker Waldbedeckung und starker Evapotranspiration, ist dieser Koeffizient in wenig ergiebigen Jahren schwach, wogegen er in feuchten Jahre Werte erreicht, die mit jenen des vorgenannten Gebietes in feuchten Jahren vergleichbar sind.

Zwei Hypothesen können bestehen, welche dieses Verhalten erklären:

- entweder ein klimatischer Unterschied zwischen feuchtem Jahr und trockenem Jahr, der einen ETP-Unterschied bewirkt, wobei ein feuchtes Jahr nicht unbedingt ein Jahr mit schwacher Sommerbestrahlung sein muß.
- oder ein Unterschied des Waldverhaltens bei starken Niederschlägen (Sättigung des Bodens und der Waldstruktur ...), der wahrscheinlicher erscheint.

Schlussfolgerung der Jahresanalyse

Die Analyse der Jahresdaten veranlaßt uns daher, festzuhalten, daß der Jahresabflußkoeffizient bei den Gebieten des Real-Collobrier vom Regen abhängig ist, nach einer Formel:

$$a = A \times \text{Niederschlag} + B,$$

in welcher A ein an die Vegetation gebundener Parameter ist:

0,020 im Fall der Weinkulturen
0,025 im Falle des Maquis
0,035 im Falle eines Mischkoplexes
0,045 im Falle eines Laubwaldes,

B ist ein an die Geologie und Tiefe des Bodens gebundener Parameter

- + 25 bis + 15 Gneis bei fehlendem Boden
- + 15 bis + 5 Gneis und Glimmerschiefer Cap Nègre
- + 5 bis - 5 Glimmerschiefer der Berles
- 5 bis - 15 Glimmerschiefer des Loli und Phylladen

Die tatsächliche Bestätigung dieser Schlussfolgerung wird aber erst durch eine Präzisionsstudie der komplexen Gebiete erfolgen können, auf Grund welcher die Verifizierung des Zutreffens der vorgeschlagenen Formel möglich ist.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Untersuchung der bei dem System der 9 Gebiete des Real-Collobrier beobachteten Abflußkoeffizienten auf jährlicher und mehrjähriger Ebene zeigt eine starke Variabilität, die eine signifikante Differenzierung im Verhalten dieser Gebiete sichtbar macht. Diese Differenzierung ist ausreichend, um dem Grundriß des Gerinnenetzes das Gepräge zu geben.

Sie ist nicht signifikant gebunden an die morphologischen Faktoren des physikalischen Komplexes, sondern kann auf zwei Hauptfaktoren zurückgeführt werden, deren Einfluß bedeutend stärker ist:

- ein Ost-West-Wechsel des anstehenden geologischen Untergrundes, der auf eine Variation der Durchlässigkeit und Retentionsfähigkeit der Böden bedingt,
- ein Unterschied der Pflanzendecke, der eine verschiedene Evapotranspiration ergibt und die Reserven auf andere Weise mobilisiert.

Deshalb ist derzeit eine direkte Extrapolation der Ergebnisse nicht möglich und kann erst nach einer weiteren Analyse deterministischer Art vorgenommen werden, welche die Schwierigkeiten klärt, die bei der Extrapolation der in den repräsentativen Gebieten durchgeführten Beobachtungen aufgetreten sind.

Die Prüfung dieser Beobachtungen auf präziserer und detaillierterer Ebene, in Verbindung mit einer genauen Kartierung der Böden und der Vegetation müßte die Möglichkeit zur Klärung dieser Hypothesen schaffen.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Beobachtungssystem der Primär-Einzugsgebiete des Flusses Real-Collobrier liegt im Massif des Maures, einer kristallinen Hügellandschaft am Rande des Mittelmeeres. Es umfaßt 9 aneinandergrenzende oder eingefügte Einzugsgebiete, deren Flächen von 1,4 bis 70 km² variieren.

Diese Einzugsgebiete besitzen relativ homogene physikalische Eigenschaften, was das System zu einem erstklassigen Mittel zur Untersuchung der Veränderlichkeit der Niederschlag-Abflußbeziehungen als Funktion der Oberfläche aufweist.

Die zwischenzeitliche Auswertung läßt große Unterschiede im Verhalten der Abflußkoeffizienten erkennen, deren Einfluß auf die Entwässerungsdichte (Gerinnewichte ?) bei den Geländebeobachtungen erkennbar ist.

Diese Unterschiede scheinen vornehmlich mit zwei Faktoren verbunden zu sein: der Geologie und der Vegetation, welche beide Faktoren untereinander über den Faktor Boden verbunden sind, der zuwenig bekannt ist.

Diese Feststellungen legen es nahe, sich über den Begriff Homogenität auf Grund von physikalischen Eigenschaften zu fragen, wenn man zu einer Übertragung von Resultaten aus den Repräsentativgebieten gelangen will.

RESUME

Le système d'observation des bassins versants élémentaires du Real-Collobrier est installé dans le Massif des Méditerranée. Il comprend 9 bassins contigus, ou emboîtés, dont la superficie va de 1,4 à 70 km².

Ces bassins présentent des caractéristiques physiques relativement homogènes, ce qui fait du système un dispositif de choix pour une étude de la variation des relations pluie-débit, en fonction de la surface.

L'étude à l'échelle interannuelle des coefficients d'écoulement laisse apparaître d'importantes différences de comportement, dont l'influence sur la densité de drainage apparaît dans les observations de terrain.

Ces différences semblent principalement liées à deux facteurs: la géologie et la végétation, ces deux facteurs étant eux-mêmes en relation par l'intermédiaire du facteur sol, qui est mal connu.

Ces constatations amènent à s'interroger sur la notion d'homogénéité en matière de caractéristiques physiques lorsque l'on considère des bassins versants.

B E S O N D E R H E I T E N
I M A B F L U S S V E R H A L T E N E I N E S
K L E I N E N , A L P I N E N
E I N Z U G S G E B I E T E S

von

Gerhard Ruf

Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

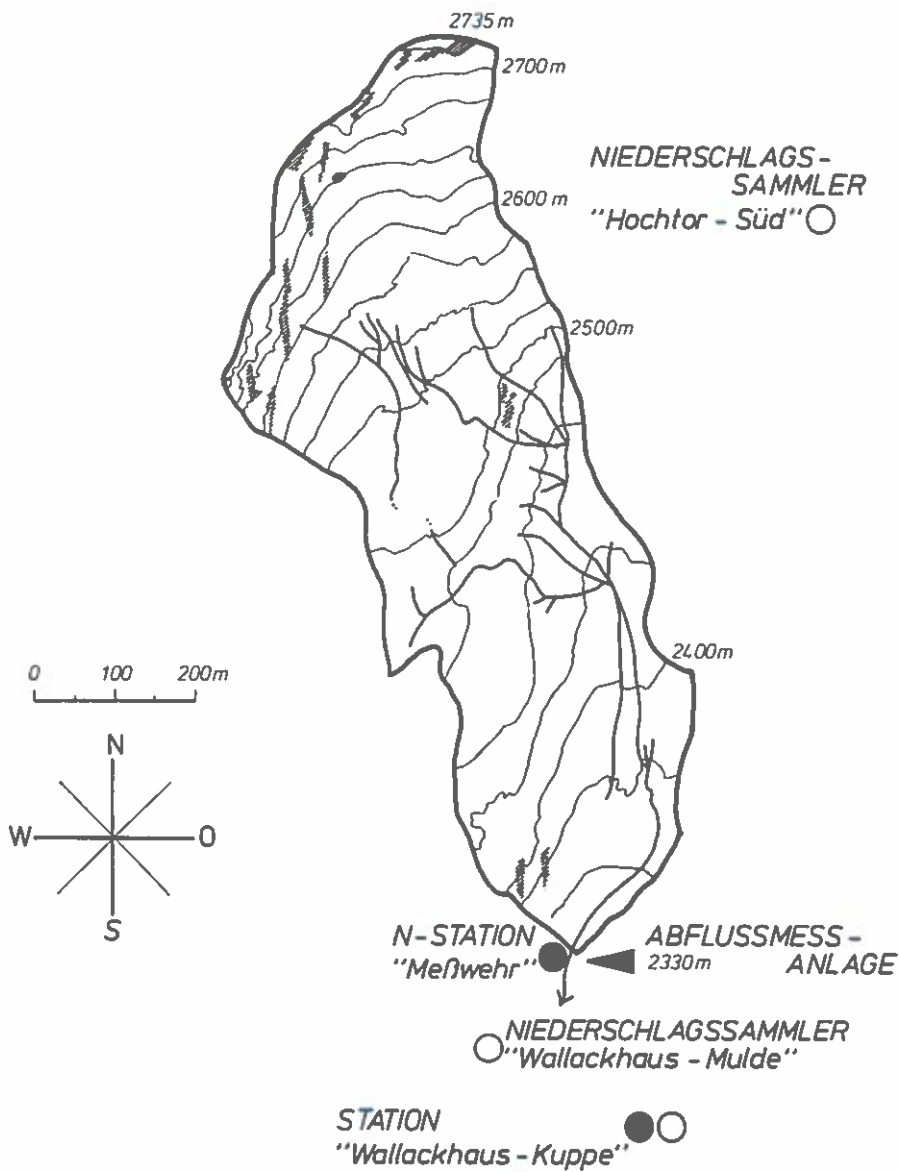
V O R W O R T

Die Untersuchungen, über die hier berichtet wird, wurden von der Österr. Akademie der Wissenschaften im Rahmen des Internat. "Man and Biosphere" Programmes als Teil des Projekts Hochgebirgsökologie begonnen (RUF, 1980) und nach Beendigung dieses Projektes von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, die bis dahin mit der Abflußmessung beauftragt war, übernommen. Die Einrichtung des Meßnetzes stammt daher noch von jenem Projekt. Es wird nun über eine Zwischenauswertung der Niederschlags- und Abflußmessungen der ersten vier Jahre 1978 bis 1981 berichtet. Besondere Bedeutung besitzen die Messungen in diesem Einzugsgebiet durch die Tatsache, daß bisher nur wenige Ergebnisse aus dieser Höhenstufe vorliegen.

D A S E I N Z U G S G E B I E T

Das beobachtete Einzugsgebiet (Abb. 1) umfaßt eine SSD-exponierte Fläche von $0,325 \text{ km}^2$ im Bereich der Zentralalpen, weit über der Waldgrenze, mit der Höhererstreckung von 2330 m bis 2735 m Seehöhe, wo mit einer mittleren Jahrestemperatur von $-1,8^\circ\text{C}$ und einer mittleren Julitemperatur von $+5,3^\circ\text{C}$ gerechnet werden muß. Die Bodenbedeckung besteht im unteren Teil aus Pflanzengesellschaften der alpinen Grasheidestufe, im oberen der Polsterpflanzenstufe, doch sind in den höheren Lagen auch Flächenanteile von vegetationslosem Fels und Blockhalden enthalten. Das Gerinne verläuft über einen Hang, in dessen oberer Hälfte die nur teilweise von Hangschutt überlagerten Gesteine der Tauernschieferhülle (Phyllite, Quarzite, Grünschiefer und

Abb. 1: Topographische Skizze des Einzugsgebietes



und dessen untere Hälfte von einer Moränenüberdeckung mit der Neigung von rund 17 % gebildet wird (FÜRLINGER, 1977). Dementsprechend sind wirksame Versickerungszonen reichlich vorhanden, und zwar sowohl im Moränenkörper wie auch im Bereich zerrütteter Felspartien im oberen Einzugsgebiet. Die in der Moräne gelegene Abfluß-Meßanlage faßt zwar Sickerströme bis rund 2,5 m Tiefe, schließt jedoch das Gebiet keinesfalls dicht ab. Es eignet sich diese Gebietseinrichtung daher weniger für Wasserhaushaltsuntersuchungen, repräsentiert aber die durchschnittlichen Abflußbedingungen dieser Höhenzone der Region und interessiert vor allem hinsichtlich des Abflußregimes und der Bedeutung für die Hochwasserbildung.

E R G E B N I S S E

Die Auswertungen stützten sich auf ein Netz von 3 registrierenden und 3 sammelnden Niederschlagsstationen in Entfernungen von 0, 200 und 3000 m Luftlinie, sowie auf die Abflußwerte des registrierenden Meßwehres mit scharfkantigem, dreieckförmigem Überfall. Für die Beurteilung des Jahresabflußregimes wurde der Höhengradient des Niederschlages aus ungefähr wöchentlichen Summen anhand von Regressionen ermittelt, wobei noch der Unterschied zwischen Kuppen- und Muldenlagen berücksichtigt werden konnte (Abb. 5 und 6). Danach wurden die Niederschläge für die Mittelhöhe des Einzugsgebietes berichtigt. Für die Analyse von Einzelereignissen aus Kurzregen wurde entsprechend eigener Erfahrungen und der neueren Literatur (ZELLER J., GENSLER G., 1980) kein Höhengradient berücksichtigt.

D a s J a h r e s a b f l u ß r e g i m e

Wegen dem Fehlen von Quellgebieten aus tieferen Zonen endet die Wasserführung im November und beginnt erst wieder mit dem Einsetzen der Schneeschmelze Mitte bis Ende Mai. Die Jahressganglinie wird fast gänzlich vom Verlauf der Schneeschmelze bestimmt. Jahre mit relativ ungestörter Schneeschmelze (1979, 1981) und solche mit verzögerter Schneeschmelze (1978, 1980) unterscheiden sich im Zeitpunkt des Höchststandes der Abflüsse um bis zu 8 Wochen (Abb. 4). Das Dominieren des Schneeschmelzabflusses hat nicht nur seine Ursache in der Größe der angesammelten Schneemenge, sondern auch in der Tatsache, daß von der Schneedecke ein wesentlich höherer Anteil zum Abfluß gelangt als von den Niederschlägen auf aperen Boden. Vom November bis zum jeweiligen Ende der Schneeschmelze steigt der Abflußanteil auf 54 - 58 %, während von den Niederschlägen danach nur mehr im Mittel 25 % abfließen, sodaß der Koeffizient für das gesamte hydrologische Jahr wieder auf rund 50 % absinkt (Abb. 7). Bodenfrost unter Schnee, undurchlässige Schichten in der Schneedecke, vielleicht auch höhere Bodensättigung mögen die Ursachen



Abb. 2: Ein Meßwehr mit dreieckförmigem, scharfkantigem Überfall und Dimensionen, die einen Einfluß der Zustromgeschwindigkeit ausschließen, garantiert hohe Genauigkeit der Durchflußwerte.

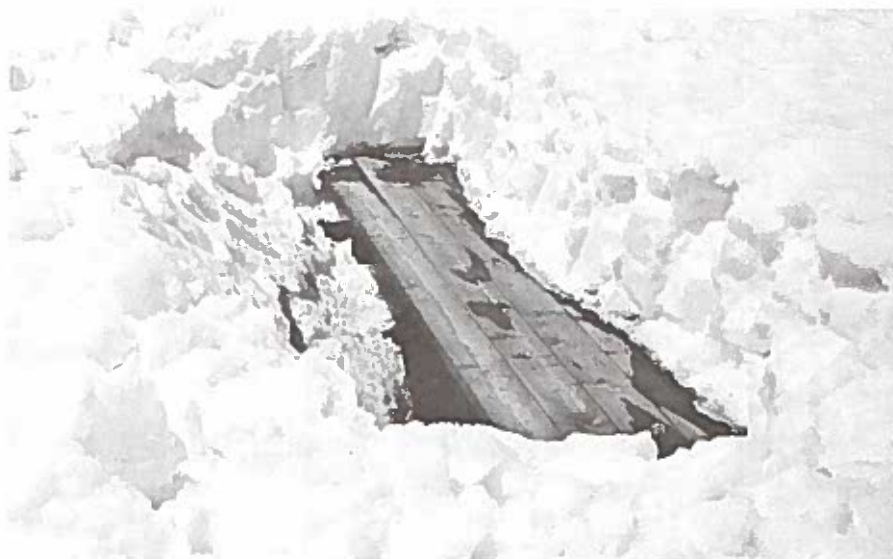


Abb. 3: Zustand der Abflußmeßanlage zu Beginn eines Abflußjahres (12. Juni 1980, Wasserführung seit 1 Woche).

Abb. 4: Jahres-Abflußganglinien aus Tagessummen der Abflußhöhe

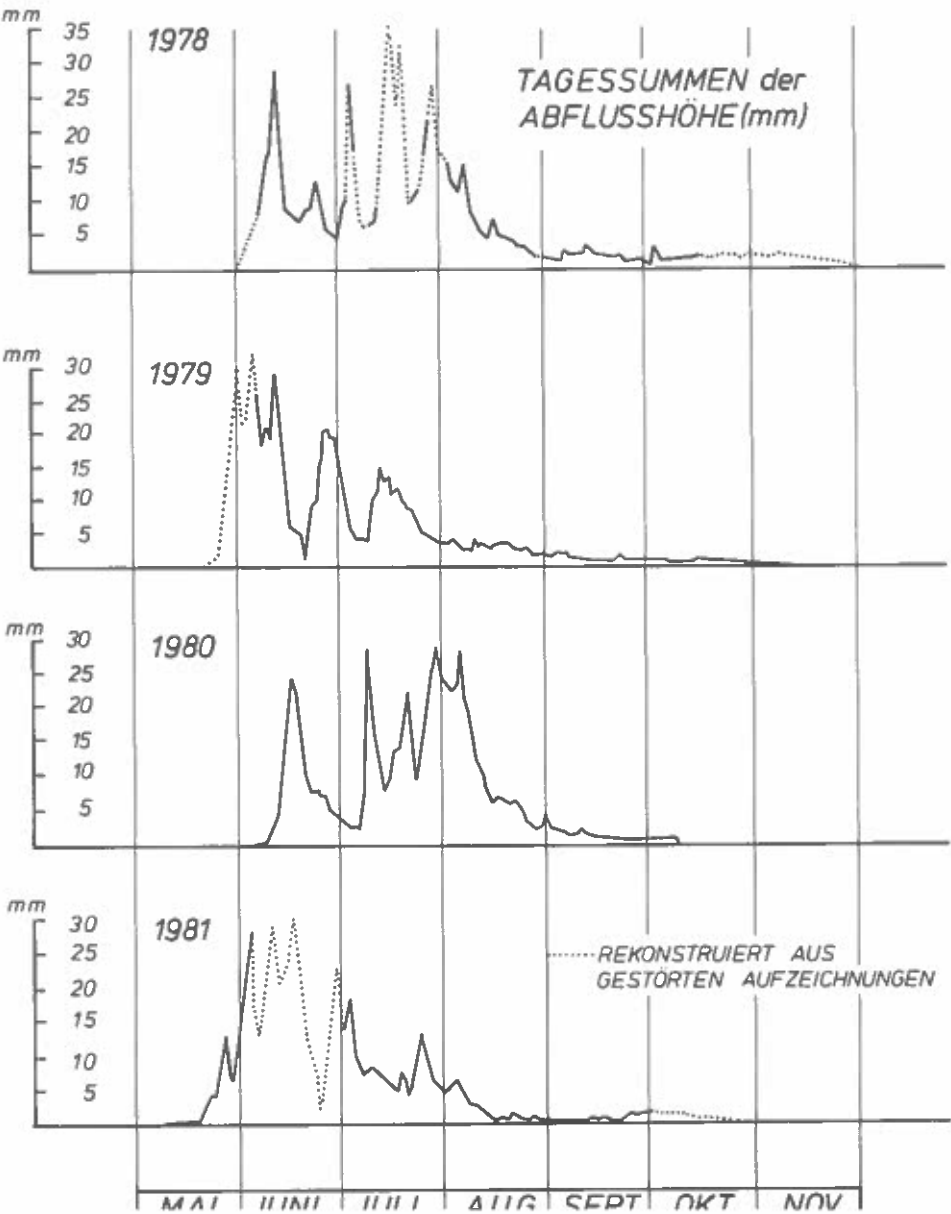


Abb. 5: Ermittlung der Niederschlagsverteilung nach der Seehöhe anhand von Korrelationen zwischen den Stationen (Werte der Sammler)

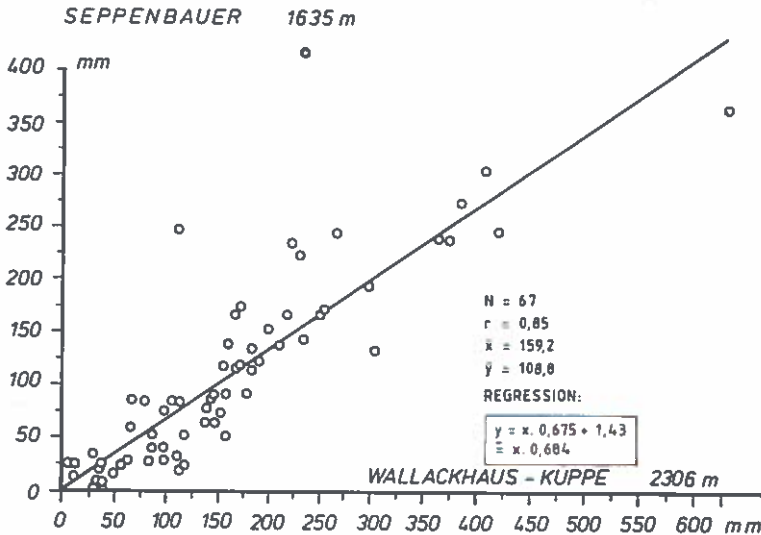


Abb. 6: Höhengradient der Niederschlagswerte aus Sammlermessungen ($\bar{x}$ und $\bar{y}$ der Korrelationen)

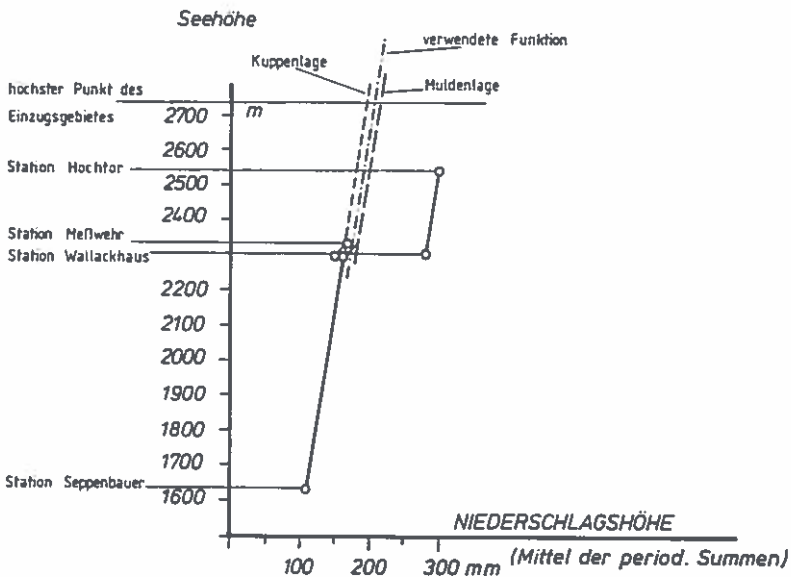
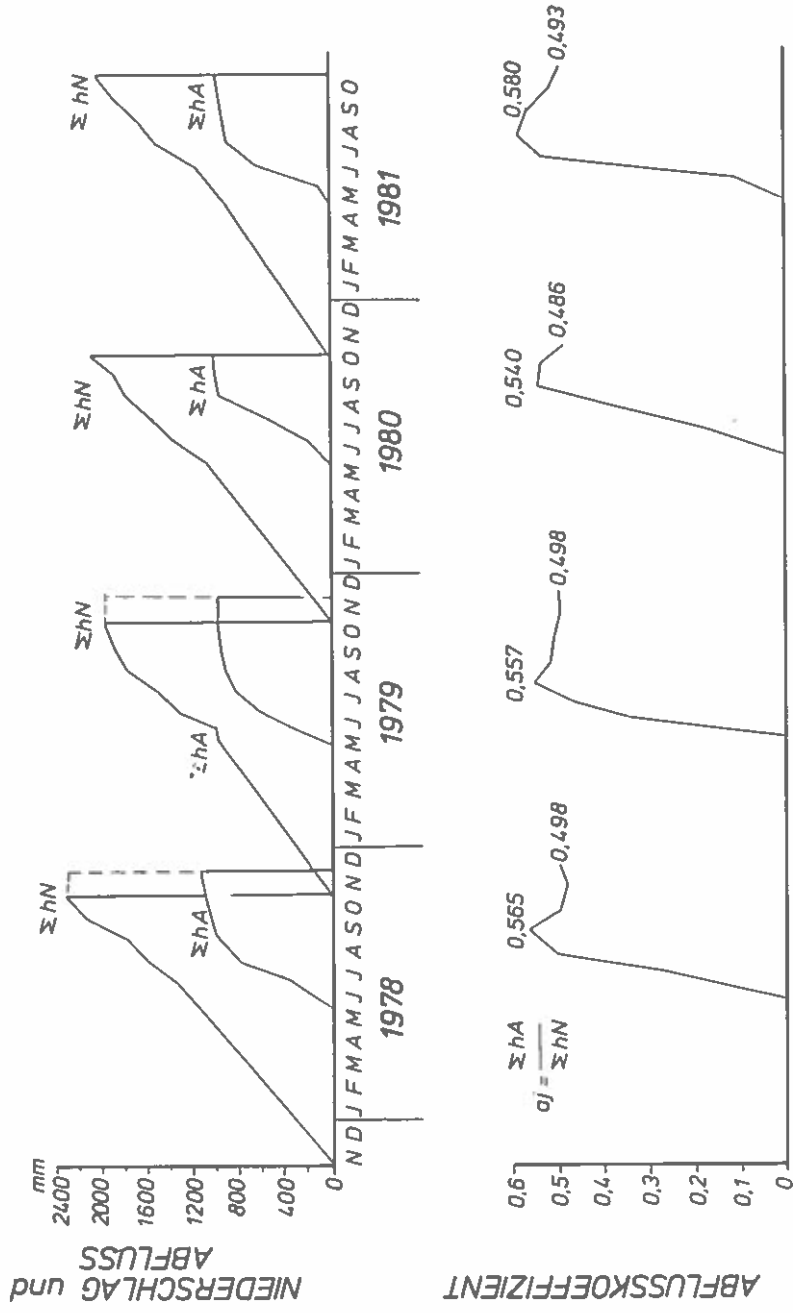


Abb. 7: Summenlinien der Niederschlags- und Abflußhöhe (oben) und Ganglinie des Jahresabflußkoeffizienten (unten) für die hydrologischen Jahresperioden



A n a l y s e e i n z e l n e r N i e d e r s c h l a g - A b f l u ß e r e i g n i s s e

Die gemessenen Abflußganglinien wurden auf Wellen untersucht, die Reaktionen auf kurze Regenereignisse darstellten. Davon konnten nur 16 festgestellt werden, das sind mit durchschnittlich 4 pro Jahr recht wenig. Noch dazu lagen die Niederschlagsintensitäten allesamt unter dem Starkregenkriterium (nach LAUSCHER). Kurze Starkregen müssen also aufgrund der häufigen sommerlichen Schneefälle in dieser Höhenlage als sehr selten angenommen werden.

Nach Abtrennung des Basisabflusses (Abb. 8 und 9) wurden 15 Parameter bestimmt und mittels Korrelationen auf Abhängigkeiten geprüft. Dies ergab teilweise nur gering gesicherte Zusammenhänge, vor allem die Korrelationen mit dem Abflußkoeffizienten für das gesamte Ereignis. Sie lieferten bezüglich der Bodenfeuchte (Parameter Basisabfluß, Wochennummer) die erwartbaren Zusammenhänge, bezüglich der Niederschlagsparameter aber nicht. Bestätigt wird dies zum Beispiel auch durch die relativ gut gesicherte logarithmische Regression zwischen Niederschlagshöhe und Abflußhöhe (Abb. 10), die bei größeren Niederschlagsmengen pro Ereignis geringere Abflußanteile ausweist. Unerwartete Richtungen von Zusammenhängen lieferten aber vor allem die Parameter, die sich auf die Anstiegsphase der Ganglinien beziehen und deshalb hauptsächlich den Oberflächenabfluß ohne Interflow charakterisieren, z. B. der Scheitelabflußbeiwert (das ist der Quotient aus Scheitelabfluß durch die Niederschlagsintensität, natürlich in gleicher Dimension). An und über der Signifikanzgrenze ergeben sich Hinweise auf ein Absinken des Scheitelbeiwertes bei steigender Niederschlagsintensität und bei Zunahme der Bodenfeuchte (ausgedrückt z. B. im Basisabfluß oder der Wochennummer, Abb. 14, 15). Deutlich zeigt die Korrelation der Rückhalteintensität (nach DYCK, 1980), das ist der Niederschlagsrückhalt je Zeiteinheit (Minute) bis zum Ende des Niederschlags, ein Absinken des bis zum Wellenscheitel gegebenen Abflußanteils auf bis zu 2 % bei steigender Niederschlagsintensität (Abb. 11).

Schließlich wurde, um die Auswirkung der Bodenfeuchte auf den gesamten Abflußanteil zu verdeutlichen, ein sogenanntes Koaxialdiagramm erstellt (Abb. 16). Dabei wurde der Regenmenge sowie der Regendauer die übliche, erwartbare Funktion zugeordnet und die Auswirkung der Bodenfeuchte, ausgedrückt in Basisabfluß, Vorregenindex und Jahreszeit (Wochennummer) auf den Abflußanteil graphisch angepaßt, bis eine Übereinstimmung mit den Meßwerten (im vierten Quadranten) hergestellt war. Dies gelang mit folgender Konstellation: Hoher Basisabfluß ergibt den stärksten Einfluß zur Erhöhung des Abflußanteiles, mit fortschreitender Jahreszeit von Mitte Juli bis Ende September erhöht sich ebenfalls der Abflußanteil, und der Einfluß des Vorregenindex, an sich gering, vermindert sich mit fortschreitender Jahreszeit und verschwindet bereits gänzlich Ende August.

Abb.8: Ausgewählte Niederschlag–Abfluß–Ereignisse

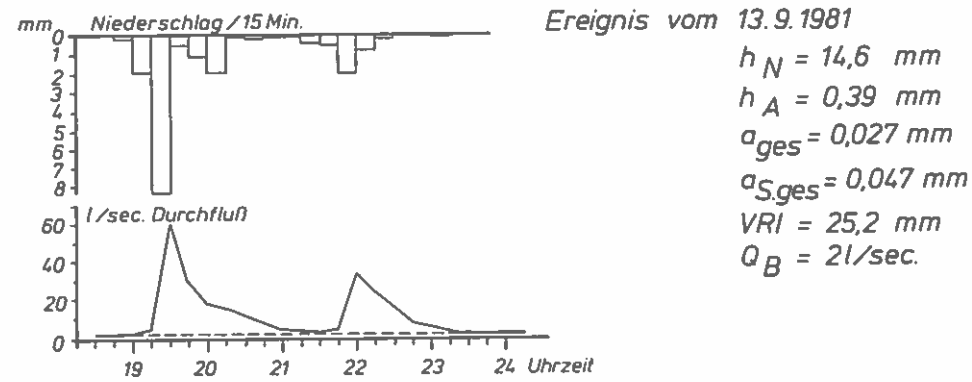
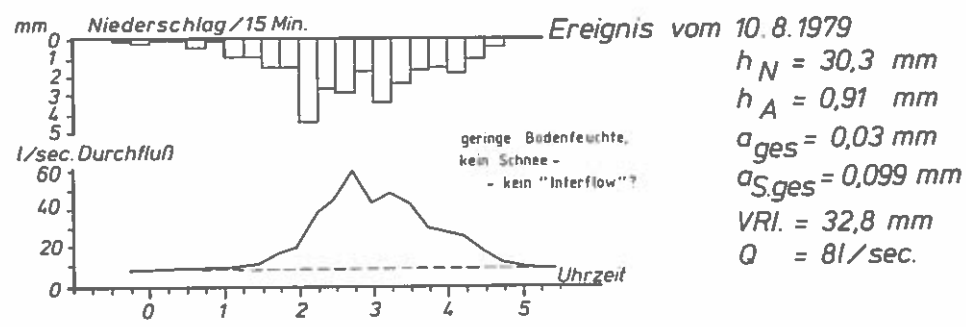
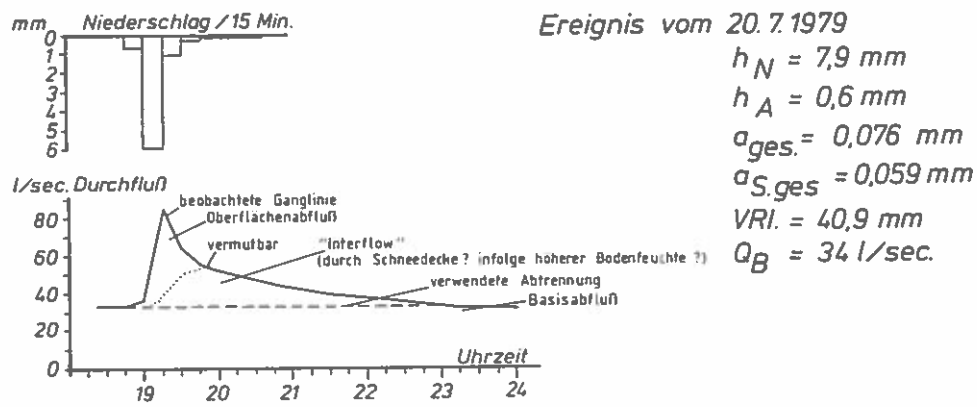
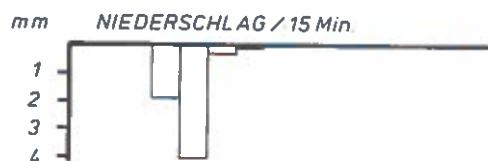


Abb.9: Das Ereignis mit den Höchstwerten für Durchfluß, Gesamtabflußanteil und Interflowanteil bei Höchststand der Schneeschmelze



EREIGNIS vom 5.8.1980

$$h_N = 6,3 \text{ mm}$$

$$h_A = 1,88 \text{ mm}$$

$$a_{\text{ges.}} = 0,30$$

$$a_{S.\text{ges}} = 0,115$$

$$VRI = 23,0 \text{ mm}$$

$$Q_B = 93 \text{ l/sec.}$$

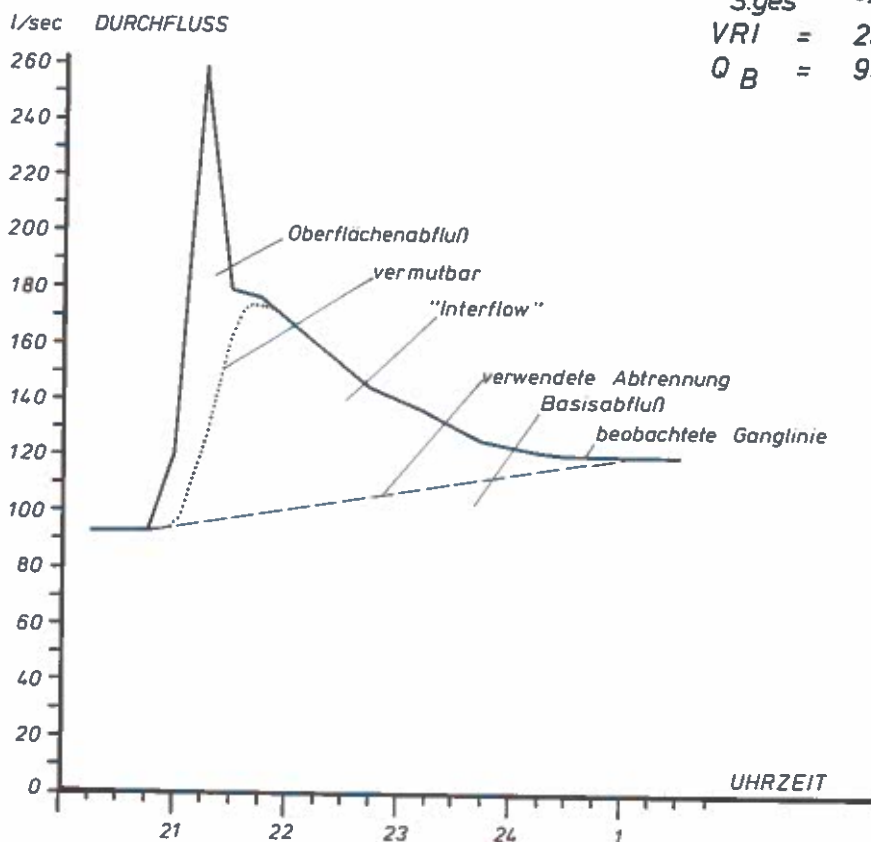
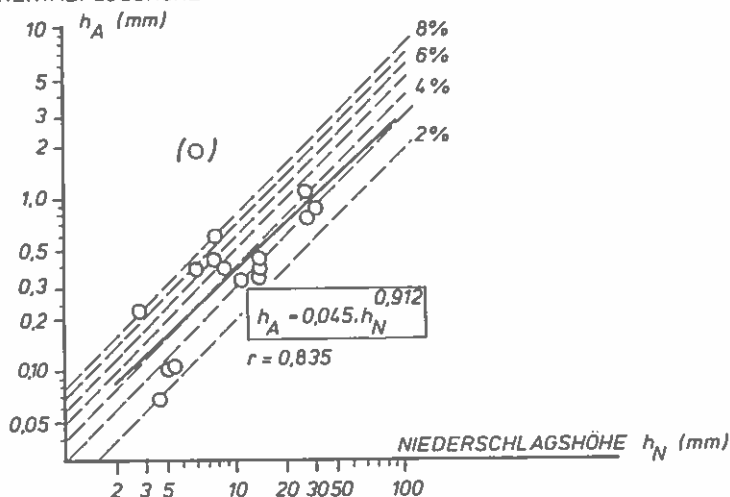


Abb.10: Der gesamte Direktabfluß bei Einzelereignissen in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge

Abb.11: Die Rückhalteintensität zeigt höheren Rückhalt (während der Anstiegsphase des Abflusses) bei höherer Niederschlagsintensität

DIREKTABFLUSSHÖHE



RÜCKHALTEINTENSITÄT (während der Niederschlagsdauer)

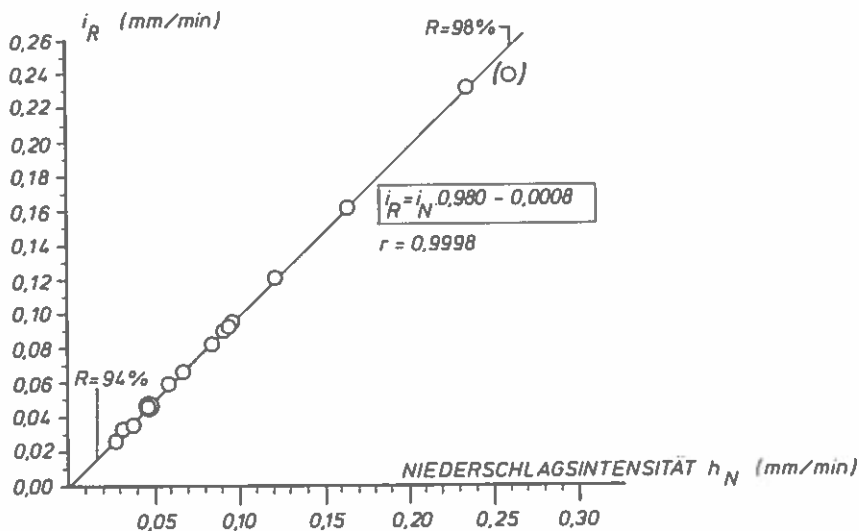


Abb.12: Der Scheitelabflußbeiwert von Einzelereignissen (Scheiteldurchfluß durch Niederschlagsintensität) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge

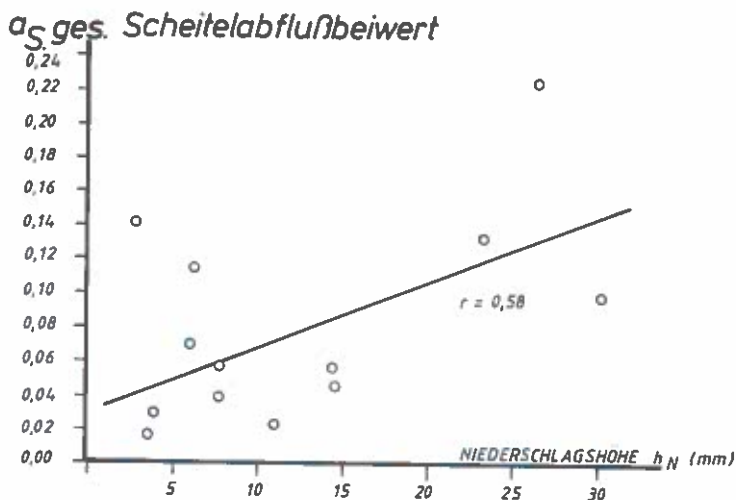


Abb.13: Der Scheitelabflußbeiwert in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität

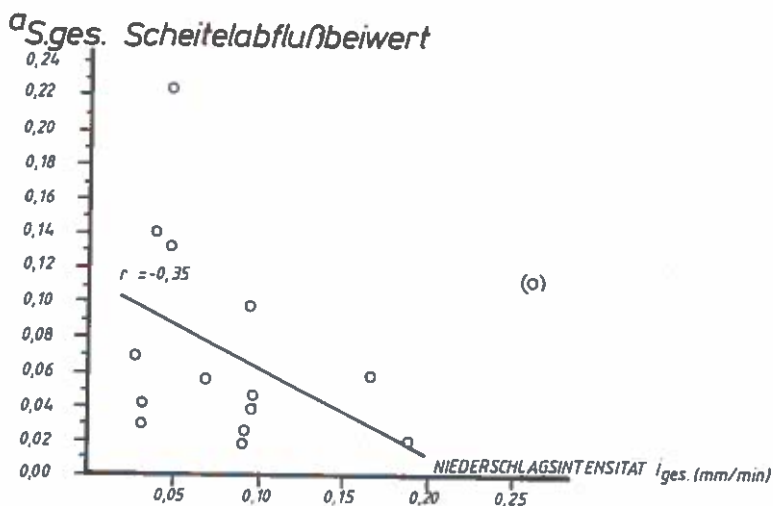


Abb. 14: Der Scheitelabflußbeiwert in Abhängigkeit vom Basisdurchfluß:
bewirkt hohe Bodensättigung geringeren Oberflächenabfluß ?

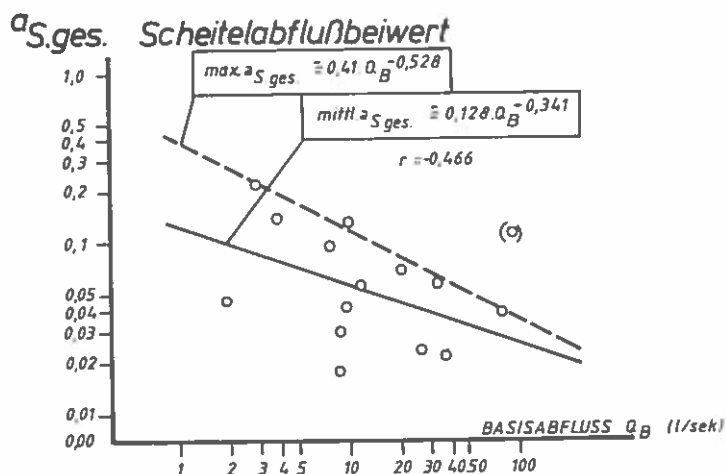


Abb. 15: Der Scheitelabflußbeiwert in Abhängigkeit von der Wochennummer:
auch nach der Schneeschmelze weiter steigend

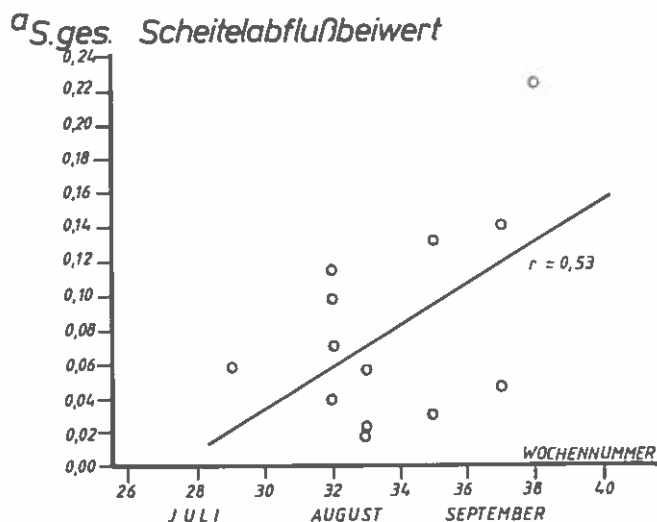
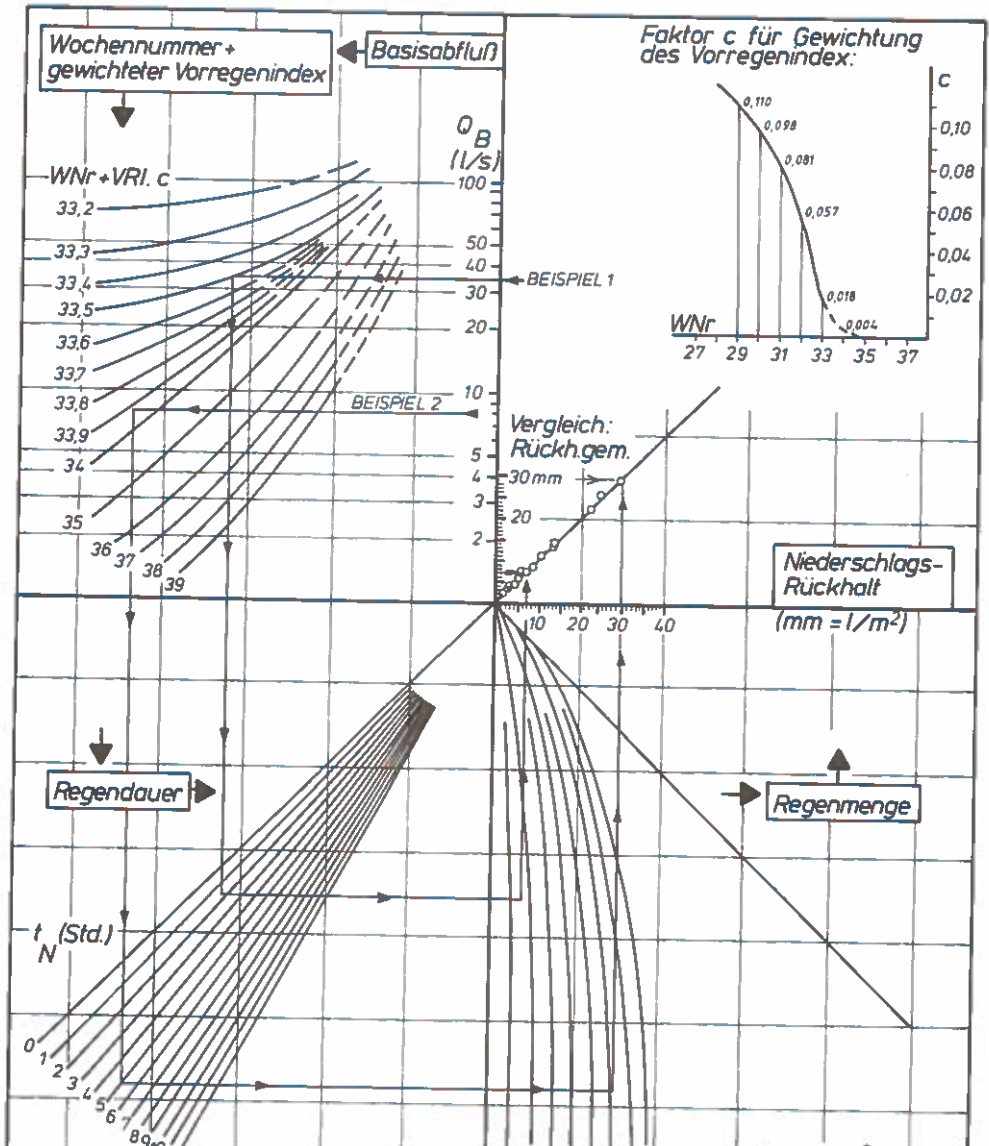


Abb. 16:

Koaxialdiagramm für den gesamten Direktabfluß (Oberflächenabfluß und "Interflow") von einzelnen Regenereignissen. Ausgangswert ist der Basisabfluß, der Vorregenindex (über 30 Tage, gewichtet mit der Potenz 0,9) wird mit dem jahreszeitlich variablen Faktor c multipliziert und zur Wochennummer addiert.

Beispiel 1 = Ereignis vom 20. Juli 1979;

Beispiel 2 = Ereignis vom 10. August 1979 (siehe Abb. 8)



I n t e r p r e t a t i o n d e r E r g e b n i s s e

Sowohl die Korrelationen als auch das Koaxialdiagramm liefern keine Beweise, und Vorbehalte sind schon wegen dem beschränkten Spektrum der Niederschlagsintensitäten angebracht. Die Ergebnisse haben den Charakter von Hinweisen, die folgendermaßen gedeutet werden können.

Es wird rekapituliert: die gesamte Abflußwelle wurde als "Direktabfluß" bezeichnet. Was auf die Niederschlagsmenge fehlt, ist Rückhalt (Langzeitspeicher = Basisabfluß; nicht gemessen: Versickerung). Dieser Direktabfluß wurde nach Möglichkeit in die beiden Komponenten Oberflächenabfluß (Scheitelreaktion) und Interflow (oberflächennaher Abfluß) getrennt.

Wie aus den Berichten über die umfangreichen Bodenuntersuchungen des "Man and Biosphere"-Programmes (FRANZ, 1980) hervorgeht, besitzen die Grasheideböden des Einzugsgebietes hohes Porenvolumen (bis 80 %), das zu 90 % aus den für die rasche Versickerung maßgeblichen Grobporen besteht. Aufgrund dieses hohen Versickerungspotentials ist verständlich, daß sich bei Vorliegen einer Schneedecke ein höherer Abflußanteil ergibt als vom aperen, ungefrorenen Boden. Dieser manifestiert sich aber vorwiegend im höheren Basisabfluß, während sich der Direktabfluß umgekehrt verhält und gegen den Herbst zunimmt. In der oft bis Ende August vorliegenden Schneedecke wird ein Teil der sonst als Oberflächenabfluß in Erscheinung tretenden Regenmenge um 30 - 45 Minuten verzögert und in Interflow übergeführt. Dieser Effekt tritt bei höherer Niederschlagsintensität und höherem Basisabfluß (Schneeschmelze) stärker in Erscheinung, vorangegangene Niederschläge erhöhen den Direktabfluß durch Erhöhung des Interflowanteiles.

Nach Verschwinden der Schneebedeckung tritt Interflow nicht mehr auf, dafür erhöht sich der Anteil an Oberflächenabfluß mit zunehmender Austrocknung des Einzugsgebietes. Vorregen haben dann keinen Einfluß und höhere Niederschlagsintensität bewirkt eine Verminderung der Scheitelreaktion. Als Erklärung für diese Erscheinungen könnte die folgende Tatsache herangezogen werden: Die organische Substanz der Böden konzentriert sich auf die obersten 3 Zentimeter, welche aus einem dichten Filz von Wurzeln und wenig zersetzter Wurzelmasse besteht (FRANZ, 1980). Dieser Wurzelfilz könnte nach Austrocknung wasserabweisend wirken, nach reichlichem Wasserangebot aber durchlässiger werden.

Aus dem beschriebenen Abflußverhalten des Einzugsgebietes, sowie der Seltenheit von Starkniederschlägen in flüssiger Form kann geschlossen werden, daß von diesem Einzugsgebiet ein wesentlicher Beitrag nur zu Hochwässern erwartet werden kann, die aus Niederschlagsereignissen mit langer Dauer resultieren, kaum aber in der Folge kurzer Starkregen. Schließlich ist auch zu ersehen, daß eine Übertragung von Gebietsparameter aus anderen Höhenzonen nicht entsprechen kann.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Es wird ein Zwischenbericht über die Messungen von Niederschlag und Abfluß während vier Jahren in einem Einzugsgebiet über der Waldgrenze vorgelegt. Die SSO-exponierte Fläche umfaßt 0,325 km² in einer Seehöhe von 2330 m bis 2735 m (mittl. Jahrestemperatur ca. -1,8°C, mittl. Julitemperatur +5,3°C) mit alpiner Grasheide, Polsterpflanzengesellschaften, Fels und Blockhalden als Oberfläche über Böden auf Schiefergestein und Moräne bei mittleren Hangneigungen von 57 % und 17 % und mit Schneebedeckung bis in den August.

Es zeigt sich ein Jahres-Abflußregime, das fast ausschließlich von der Schneeschmelze bestimmt ist; von den gesamten Niederschlägen fließen bei Schneedecke 54 - 58 % im Gerinne ab, ohne Schneedecke nur rund 25 %.

In einer Analyse anhand von Korrelationen und einem Koaxialdiagramm von einzelnen Regenereignissen, die nicht als Starkregen anzusprechen sind, erweist sich der Basisabfluß im Gerinne als guter Parameter für den Füllungsgrad des Rückhaltevolumens. Die direkte Reaktion im Gerinne auf Regenereignisse ist gering und während intensiver Schneeschmelze (Basisabfluß) am stärksten, unabhängig davon steigt sie aber auch mit fortschreitender Jahreszeit. Besondere Bodenverhältnisse werden zur Begründung herangezogen. In der Schneedecke wird ein Teil dieser Abflußreaktion zu "Interflow" verzögert, welche auf schneefreier Fläche als Oberflächenabfluß in Erscheinung tritt. Starkregen mit erkennbarer Abflußreaktion im Gerinne traten nicht auf. Der Einfluß des Einzugsgebietes auf Hochwässer aus Starkregen wird als sehr gering bzw. selten eingeschätzt.

S U M M A R Y

P e c u l i a r i t i e s o f t h e f l o w r e g i m e o f a s m a l l a l p i n e w a t e r s h e d

An interim evaluation of precipitation and discharge measurements over four years in a small watershed above the alpine timber line is presented. The area of 0,325 sq km is exposed to SSE and reaches from 2330 m up to 2735 m above sea level (mean annual temperature about -1,8°C, mean temperature of July about +5,3°C). Above slate and moraine as bedrock with effective zones of seepage the soils are covered with alpine grass and pioneer vegetation, but bare rock and scree is included too. The slope is 57 % in the upper part and 17 % below; snow cover may exist until August.

The year's hydrograph appears highly dominated by snowmelt;

54-58 % of the total precipitation are discharged in the channel during the snow cover period, but only about 25 % from the ground free of snow.

An analysis by correlations and a coaxial graph of single events not classifiable as heavy rainfalls identify the baseflow as a good parameter for the saturation of the storage volume. Direct flow reactions in the channel to rainfalls are generally low, increased during intensive snowmelt (baseflow), but independently from that also increasing with the progress of the season towards autumn. As cause for that peculiar soil conditions are taken into account. What appears as overland flow from the surface bare of snow is partly retarded to "interflow", if there is snow cover. There were no heavy rainfalls causing a wave in the hydrograph. The contribution of this catchment to flash floods from heavy storms is therefore estimated particularly small respectively rare.

L I T E R A T U R

DYCK, S. u.a. (1980): Angewandte Hydrologie, 2. Auflage, W.Ernst & Sohn, Berlin/München;

FÜRLINGER, W. (1977): Geologische Kartierung des Tauernbaches. Steyr (unveröffentlichtes Manuskript);

FRANZ, H. (1980): Die Gesamtdynamik der untersuchten Hochgebirgsböden. In: Untersuchungen an alpinen Böden in den Hohen Tauern 1974 - 1978. Stoffdynamik und Wasserhaushalt. Veröff. des Öst. Maß-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd. 3, Universitätsverl. Wagner, Innsbruck;

RUF, G. (1980): Der Abfluß aus einem hochgelegenen kleinen Einzugsgebiet, dem Grantenbach, im Jahre 1978. In: Untersuchungen an alpinen Böden in den Hohen Tauern 1974 - 1978. Stoffdynamik und Wasserhaushalt. Veröff. des Öst. Maß-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd. 3, Universitätsverl. Wagner, Innsbruck;

ZELLER, J., GENSLER, G. (1980): Starkregenprofile durch die östlichen Schweizer Alpen. In: Interpraevent 1980, Bad Ischl, Tagungspubl. Bd. 1, 203-213, Forschungsges. für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

THE IMPACT OF FORESTS ON WATER BALANCE

von

Milan Jarabac & Alois Chlebek

(Hnojník, CSSR)

SUMMARY

In 1952, a fully aforested experimental watersheds of the Malá Ráztoka brook (watershed area 2,07 km²) and the Cervik brook (1,85 km²) in the Beskydy mountains (CSSR) were laid out to study the impacts of forest management on water runoff and soil erosion. After more than a 10-year calibration period and the building of a way network it was possible to regenerate the neagation on the territory of both watersheds. The watershed Cervik was in 1964 divided into two parts: A - with regeneration cuttings (0,88 km²) and B - no cuttings (0,84 km²). Until the year 1984 was regenerated 43,5 % forest area in Malá Ráztoka and 84 % in Cervik, part A. The 30-years series of precipitation and runoff gauging were analyzed linearly and by double mass curve. The data were aranged in tables and plotted in graphs. The forest clearing has not brought about a considerable increase of runoffs per year, which would not be overlapped by climate changes. A slight increase in runoff culminations (demonstrated in the volumes of peak runoffs lasting 1 hour) and a flow steadiness increased by 30 %, have recently appeared. The erosion of the forests is mor influenced by naural effects than by those due to logging process.

201

watershed management; soil erosion

ÜBER DIE EINWIRKUNG DER WÄLDER AUF DIE WASSERBILANZ

von

Milan Jarabac & Alois Chlebek

(Hnojník, CSSR)

KURZFASSUNG

In den Beskiden (CSSR) wurden im Jahr 1952 zwei voll bewaldeten Einzugsgebiete Malá Ráztoka (2,07 km²) und Cervik (1,85 km²) zum Studieren der Folgen der Walderneuerungsarbeiten auf die Wasserabflüsse und die Bodenerosion im Betrieb gesetzt. Nach einer mehr als 10-jährigen Eichperiode und nach dem Ausbau des Waldwegenetzes wurde mit der Bestandserneuerung in beiden experimentellen Einzugsgebieten begonnen. Da das Einzugsgebiet von Cervik natürlich in zwei Teile der Buchstabe V nach getrennt ist, in den Teil A (0,88 km²) und den Teil B (0,84 km²), wurden beide Teile durch Messwehren begrenzt, um die Methode der Einzugsgebietspaarmessung ausnützen zu können. Bis 1984 wurde in Malá Ráztoka 43,5 % und in Cervik Teil A 84 % der Bestandsfläche geschlagen und aufgeforstet. Die 30-jährigen Datenreihen der Niederschläge und der Abflüsse wurden mit Hilfe der linearen Regression und mit der Doppelsummenkurve analysiert. Alle Daten wurden in Tabellen und Abbildungen zusammengesetzt. Es hat sich gezeigt, daß der Waldschlag nur mäßige Steigerung der Jahresabfluss-Summen zu Folge hatte, die Differenzen waren aber durch die Klimaschwankungen überdeckt. Es wurde auch eine mäßige Abflußspitzensteigerung (der Hochwasserwellen mit der Dauer von 1 Stunde) und eine Variationskoeffizientenvergrößerung um 30 % festgestellt. Die Erosionsintensität in bewaldeten Einzugsgebieten wird mehr durch die Naturkräfte als durch den hoch mechanisierten Holzschlagsprozess beeinflusst.

forstliche Wasserhaushalt; Bodenerosion

HYDROLOGIC RESEARCH AREAS IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY AND SOME RESULTS FROM SMALL EXPERIMENTAL WATERSHEDS

H.M. BRECHTEL, HANN. MÜNDEN, FRG
HESSIAN FOREST RESEARCH STATION
INSTITUTE OF FOREST HYDROLOGY

ZUSAMMENFASSUNG

Hydrologische Forschungsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland und einige Ergebnisse von kleinen Einzugsgebieten

In der BRD werden gegenwärtig mehr als 100 hydrologische Forschungsgebiete wissenschaftlich bearbeitet. Die meisten dieser Gebiete sind in einem Katalog zusammengestellt, der vom nationalen IHP-Sekretariat in Koblenz im Jahre 1983 publiziert wurde. Diese Publikation gibt nähere Auskünfte über befaßte Institutionen, Wissenschaftler, Name und Lage der Gebiete, Klima, Geologie und Physiographie, Landnutzung und Bodenbedeckung, Instrumentation und Datensituation, Ziel und Zweck der Untersuchungen, und schließlich sind auch die schon erschienenen Publikationen aufgelistet. Die Untersuchungen befassen sich hauptsächlich mit praktischen Fragen der Wasserbewirtschaftung, wie sie aufgrund der örtlichen Standortgegebenheiten hinsichtlich der Grundwasserneubildung und Problemen mit Hochwasserabflüssen und der Wasserqualität anstehen. Die Einflüsse der Pflanzendecke und der Landnutzung auf das nutzbare natürliche Wasserdargebot von Einzugsgebieten, die gegebenenfalls für die Erwirtschaftung eines Wasserertrages genutzt werden könnten, werden nur in ca. 30 Versuchsgebieten studiert. Es kommen hierbei sowohl Einzel-Einzugsgebietsuntersuchungen und Einzugsgebietsvergleiche als auch Versuchsflächenverfahren zur Anwendung. Lediglich im Forsthydrologischen Forschungsgebiet Krofdorf wurde eine Einzugsgebietseichung vorgenommen und nachfolgend in 2 kleinen Einzugsgebieten mit Bestockungsveränderungen in Form von Hiebsexperimenten begonnen.

Hydrologische Untersuchungsgebiete, Untersuchungsziele, Forschungsmethoden, Meßergebnisse

SUMMARY

At the present time more than 100 hydrologic research areas are under scientific investigation in the Federal Republic of Germany. Most of these areas are compiled in a catalogue published in 1983 by the national IHP-Secretariat at Koblenz. This publication gives detailed information on the institutions and scientists in charge, name and location of the areas, climate, geology and physiography, land use and cover conditions, instrumentation and data situation, objectives of the investigations and is also listing the reports already published. The investigations are mainly dealing with practical water management aspects, such as flood problems, situation of ground water recharge or water quality considerations as they are related to the local site conditions. The influences of vegetative cover and land use, which eventually could be used for water yield management, are in study in about 30 watersheds only. There are single or paired-watershed studies as well as plot studies in use. Only in the Forest Hydrological Research Area of Krofdorf the procedure of watershed calibration was carried out and subsequently in 2 small catchment basins with changes of the forest cover have been started in form of cutting experiments.

Hydrologic Research Areas, Investigation Objectives, Research Methods, Study Results

1. INTRODUCTION

Especially in densely populated and highly industrialized countries, as it is the case with the Federal Republic of Germany, there is a great need for hydrologic research. The careful observations on the precipitation input, on the amount, timing and quality of stream flow and on the occurrence and seasonal fluctuation of usable ground water supplies are of fundamental importance for water resources management. The continuous collection of basis data to meet these requirements has a long tradition in the Federal Republic of Germany. Climatic data, including precipitation, are registered by the German Weather Service and measurements on water levels, discharges, water quality and also on stage of the ground water table are made by the Federal and State hydrological and water management authorities on large-scale networks. The results are published periodically in meteorological and hydrological yearbooks, Liebscher (1983). In addition, several institutions are maintaining smaller networks serving particular purposes, as for instance in the State of Hesse the Forestry

Service snow and precipitation measurement program, Brechtel (1984), Brechtel and Sonneborn (1984), Brechtel et al. (1984). The National Report on Hydrological Research 1975-1982, prepared by the "Hydrology" Section of the National Committee for Geodesy and Geophysics of the Federal Republic of Germany (1983) presents detailed information on the numerous projects dealing with the various processes and components of the hydrologic cycle and the water balance. The report includes also a chapter on "Small Catchment Basins", Herrmann (1983), listing 60 authors/institutions to this subject. It is stated, that at the present time more than 100 catchment basins of $< 50 \text{ km}^2$ each are available for research purposes in the Federal Republic of Germany. Most of these areas are registered and described in a catalogue, prepared by the IHP-Working Group "Hydrologic Representative Basins and Research Areas" (1983).

2. RESEARCH AREAS

In Table 1 the hydrologic research areas are listed as they are described in the above mentioned IHP-Catalogue. Three more research areas (NO. 57, 58, 75) are added, where, as with No. 27 "Forest Hydrological Measuring Station Elzerath" (Rheinland-Pfalz), instead of using the single- or paired - watershed method the research is done only on plots with differing forest conditions, Brechtel (1969). In Figure 1 the location of all the 75 research areas listed in Table 1 is marked in the map of the Federal Republic of Germany, including West-Berlin. Research areas with forest hydrological objectives, sometimes along with others, are indicated by a special sign. According to their number, the highest concentration of forest hydrological research areas is to be found in the central part of the Federal Republic of Germany (North-Rhine-Westphalia and Hesse) where the problems of inadequate water supplies are more relevant than in the southern and northern part of the country. However as far as the total number of small research watersheds are concerned, their occurrence is concentrating in the southwest, namely in the State of Baden-Württemberg. But these research projects in small catchment basins are mainly aimed at getting informations on I = General Hydrology and Practical Water Management Aspects. Almost 30% of all research areas listed in Table 1 are exclusively operated to solve practice-orientated problems as, for instance, in connection with rainfall-runoff-models for design and control of retention basins and drinking water reservoirs.

Table 1: List of the Hydrologic Research Areas

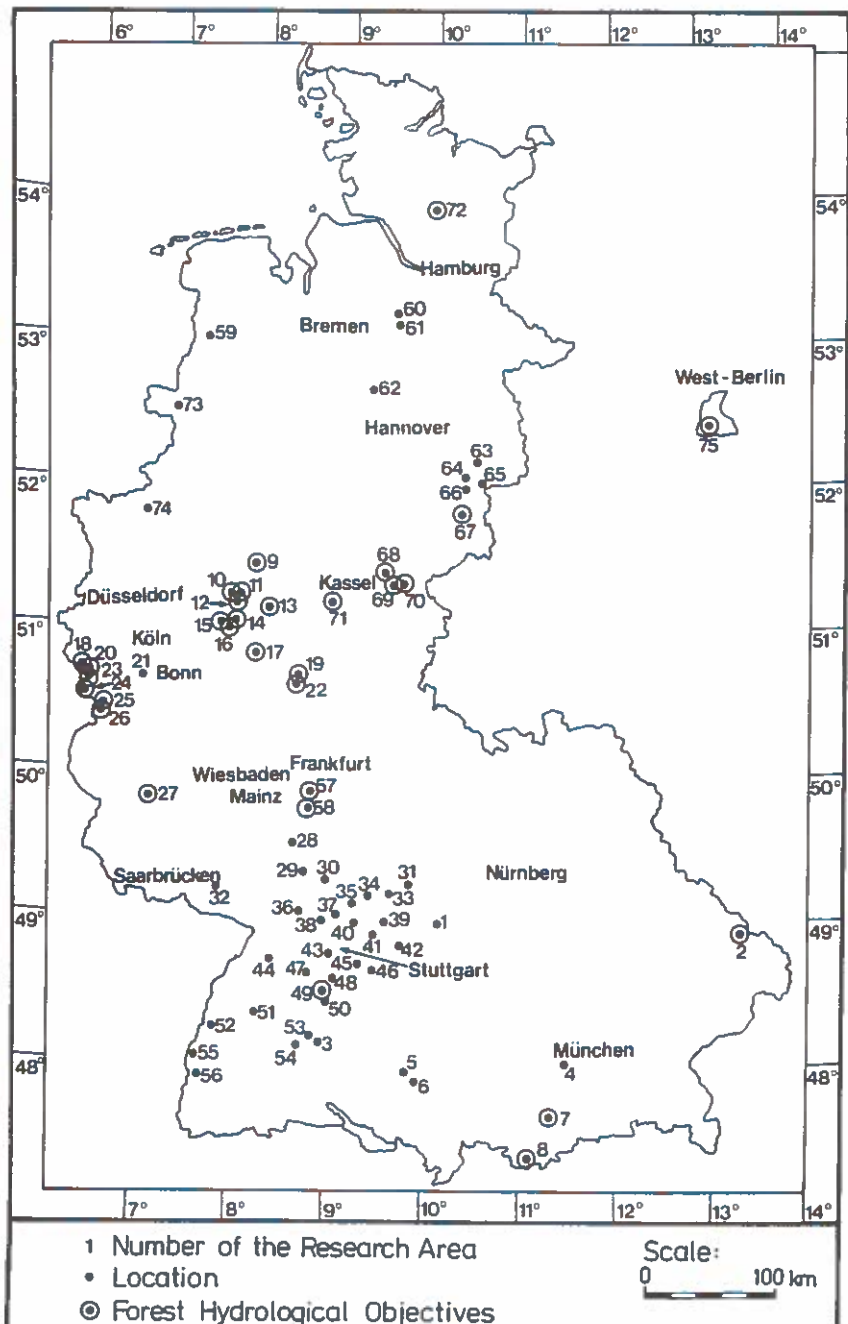
Area Number	Objective ^{3/}	Address of the Institution ^{1/}
1,3,5,6,30,33,35 36,39,40-48,50-56 28 31,34,37	I III IV	Landesanstalt für Umwelt- schutz, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Postfach 21 07 52, 7500 Karlsruhe
2	I,II,IV,V	Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald Freyunger Str. 2 8000 München 19
4 8	III I,II,IV,V	Lehrstuhl für Hydrogeologie und Hydrochemie der TU Mün- chen, 8000 München 70
7	I,IV,V	Institut für Geographie der Universität München, 8000 München 2
9-15	IV,V	Ruhrtalsperrenverein Essen, Postfach 10 32 42,4300 Essen
16,17	IV,V	Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft, Hei- nitzstr. 44, 5800 Hagen
18,20, 23-26	IV,V	Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft, Post- fach 14 87, 5100 Aachen
19,68 57,58,75	II,IV,V v ^{2/}	Hessische Forstliche Ver- suchsanstalt, Institut für Forsthydrologie, 3510 Hann. Münden 1
21	IV,VI	Meteorologisches Institut der Universität Bonn 5300 Bonn 1
22 71	II,IV,V,VI II,IV,V	Institut für Mikrobiologie und Landeskultur der Univer- sität Gießen, 6300 Gießen
27	IV, v ^{2/}	Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz 5411 Neuhäusel
29	I,II,IV,VI	Geographisches Institut der Universität Heidelberg, 6900 Heidelberg

Table 1: List of the Hydrologic Research Areas (Continuation)

Area Number	Objective ^{3/}	Address of the Institution ^{1/}
32	I	Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz, Am Zollhafen 9, 6500 Mainz
49	II,IV,V	Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen, 7400 Tübingen
55	I,IV,VI	Institut für Physische Geographie der Universität Freiburg, 7800 Freiburg
59 60,61,62,73	IV, (V) IV	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut, 2800 Bremen 1
63,65,66	II	Institut für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Abt. Siedlungswirtschaft, 3300 Braunschweig
64	I,II,IV	Institut für Geographie der TU Braunschweig, Langer Kamp 19 c, 3300 Braunschweig
67 69	I,IV,V,VI I,V	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 3000 Hannover
70	I,V	Hessische Landesanstalt für Umwelt, Aarstr. 1, 6200 Wiesbaden
72	II,IV,V	Landesamt für Wasserwirtschaft und Küsten Schleswig-Holstein, 2300 Kiel 1
74	IV	Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft Münster Stubengasse 34, 4400 Münster

- 1/ In some cases the research project is carried out in cooperation with several other institutions.
- 2/ Instead of using the single- or paired-watershed method the research is done only on plots with differing forest conditions.
- 3/ The objectives can be grouped into: I = General Hydrology and Practical Water Management Aspects, II = Water Quality Considerations, III = Urban Hydrology, IV = Water Balance Investigations, V = Forest Hydrology and VI = Methodical Research.

Figure 1: Location of the Hydrologic Research Areas



Watershed-management orientated research on the site-specific influences of vegetative cover and land use, which eventually could be used for controlling the total amount, temporal variation and quality of the water yield, COLMAN (1953), are carried out in not more than about 30 watersheds. Almost all these of research projects are predominately related to the objective V = Forest Hydrology, as indicated in Table 1 and Figure 1. For these forest hydrological research areas some more information is given in Table 2.

In most cases the traditional research method of comparing two or more watersheds without calibration and experimental treatment, REINHART (1967), is still in use. Also some of the so-called "representative basins" are still in operation. These were established after the stimulating effect prompted by the International Hydrological Decade. Nowadays however it is no longer believed that, especially considering the extensive anthropogeneous impact on the natural hydrologic conditions, that any catchment basin in the Federal Republic of Germany could be really representative for larger area units as, for instance classified on the base of geology considerations. There is an increasing demand, however, to use the existing small research watersheds with sound long-term measurements as "benchmark basins". But for this purpose only the measurements on precipitation and streamflow are not sufficient. At least, in addition to this, continuous local meteorological observations are needed for establishing time trends of changing hydrological conditions, for instance, in forest ecosystems caused by air pollution. As in single-watershed studies, then the necessary calibration is also possible by using the climatical data, REIGNER (1964). However this procedure requires mostly much longer calibration phases as it is the case in paired-watershed studies.

As pointed out by HERRMANN (1983) it would be desirable that more system-analytic research works on subcomponents of the water balance be done to enable simulation models of the physical processes within the water cycle of catchment basins. As in the case of the research watersheds No. 2, 7, 19, 68, 22, 67, 72 (Tab. 2), plot studies covering different conditions of site and vegetative cover are most useful to reach this goal. Plot studies in forest stands of different species and age stocking on nonindurated sediments, as in the research areas No. 57, 58, 75, 72 (Tab. 2), are, under certain conditions, even sufficient to quantify the area-specific annual water balance.

3. RESEARCH RESULTS

It would be far beyond the scope of this report to summarize the large amount of research results which have been published, restricted to the projects listed in Table 2. Only some

Table 2: Forest Hydrological Research Areas

Number	Name	Research Methods <u>1/</u>	Reference <u>2/</u>
2	Große Ohe	I, III, (IV)	Gietl (1981)
7	Lainbachtal	II, III, IV	Herrmann et al. (1973)
8	Kreidenbach	I, IV	Eden et al. (1982)
9-15	Bremecke, Krähe, Königswasser, Rönkhausen, Schmalau, Runsenbach, Marmecke	II <u>4/</u>	Kirwald (1976)
16, 17	Rehringhausen, Helgersdorf	II <u>4/</u>	-
18, 20	Solchbach, Wehebach, Weidenbach	II <u>4/</u>	Baitsch et al. (1976)
23-26	Holzbach, Grieselbach, Esterbach		
19	Krofdorf A, B	II, III, (IV)	Brechtel et al. (1982)
68	Elsterbach	I, III, (IV)	Lehnardt et al. (1983)
57	Frankfurt	III	Brechtel (1976)
58	Hessisches Ried	III	Lehnardt et al. (1983)
75	Grunewald, Berlin	III	Brechtel et al (1981)
22	Krofdorf C	II, III, (IV)	Ramers et al. (1981)
71	Edersee	II, III	Wohlrab et al. (1974)
27	Elzerath	III	Hoffmann (1969)
49	Schönbuch	II, III	Einsele et al. (1983)
67	Oberharz	II, III (IV)	Balázs et al. (1974)
69	Kattenbühl	II <u>4/</u>	Meyer (1978)
70	Ziegenhagen	II <u>4/</u>	Kille et al. (1974)
72	Segeberger Forst	II, III, (IV)	Schulz (1977)

1/ The research methods can be grouped into: I = Single-Watershed Study, II Paired-Watershed Study, III = Plot Study, IV = Simulation Study. 2/ Only one of the publications with most descriptive informations is cited. 3/ (IV) Simulation study not yet started, but possible. 4/ Only measurements on precipitation and stream flow are made

our institution. First it will be reported on plot studies which have been made to quantify the forest's influence on ground water yield. Finally the usefulness of a gaged paired-watershed study for forest hydrological investigations will be demonstrated.

3.1. Evapotranspiration and ground water yield

Long-term water balance investigations have been made in the 4 forest hydrological areas Frankfurt (No. 57), Hessisches Ried (No. 58), Grunewald/Berlin (No. 75) and Segeberger Forst (No. 72). In total, measurements on the interception loss and soil water depletion have been made for 10 years in Frankfurt, 4 years in Hessisches Ried, 3 years in Grunewald and 5 years in Segeberg on 72 plots of different tree species and age classes.

Independent of tree species and age class in each of the research area, precipitation falling during the growing season (<400 mm) is not sufficient for the forest's transpiration. This results in a steady decrease of stored soil water in the root zone. The deficit of soil moisture to field capacity usually reaches its yearly maximum in September/October and is recharged under normal precipitation conditions during the following 3 months. Thus, a significant ground water recharge occurs only from December/January to May/June. Its magnitude is therefore mainly dependent on the total net-precipitation infiltrating into the mineral soil during the dormant season. The annual ground water recharge during normal years is presented in Table 3. It appears that as average of all age classes the ground water yield is decreasing in the following order: European beech > American red oak > German oak > Scotch pine.

3.2. Results of a paired watershed calibration

In the Forest Research Area of Krofdorf (No. 19) the first time in the Federal Republic of Germany the procedure of watershed calibration was used, and subsequently in the winter 1982/83 in two experimental watersheds (A_1 , A_2) with mostly mature stands of European beech cutting experiments have been started with the objective to obtain information to what extent forestry practices influences the water yield, respecting total amount of flow, rate and variation of flow and water quality. Two control watersheds (B_1 , B_2) under undisturbed conditions are used as a reference check. The natural correlation of the stream flow characteristics between the experimental and control watersheds, all stocked with hard woods, is very close. The correlation coefficients are, in most cases, by far >0.9.

Table 3: Normal Annual Ground Water Yield
of Different Tree Species

Number Research Area	58 Hess.Ried		57 Frankfurt		75 Grunewald		72 Segeberg	
Tree Species	mm	% <u>1/</u>	mm	% <u>1/</u>	mm	% <u>1/</u>	mm	% <u>1/</u>
Europ. Beech	97	35	122	36	* <u>2/</u>	* <u>2/</u>	* <u>2/</u>	* <u>2/</u>
Americ.Red Oak	* <u>2/</u>	* <u>2/</u>	100	30	98	34	(246)	(63)
German Oak	67	24	49	15	92	32	215	55
Scotch Pine	53	19	41	12	55	19	121	31

1/ Related to the sum of gross precipitation October till April, 2/ * = No measurements available, () = Young stand only.

The smallest differences of a single year's mean flow due to the cutting experiments, which can be proved to be significant at the 95 % level of probability are, Brechtel et al. (1982):

47 - 54 mm for $A_1 = f(B_1)$

41 - 44 mm for $A_1 = f(B_2)$

16 mm for $A_2 = f(B_1)$

11 - 12 mm for $A_2 = f(B_2)$

It is believed that effects of the cutting experiments on stream flow will greatly exceed such threshold values.

On the assumption that uncontrolled deep seepage in a significant amount does not occur, the present magnitude of annual transpiration can be estimated by using the monthly results of plot studies on interception loss and soil moisture changes along with the data on gross precipitation and stream flow. The mean values of annual water balance were as average of the 4 watersheds for the time period 1972 till 1975 the following: gross precipitation 575 mm, interception loss (canopy and litter) 183 mm, transpiration 247 mm and runoff 145 mm. It is assumed that the maximum treatment effect on the mean annual flow caused by harvesting the mature beech stand in the experimental watershed A_1 will be in the magnitude of the previous amount of transpiration. This would be an increase of annual flow in the magnitude of about 250 mm (+ 172%).

4. REFERENCES

- Baitsch, B.; Rademacher, H.; Mertens, V., 1976: Untersuchung der hydrologischen Verhältnisse in den gewässerkundlichen Versuchsgebieten der Eifel. Landesamt für Wasser und Abfall, Heft 38, Aachen, 228 p.
- Balázs, A.; Liebscher, A.; Wagenhoff, A., 1974: Forsthydrologische Untersuchungen in bewaldeten Versuchsgebieten im Oberharz. Ergebnisse aus den Abflußjahren 1949-1965. Aus dem Walde, 22, Mitt. aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung, Hannover, 259 p.
- Brechtel, H.M., 1969: Wald und Abfluß. Methoden zur Erforschung der Bedeutung des Waldes für das Wasserdargebot. Sonderheft 1969 der Deutschen Gewässerkundlichen Mitteilungen, Koblenz, pp. 24-30.
- Brechtel, H.M., 1976: Influence of Species and Age of Forest Stands on Evapotranspiration and Ground Water Recharge in the Rhine-Main-Valley. XVI. IUFRO World-Congress, Oslo, Norway, June 20 - July 2, Division I, Discussion Paper, Eigenverlag der Hess. Forstlichen Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie, Hann.Münden, 33 p.
- Brechtel, H.M. und Grenzius, R., 1981: Untersuchungen zur Quantifizierung der Wasserbilanz von Waldbeständen und der örtlichen Absickerung zum Grundwasser. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 31, pp. 329-341.
- Brechtel, H.M.; Balázs, A.; Kille, K., 1982: Natural Correlation of Streamflow Characteristics from Small Watersheds in the Forest Research Area of Krofdorf. Results of a Paired Watershed Calibration. In: Proc. Sym. Hydrolog. Research Basins, Sonderheft, Landeshydrologie, Bern pp. 291-300.
- Brechtel, H.M., 1984: Möglichkeiten und Grenzen einer Steuerung der Schneeansammlung und Schneeschmelze durch forstliche Maßnahmen. Folgerungen aus Ergebnissen von Schneemessungen in Hessen. In: DVWK-Mitteilungen 7, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Bonn, pp. 331-354.
- Brechtel, H.M.; Rapp, J.; Scheele, G., 1984: Der Einfluß des Waldes und der Landnutzung auf die Schneeansammlung und Schneeschmelze in den hessischen Mittelgebirgen. In: DVWK-Mitteilungen 7, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Bonn, pp. 567-574.
- Brechtel, H.M. und Sonneborn, M., 1984: Gelöste anorganische Inhaltsstoffe in der Schneedecke unter Fichten- und Buchenbeständen und im Freiland der hessischen Mittelgebirge. In: DVWK-Mitteilungen 7, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Bonn, pp. 527-543.
- Colman, E.A., 1953: Vegetation and Watershed Management. An Appraisal of Vegetation Management in Relation to Water Supply, Flood Control and Soil Erosion. The Ronald Press Company, New York, 412 p.

- Eden, D.; Prösl, K.H.; Stichler, W., 1982: A comparison of different methods of hydrograph analysis and estimation of the storage capacities in an alpine drainage area. In: Proc. Sym. Hydrolog. Research Basins, Sonderheft, Landeshydrologie, Bern, pp. 469-478.
- Einsele, G.; Arnold, W.; Klee, O.; Agerer, R.; Agster G. et al., 1983: Wasserhaushalt, Stoffeintrag, Stoffaustrag und biologische Studien im Naturpark Schönbuch bei Tübingen. Forstwiss. Centralblatt 5, pp. 281-328.
- Gietl, G., 1981: Das forsthydrologische Repräsentativgebiet Große Ohe. Allgemeine Forstzeitschrift 33, pp. 833.
- Herrmann, A.; Priesmeier, K.; Wilhelm, F., 1973: Wasserhaushaltsuntersuchungen des Lainbaches bei Benediktbeuern/Oberbayern. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 3, Koblenz, pp. 65-73.
- Herrmann, A., 1983: Small Catchment Basins. In: National Report on Hydrological Research 1975-1982, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, pp. 224-243.
- Hoffmann, D., 1969: Der Einfluß forstlicher Bestockung auf Bodenfeuchte und Grundwasserneubildung. Sonderheft der Deutschen Gewässerkundlichen Mitteilungen, Koblenz, pp. 31-36.
- IHP-Arbeitsgruppe "Hydrologische Repräsentativ- und Versuchsgebiete", 1983: Hydrologische Untersuchungsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland. IHP/OHP-Sekretariat, Koblenz, 323 p.
- Kille, K. und Rudolph, R., 1974: Abflußverhalten und Wasserhaushalt eines buchenbestandenen Buntsandsteingebietes. In: Allgemeine Forstzeitschrift 29, pp. 1095-1098.
- Kirwald, E., 1976: Gewässerkundliche Untersuchungen und landwirtschaftliche Grundausrüstung von Einzugsgebieten. Ruhrtalsperrenverein, Vulkan Verlag, Essen, 149 p.
- Lehnardt, F. und Brechtel, H.M., 1983: Ergebnisse von Bodenwasserhaushalts-Untersuchungen auf grundwasserabgesenkten Waldstandorten des Lockersedimentbereiches in der Rhein-Main-Ebene, Hessisches Ried. In: Zeitschrift dt. geol. Ges. 134, pp. 701-721.
- Lehnardt, F.; Brechtel, H.M.; Boness, M., 1983: Chemische Beschaffenheit und Nährstofftransport aus kleinen Einzugsgebieten unterschiedlicher Landnutzung im Nordhessischen Buntsandsteingebiet. In: DVWK-Schriften 53, Kommissionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg, pp. 179-298.
- Liebscher, H.J., 1983: Hydrological and Hydrometeorological Observations and Cooperations in the Field of Hydrology in the Federal Republic of Germany. In: National Report on Hydrological Research 1975-1982, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, pp. 11-17.
- Meyer, E., 1978: Forstlich-hydrologische Untersuchungen im vorderen Kaufunger Wald. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landw. u. Forsten, 1. Tagungsbericht, Münden, pp. 118-124.
- National Committee for Geodesy and Geophysics, 1983: National Report on Hydrological Research 1975-1982. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, 296 p.

- Ramers, H. und Sokollek, V., 1981: Einfluß der Landnutzung und der natürlichen Standortverhältnisse auf den Niedrigwasserabfluß in kleinen Einzugsgebieten. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 22, pp. 74-86.
- Reigner, J.C., 1964: Calibrating a Watershed by Using Climatic Data. U.S. Forest Research Paper NE-15, Northeastern Forest Exp. Sta., Upper Darby, PA., 45 p.
- Reinhart, K.G., 1967: Watershed Calibration Methods. In: Forest Hydrology, Pergamon Press, New York (Vieweg und Sohn GmbH, Braunschweig), pp. 715-723.
- Schulz, H.D., 1977: Über den Grundwasserhaushalt im norddeutschen Flachland, Teil IV, Besondere Mitt. zum Gewässerk. Gb. 40, 141 p.
- Wohlrab, B.; Wenzel, V.; Mollenhauer, K., 1974: Wirkungen verschiedener Bodennutzung auf das Abflußregime und den Stoffeintrag in Gewässer. In: Jahresbericht der Ökologischen Forschungsstation der Univ. Gießen in Waldeck-Nieder-Werbe, 1, pp. 1-40.

ANALYSIS OF THE HYDROLOGIC
BEHAVIOUR OF ALPINE WATERSHEDS
WITH CONCEPTUAL MODELS

CA' ZORZI F. (*), DALLA FONTANA G. (**), FATTORELLI S. (***)

INTRODUCTION

Among the large number of problems, for which hydrological modeling can provide helpful information, one of the most complex is the study of watershed behaviour in connection with changing that occur both on the watershed slopes and in its hydrographic network owing to natural or artificial causes.

Obviously, not all models can be used for this specific purpose, but only those models able to describe the single hydrological processes with strongly physical bases.

In accordance with LARSON (1972, 1973) who thoroughly investigated this aspect, physically-based models and conceptual models prove particularly suitable for this objective.

It is well known that the former models attempt to describe the numerous watershed phenomena by the strict application of the single differential equations of matter continuity and of energy. However, the magnitudes necessary to characterize these equations require a direct field investigation which cannot at present be proposed, except for limited cases closely connected with experimental research, as is shown by the few available complete models (HUFF: 1977 ; MORRIS: 1982).

In contrast, the definition of algorithms for single processes in conceptual models is the result of analytical sim-

(***) Full Professor of Forest Hydrology, University of Padua.

(**) Researcher at the Chair of Forest Hydrology, University of Padua.

(*) A.I.D.I. Scholarship Holder.

plifications and of empirical assumptions. These allow to give a strict interpretation of the phenomenon analyzed. And yet , the interdependence relations among processes take place a logical structure which is sufficiently in harmony with the actual system.

In this work, the hydrological behaviour of some alpine watersheds has been investigated by means of a version of the Stanford Watershed Model (SWM), the parent of conceptual models. The version has been developed at the Forest Hydrology Chair of Padova University.

For a detailed description of this version of the model, a previous publication is referred to CA' ZORZI, DALLA FONTANA , FATTORELLI: 1984. This work is included in a research program , that was started some years ago at the Forest Hydrology Chair of Padova University and, among other purposes, is intended to increase the physical meaning of the model parameters and algorithms.

SIMULATION OF LAND PROCESSES

The module LAND operates following a scheme of the hydrological cycle. It can separately take into account the main hydrological land processes such as interception , infiltration, water retention along the soil profile, percolation , overland flow, interflow, baseflow, evapotranspiration losses , etc.

The watershed is defined on the ground of its physical characteristics which are synthetized by means of proper parameters. Depending on the various characteristics these parameters can be quantified based on the knowledge that can be acquired with the common methods of land survey.

As to other parameters, their analytical evaluation or even their estimate is particularly hard to achieve, owing to the difficulty to perform direct physical measures. The determination of the most probable values for such parameters is effected with the model calibration.

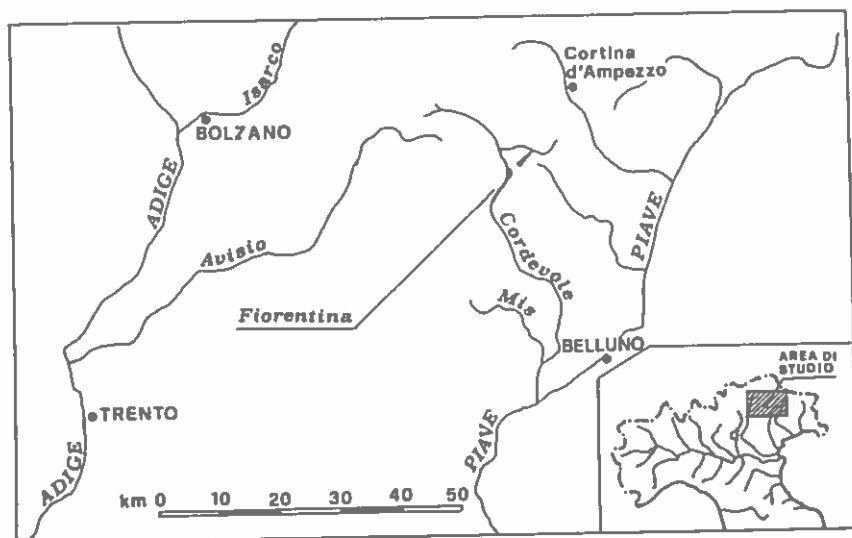
each according to the role they play in the logical structure of the model, in order to reach a fair agreement between simulated and recorded flows.

Thus, their determination is an essential stage that should be performed very carefully making use of all available information; that will lower the number of unknown parameters that must be found by calibration. Calibration becomes particularly toilsome when, besides the parameters usually concerned, other parameters are involved whose direct determination proves impossible owing to lack of available data.

The general structure of the model makes its use possible in different-type watersheds as a great number of applications all over the world witness (LARSON: 1982): actually, the identification of a watershed is performed through hydrometeorologic data and input parameters.

As a part of the research mentioned in the introduction, many applications of the model have been carried out in different-size watersheds in the Eastern Alpine Chain (FATTORELLI, FLEMING: 1982; BARONCINI, FATTORELLI, FLEMING: 1983 ; CA'ZORZI, DALLA FONTANA, FATTORELLI: 1984).

Among these, there is the Fiorentina watershed, which is located in the Dolomitic area of the Veneto Region (fig.1) and has the smallest surface. Its vegetation is fairly homogeneous. It has a 52 km² area with an average altitude of 1885 m and a 56% average slope.



The plant cover is mostly formed by a conifer high forest from the valley bottom up to about 2000 m elevation. Beyond this limit, grass lands and elevation waste lands are dominant. The model was calibrated for the Fiorentina watershed over three water years from October 1959 to September 1962 (DALLA FONTANA: 1984), giving results which on the whole were satisfactory.

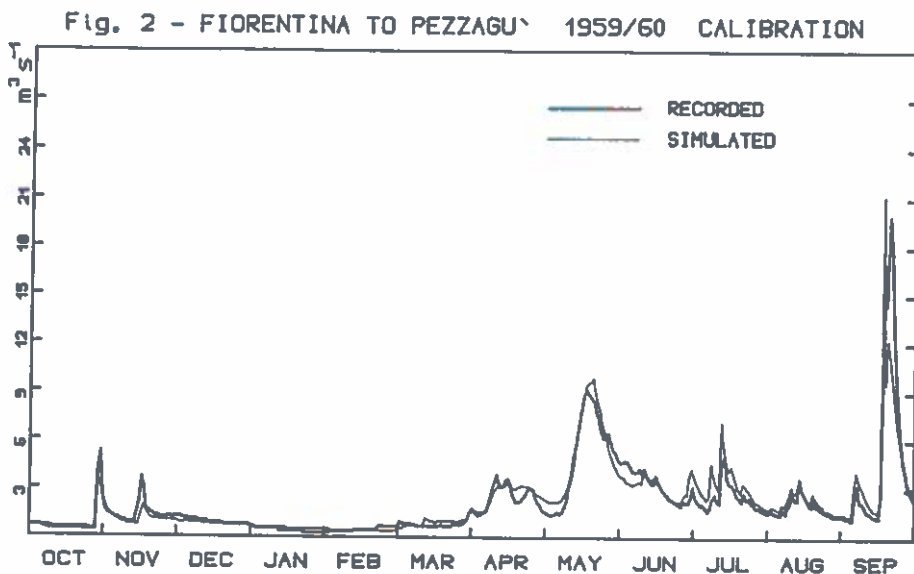


Fig. 2 - Fiorentina to Pezzagù - 1959/60 Calibration.

Fig. 2 illustrates an example of the model calibration at the watershed mentioned above for the water year 1959/60 . It shows the patterns of simulated and recorded average daily discharges. Besides confirming the good approximation obtained by simulation, the example is quite suitable to point out some hydrological watershed features. As a matter of fact, it is possible to note the major role played by snow-melt flows in April, May and June over the water year regimen. Besides quantifying the basic variables of the hydrological balance, the model is capable to provide the time pattern of the principal snow magnitudes for each segment. An example is illustrated in table I, showing for each segment the water equivalent daily values in mm for the following variables:

- snowfall;
- snowmelt;
- water produced at the bottom of the snow cover;
- water equivalent of the snow cover;

- snow-covered area fraction of the segment;
- liquid water content of the snowpack;
- energy deficit of the snow cover.

Tab. I - Daily snow summary at 6 A.M. for 04/59. Lower segment

DAY	SNOW	MELT	PRO	WE	AESC	LIQW	NEGH5
1	0.0	6.3	10.4	496.6	1.0	14.9	.0
2	2.1	4.5	7.3	494.0	1.0	14.8	.1
3	0.0	11.9	12.2	482.0	1.0	14.5	.1
4	0.0	9.4	9.9	472.5	1.0	14.2	.1
5	0.0	7.9	8.3	464.5	1.0	13.9	.2
6	0.0	9.4	9.7	455.0	1.0	13.6	.1
7	0.0	12.5	13.0	442.4	1.0	13.3	0.0
8	0.0	17.9	18.7	424.3	1.0	12.7	0.0
9	0.0	22.4	23.3	401.7	1.0	12.1	0.0
10	0.0	24.4	25.3	377.1	1.0	11.3	0.0
11	0.0	21.9	22.8	355.0	1.0	10.7	0.0
12	0.0	16.4	17.2	338.4	1.0	10.2	0.0
13	0.0	13.3	13.9	324.9	1.0	9.7	0.0
14	0.0	21.6	22.4	303.1	.9	9.1	0.0
15	0.0	23.9	24.9	279.0	.8	8.4	0.0
16	0.0	9.6	10.1	269.3	.8	8.1	.1
17	0.0	4.6	4.8	264.6	.8	7.9	0.0
18	0.0	5.4	6.1	259.0	.8	7.8	0.0
19	0.0	13.7	18.3	245.2	.8	7.4	0.0
20	0.0	13.0	15.7	231.9	.7	7.0	0.0
21	0.0	9.8	11.1	221.9	.7	6.7	0.0
22	0.0	13.2	13.8	208.5	.4	6.3	0.0
23	0.0	8.7	9.1	199.7	.4	6.0	0.0
24	0.0	10.4	11.0	189.0	.4	5.7	0.0
25	0.0	6.2	6.6	182.6	.4	5.5	0.0
26	0.0	1.5	1.7	181.0	.4	5.4	.2
27	0.0	0.0	.2	180.8	.4	5.4	.5
28	0.0	.6	.4	180.4	.4	5.4	.3
29	.3	.0	.2	180.6	.7	5.4	.6
30	0.0	0.0	.2	180.4	.4	5.4	.8

This information allows to evaluate the evolution of the snow cover in the watershed during winter and spring seasons and to gain knowledge of these processes, which could hardly be obtained by traditional methods.

MODEL SENSITIVITY TO PARAMETER VARIATION

The watershed characterization is defined by a large number of parameters. Each parameter plays a qualitatively and quantitatively different role in the model as regards the determination of the model response to meteorological data input. Each parameter conveys some degree of information on the physical feature or features that it represents. This information is transferred into the model more or less efficiently depending on the ability of algorithms to represent the processes.

As regards the representativity of each parameter, a first distinction should be made between parameters that can be defined by means of estimate or computation procedures, and parameters that cannot be satisfactorily determined in this way.

Among the parameters of the former group, a relationship is found between the watershed characteristics (morphological, vegetational, etc.) and the value that should be given to the parameter. Thus, the parameter value can be used to quantify the changes in the watershed characteristics. Within this group, a further distinction should be made between the parameters which are defined by means of analytical methods (morphometric parameters), and parameters which must be evaluated even if based on measurable physical characteristics (vegetational parameters). In this former case, an absolute 'objectivity' of final values is warranted, while in the latter case there is, though in a restricted variability range, a subjective standard which depends on the operator's sensibility and hydrologic knowledge.

The latter group includes the parameters of the model calibration. In the specific case, they are four in number and can all be correlated to the hydrologic watershed characteristics. The reference to specific physical characteristics is not direct for these parameters, rather it should be interpreted depending on the hydrological behaviour.

To support this reference, the value of these parameters should be correlated with the measurable physical watershed characteristics even in an empirical way. Obviously, this is possible when cases of model application are available allowing significant comparisons.

In any case, it is necessary to know how parameter variability affects model response based on the model application.

The great number of applications in different hydrologic conditions have allowed to identify to what some model parameters affect the most significant components of the hydrological balance (Table II).

Table II - Principal hydrological variables as affected by the increase of some model parameters.

	SOIL AND GROUNDWATER STORAGE	BASEFLOW	INTERFLOW	SURFLOW	ETR LOWER ZONE	ETR UPPER ZONE	ETR INTERCEPTION
EPXM	-				-	-	+
K3	-	-			+	-	
FCOVER					+	-	
FDEN					+	-	
NN				-			
LZSN	+	-	-	-	+		
UZSN	+		-	-		+	
CB	+	+	-	-	+	-	
CC			+	-			

The influence of each parameter on the hydrological variables is shown by (+) or (-) depending on a variable increase or decrease.

The parameters in Table II are those directly connected with the plant cover and those used in the model calibration.

From top to bottom in the left column, they are:

EPXM Interception storage in relation with the characteristics of the plant cover;

K3 index of evapotranspiration losses from the lower soil zone correlated to forest tree cover area;

FCOVER fraction of the watershed area covered by conifers;

FDEN canopy density of conifer cover;

NN roughness coefficient found from the plant cover characteristics;

LZSN nominal lower zone soil moisture storage (mm);

UZSN nominal upper zone soil moisture storage (mm);

CB infiltration index (mm/hr);

CC interflow index.

The analysis of the Table shows that the calibration parameters play a major role as regards the hydrological response of the model. A study case that can point out the influence of these parameters on the model has been conducted on the Fiorentina watershed.

Before describing the application effected a peculiarity of the model structure should be mentioned. The simulation of the LAND phase is performed by altitudinal segments. Consequently, the watershed must be subdivided into segments - three in number at the most - and the respective input parameters must be defined for each segment.

Two segments were identified for the Fiorentina watershed, selecting the 2000 contourline as the separation one.

Thus, it was possible to subdivide the watershed into two different zones as regards plant cover. Actually the whole forest surface is found in the lower segment and is largely represented by high forests of spruce while in the upper segment, there are only altitude pastures and barren lands.

Under these conditions, apart from the obvious morphological differences due to altitude - it seemed fairly reasonable to use plant cover as the main distinction factor between the two segments.

Owing to this peculiarity, a quantitative evaluation was made to assess the influence of the forest cover on the hydrologic response of the lower segment, by simulation model previously calibrated. To this purpose for this segment the values correlated to plant cover were assumed to be similar to those in the upper segment, where tree cover was higher.

Then, the model was run with this new set of parameters and the results for the main hydrologic variables of the lower segment are shown in Table III. The values (mm) in the second column point out the annual variations due to the changes. Apart from the expected flow increment in terms of annual volume, it seems interesting to observe that a significant water redistribution occurs among the different components of the hydrological balance.

Table III - Hydrologic balance in the lower segment for the two conditions studied.

	CALIBRATION	TEST
INFLOW	2602.9	2602.9
INTERCEPTION	181.5	97.6
SOIL EVAPORATION	71.8	267.6
TRANSPIRATION	218.9	49.1
SURFLOW	51.6	153.9
INTERFLOW	689.7	890.8
BASE FLOW	1201.0	990.4
STORAGE VARIATION	188.4	153.5

As regards evapotranspiration losses, a total decrease can be observed. It is due to the remarkable reduction of interception (ETR INTERCEPTION) and transpiration (ETR LOWER ZONE) losses, which are only partly balanced by a significant loss in crease due to evaporation (ETR UPPER ZONE) from the upper soil zone.

As to runoff, it is possible to note an important increment of surface runoff (SURFLOW) and a more limited interflow increment (INTERFLOW) while base flow decreases (BASE FLOW).

With specific reference to the study case, the information supplied by the model provides an appraisal quite in accordance with the hydrologic theory and eventually it allows to evaluate the consequences of the new situation.

Figure 3 illustrates the comparison of the pattern to aver

the pattern produced by the model, using the new set of input parameters.

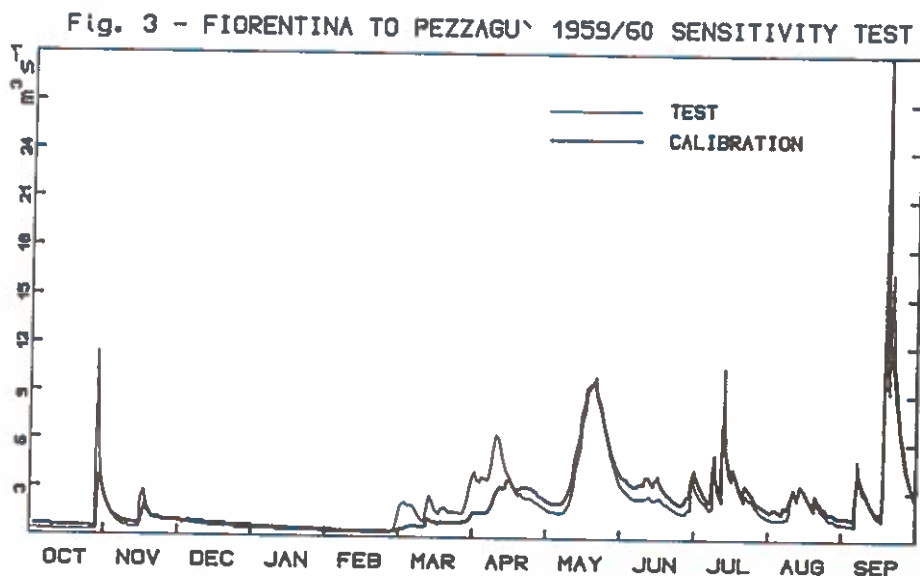


Fig. 3 - Fiorentina to Pezzagù - 1959/60 Sensitivity test.

Besides confirming the total flow increase, the figure chiefly points out discharge increment with flood peaks. In addition, it is possible to observe that snowmelt occurs earlier in the lower segment in March and April and discharge reduces during the depletion phase.

SIMULATION OF THE CHANNEL PHASE

The model CHANNEL is used to study flow routing simulated in the LAND phase, that reaches the collector .

The channel network is represented through a combination of reaches, each of which is defined by a specific set of parameters.

voir. The model uses the kinematic method for channel routing , while reservoirs are simulated by a simple continuity equation.

The use of the model CHANNEL allows to reconstruct the values of the hydrological variables in the final sections of the various reaches into which the hydrographic network has been subdivided. In addition, it is possible to simulate floods from the sections considered, the reservoir influence and, more generally, the extent to which flows are affected by changes in previous conditions.

Among the model applications in the Eastern Alpine Range , the simulation of the Avisio watershed is reported in order to stress some operational possibilities provided by the model.

The hydrograph system of the Avisio has been subdivided into 13 reaches, 10 of which are found on the main stream and 3 on the more significant tributaries; reach 9 corresponds to the reservoir of Stramentizzo (fig. 4).

The calibration of the model LAND was made on the watershed closed at the dam of Stramentizzo covering a surface of 712 km². Within the period used for calibration, the most significant flood event occurred in September 1976.

Based on the frequency analysis of the rainfall that caused the flood, made for both stations used in the simulation, namely Rolle Pass and Cavalese, a return period of about five years was found for this event.

The reliability of the simulation was checked making a comparison between simulated and recorded discharge from the reservoir of Stramentizzo on 13th and 14th September 1976, as illustrated in fig. 5. Maximum discharge of 350 m³/s was recorded on 14th from 4 to 5 a.m. For the same period, simulation provides discharges ranging from 358 to 360 m³/s. Table IV illustrates the output regarding the terminal reach of Lavis, where besides other things, it is possible to read the hourly values for:

OUT-FLOW	discharge in the terminal section of the reach;
VELOCITY	stream velocity in the terminal section , computed using Manning's equation;
CHAN-Y	inbank hydrometric level;

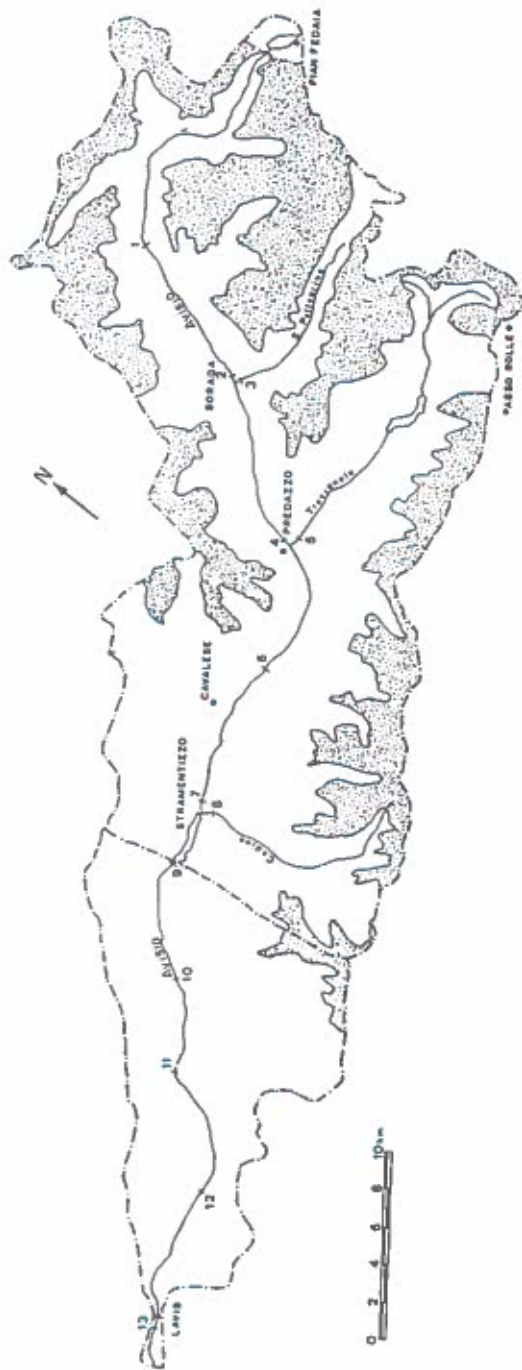


Fig. 4 - Avisio river basin - Reach network.

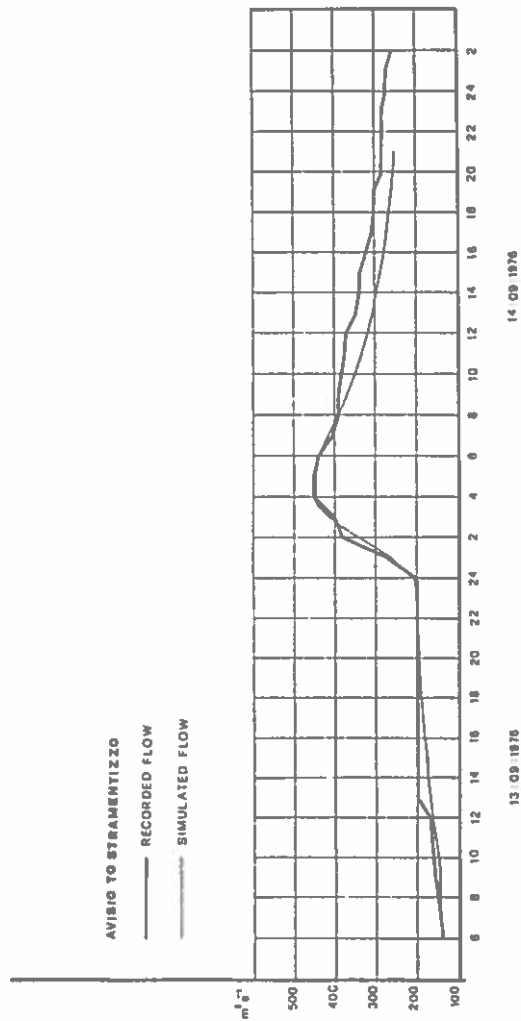


Fig. 5 - Hourly recorded and simulated discharge to Stramentizzo.

Table IV - Output example: Avisio to Lavis.

IR	YR	MO	DY	HR	MIN	CHAN-STAR	INFLOW	SIDE-FLOW	OUT-FLOW	VELOCITY	CHAN-Q	FF-Q	QOTV
13	1976	9	13	1	0	3348E+06	57.958	5.33	56.629	578	1.114	0.000	0.00
13	1976	9	13	2	0	3331E+06	57.511	5.30	56.218	577	1.109	0.000	0.00
13	1976	9	13	3	0	3308E+06	57.149	5.28	55.860	575	1.105	0.000	0.00
13	1976	9	13	4	0	3302E+06	56.807	5.26	55.480	573	1.101	0.000	0.00
13	1976	9	13	5	0	3302E+06	56.051	5.24	55.070	571	1.097	0.000	0.00
13	1976	9	13	6	0	3315E+06	55.051	5.21	54.813	574	1.102	0.000	0.00
13	1976	9	13	7	0	3315E+06	55.701	5.21	55.171	574	1.102	0.000	0.00
13	1976	9	13	8	0	3341E+06	58.684	5.21	58.171	580	1.119	0.000	0.00
13	1976	9	13	9	0	3379E+06	66.659	7.00	59.071	605	1.191	0.000	0.00
13	1976	9	13	10	0	3479E+06	88.737	4.80	95.310	702	1.490	0.000	0.00
13	1976	9	13	11	0	3118E+06	150.133	1.03	119.026	767	1.703	0.000	0.00
13	1976	9	13	12	0	3059E+06	116.391	1.03	118.133	763	1.693	0.000	0.00
13	1976	9	13	13	0	4905E+06	109.770	1.00	112.308	750	1.644	0.000	0.00
13	1976	9	13	14	0	4905E+06	104.260	1.07	106.936	735	1.587	0.000	0.00
13	1976	9	13	15	0	4905E+06	103.359	1.06	105.413	731	1.584	0.000	0.00
13	1976	9	13	16	0	4905E+06	117.533	1.08	116.088	746	1.642	0.000	0.00
13	1976	9	13	17	0	5095E+06	117.533	1.18	119.844	777	1.719	0.000	0.00
13	1976	9	13	18	0	5145E+06	120.174	1.28	120.820	777	1.719	0.000	0.00
13	1976	9	13	19	0	5145E+06	122.042	1.28	122.841	777	1.719	0.000	0.00
13	1976	9	13	20	0	5245E+06	133.974	1.28	134.835	782	1.733	0.000	0.00
13	1976	9	13	21	0	5318E+06	125.982	1.24	126.844	787	1.759	0.000	0.00
13	1976	9	13	22	0	5369E+06	128.030	1.23	128.913	792	1.787	0.000	0.00
13	1976	9	13	23	0	5505E+06	134.358	1.20	133.999	807	1.837	0.000	0.00
13	1976	9	13	24	0	6158E+06	161.612	7.29	161.977	868	2.049	0.000	0.00
13	1976	9	14	1	0	7814E+06	223.130	8.53	225.896	991	2.500	0.000	0.00
13	1976	9	14	2	0	9639E+06	320.127	9.80	320.030	1.154	3.140	0.000	0.00
13	1976	9	14	3	0	1058E+07	386.739	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	4	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	5	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	6	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	7	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	8	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	9	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	10	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	11	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	12	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	13	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	14	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	15	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	16	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	17	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	18	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	19	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	20	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	21	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	22	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	23	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00
13	1976	9	14	24	0	1058E+07	382.706	8.13	397.682	1.243	3.512	0.000	0.00

FP - Y overbank hydrometric level.

In particular, this latest data can help define possible flooding conditions.

Simulation was repeated for the 12 reaches and in none of them the flow level exceeded the bank depth. Figure 6 shows the hydrographs for the cross sections of Soraga (watershed area 200 km²), of Cavalese (422 km²) and of Lavis (932 km²).

In order to identify possible critical cross sections, an evaluation was made of the response of the channel system to higher rainfalls. The precipitation recorded during the critical interval, corresponding to 12 hours was replaced by the precipitation with a return period of 100 years, maintaining the same time distribution. This operation was performed on data from both rain-gauging stations Cavalese and Rolle Pass used for simulation.

For two reaches the simulated discharge cannot be contained in the bankfull sections, they respectively occur at Soraga, (reach 2) and at Lavis (reach 13).

The hydrograph pattern in these cross sections is illustrated in figures 7 and 8 with a continuous line. In both cases it is possible to observe a sudden slope variation in the rising limb of the hydrograph, at the moment when the critical threshold is exceeded (at 11.30 p.m. and 3.30 a.m. respectively). In fact, starting from this point, the model makes a distinction between the inbank flow and the overbank flow, which are dealt with different algorithms.

In particular, the overbank flow is slowed down owing to a lesser water depth and to a roughness coefficient which is usually greater. Instead, the velocity of the inbank flow is steady at the maximum value allowed by the cross section characteristics; obviously a delay and a mitigation of the flood occur.

Also, investigations were conducted to define to what extent the form and size variation in the two critical sections affected simulation. In both cases, two types of cross section were assumed, which were for simplicity trapezoid and respectively obtained extending and raising the existing sections, as illustrated in figure 9. These hypothetical sections were designed for maximum discharge in order to contain the whole flow in bank. The result of these runs is shown in figures 7 and 8. where dotted lines refer to the discharge in sections of type

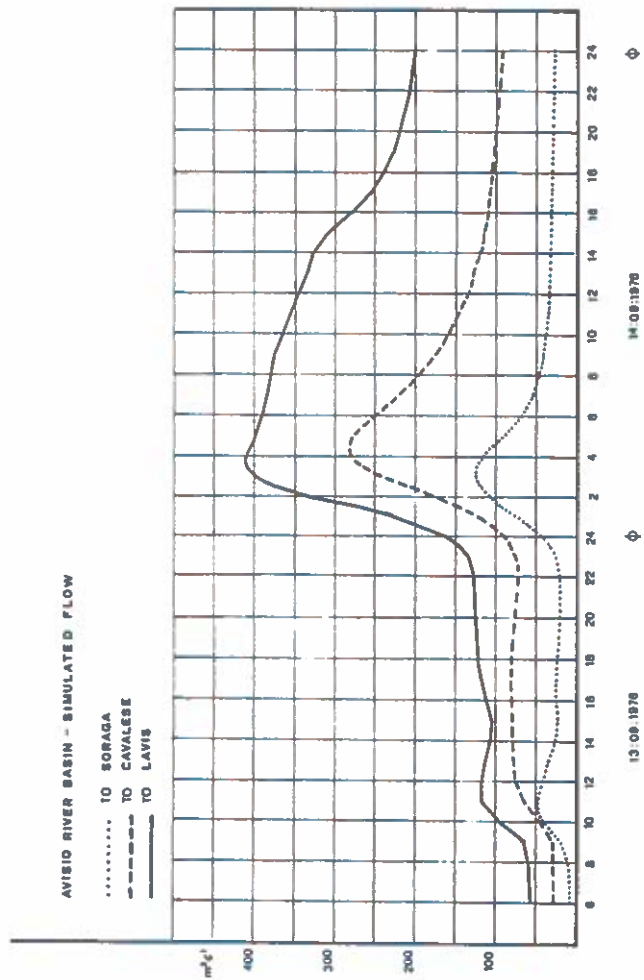


Fig. 6 - Hourly simulated discharge to three different reaches.

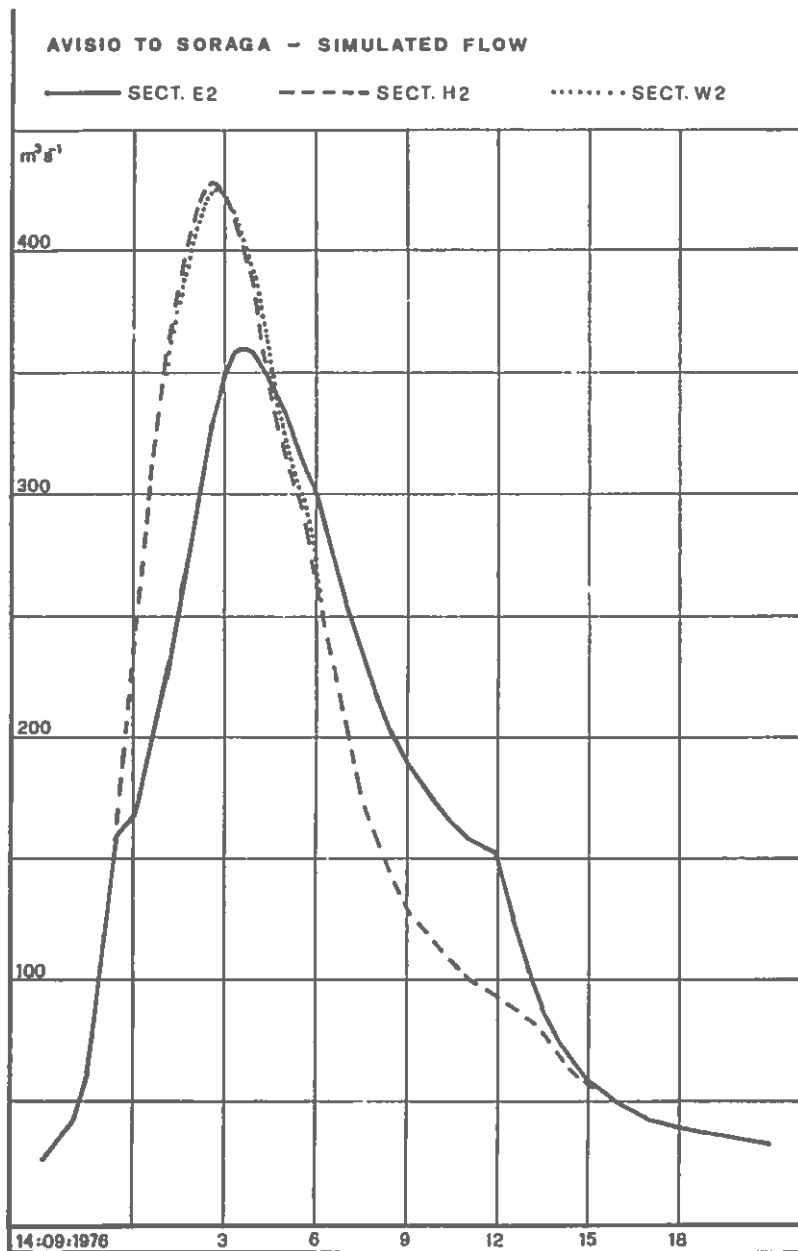


Fig. 7 - Hourly simulated discharge to Soraga using

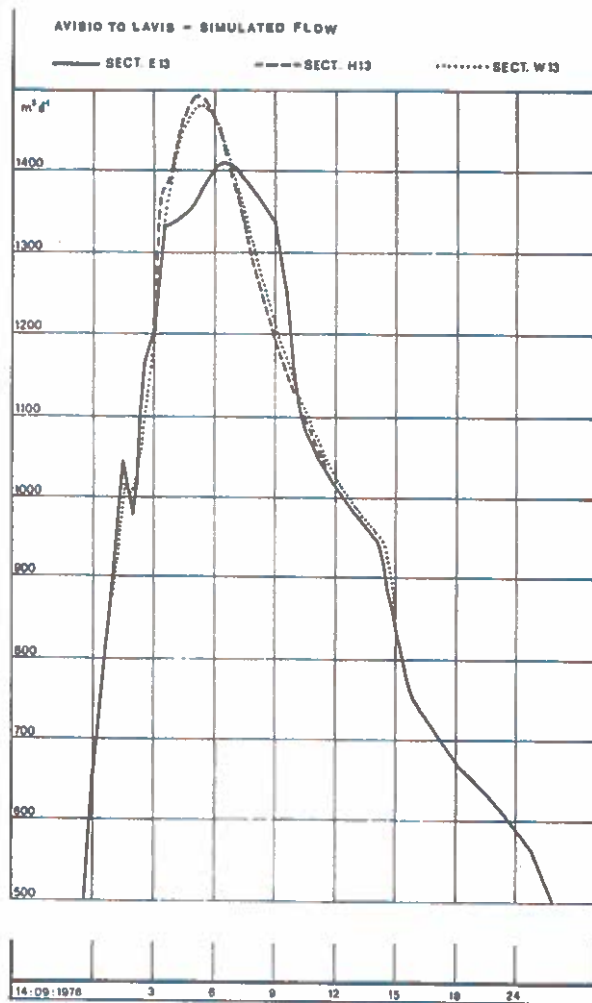


Fig. 8 - Hourly simulated discharge to Lavis using the 1:100 years rainfall.

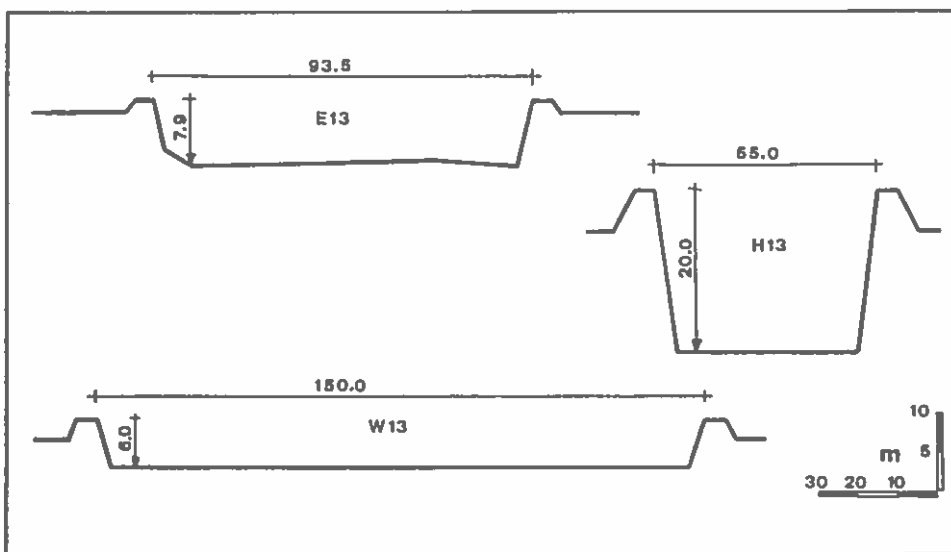
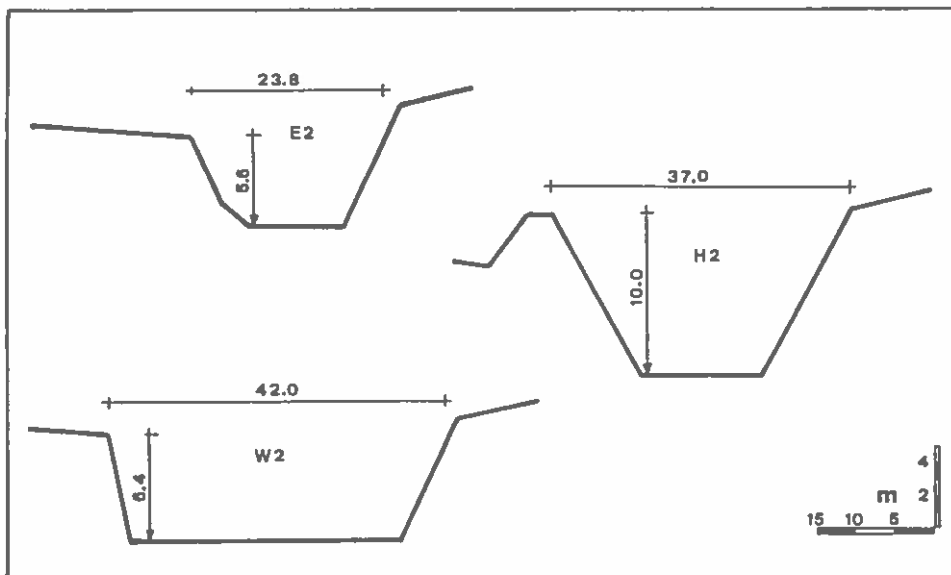


Fig. 9 - Existing (E) and alternate cross-sections for reaches 2 and 13.

H, while point lines refer to the discharge in the sections of type W. If compared to simulation in the original sections E, the difference is rather remarkable due to the reason that no overbank flow occur. On the contrary, no great differences can be observed between the two types of sections assumed as to discharge, although it is possible to note that the sections of type W tend slightly to mitigate and delay the flood peak, as can be seen in table V.

Table V - Maximum values in the different zones studied.

Section	Hour	Discharge	Velocity	Water Depth	Bank Depth
E2	3:30	360.2	1.518	10.08	5.60
W2	2:30	428.5	1.835	6.39	6.40
H2	2:30	428.9	1.852	8.93	10.00
E13	6:30	1409.5	2.127	8.67	7.90
W13	5:30	1484.8	1.779	5.56	6.00
H13	5:30	1502.2	2.202	13.86	20.00

Instead the difference among the maximum velocities reached by the stream in the different cases (table V) is more remarkable. As expected, velocity is lower in sections of type W which have a lesser hydraulic radius, though the liquid section is equal.

Finally, it should be pointed out that the model can find the right design of assumed cross sections providing the flow depth. In the study case, the H sections are oversized while the W2 section is in a critical situation as can be seen in the two last columns of table V.

CONCLUSIONS

The approach outlined by modelling of natural systems is characterized by the effort to estimate the physical phenomena quantitatively.

Among the available models, the most suitable ones to meet

opinion, be ascribed to conceptual deterministic models.

In the many cases in which the model has been used, a deep hydrological knowledge has been gained which could hardly have been obtained with traditional methods.

The model is referred to the physical system. This provides the hydrologist with a continuous critical check of the results and stimulates a steady improvement in the identification of parameters and of processes.

The cases illustrated show some of the manifold possibilities that this tool offers.

One of the most interesting opportunities offered by the model is pointed out in the case of the Fiorentina watershed.

It is rightfull to remark that as the number of applications is increased the determination of the calibration parameters can be more easily referred to hydrological soil features.

The CHANNEL model has allowed to reconstructe flood discharges due to rainfalls with different return periods in the various Avisio reaches. Thus, it has been possible to find the sections with more flooding possibilities and to quantify the variations in the hydraulic flow characteristics resulting from changes of the river geometry.

In conclusion, it seems reasonable to state that it is possible, by deterministic models, to make a quantitative analysis of the different components of the hydrological cycle and to study the influence that assumed variations can exercise on these components both in the watershed and along the channel network.

SUMMARY

Based on actual cases, the paper illustrates some of the numerous possible hydrologic analysis through conceptual watershed models. The model used is a version of the Stanford Water-

a deterministic, conceptual, continuous model capable of simulating the complete range of land surface hydrology processes including snow accumulation and melt (LAND phase) and the routing of land surface runoff through a branching channels and reservoirs (CHANNEL phase).

Since the parameter used by the model have a physical meaning which is based on the watershed features, it is possible to evaluate the influence of one or more parameters - and consequently of the corresponding characteristics - on the hydrologic regimen.

As regards the CHANNEL phase, some runs are reported that quantify the effect on floods due the changes of cross sections.

RESUMEN

Se ilustran en el presente trabajo, con referencia a ejemplos concretos, algunas de las múltiples posibilidades de análisis hidrológico consentidas por los modelos determinísticos conceptuales. El modelo empleado en las aplicaciones descriptas es una versión del Stanford Watershed Model preparada en la Universidad de Padua; se trata como es sabido, de un modelo determinístico, conceptual, continuo en grado de simular todos los procesos del ciclo hidrológico distinguiendo entre aquellos que tienen lugar en las laderas (fase LAND) y los de propagación a lo largo de la red hidrográfica (fase CHANNEL).

Puesto que los parámetros utilizados por el modelo tienen, si bien en medida diferente, un significado físico verificable en las características de la cuenca, es posible evaluar la influencia de uno o más parámetros, y por lo tanto de las correspondientes características, sobre el régimen hidrológico.

En lo que concierne la fase CHANNEL se reproducen algunas simulaciones con la finalidad de cuantificar el efecto provocado por variaciones de la sección líquida sobre la forma de las crecidas.

ZUSAMMENFASSUNG

Basierend auf aktuelle Fälle beleuchtet der Bericht einige der zahlreichen möglichen hydrologischen Analysen mithilfe konzeptueller Einzugsgebietsmodelle.

Das verwendete Modell ist eine Version des Stanford-Einzugsgebiets-Modelles, das an der Universität Padua modifiziert wurde. Wie bekannt, ist es ein deterministisches, konzeptuelles und kontinuierliches Modell und imstande sowohl den gesamten Bereich der hydrologischen Land-Oberflächen-Prozesse, einschließlich Schneesammlungen und Schneeschmelze (Landphase) als auch den Verlauf des Oberflächenabflusses durch ein verzweigtes Gerinnenetz, das auch aus einer verschiedenartigen Zusammensetzung offener Gerinne und Speicher bestehen kann (Gerinnephase), zu simulieren.

Da die bei diesem Modell verwendeten Parameter eine physikalische Bedeutung haben, welche sich auf Einzugsgebietsmerkmale stützen, ist es möglich den Einfluß eines oder mehrerer Parameter - und konsequenterweise die der entsprechenden Merkmale - auf das hydrologische Regime zu bewerten.

In Bezug auf die Gerinne-Phase wird über einige Rechengänge berichtet, die die Wirkung der Änderung von Querprofilen auf Hochwässer quantifizieren.

BIBLIOGRAPHY

- BARONCINI E., FATTORELLI S., FLEMING G., 1983: Simulazione idrologica del bacino del fiume Brenta mediante modello continuo. Rapporto Informativo n. 4 della Cattedra di Idrologia Forestale dell'Università di Padova.
- CA' ZORZI F., DALLA FONTANA G., FATTORELLI S., 1984: Simulazione idrologica del Bacino del Cordevole. Regione Veneto, Dipartimento Foreste, Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica. Quaderni di ricerca.
- CRAWFORD N.H., LINSLEY R.K., 1966: Digital Simulation in hydrology. Stanford Watershed Model IV. T.R. 39, Stanford University California.
- DALLA FONTANA G., 1984: Simulazione dei deflussi nivali in alcuni bacini delle Alpi Orientali. Convegno Interpretavent 1984, Villach (in stampa).
- DUNIN F.X., 1975: The use of physical processes models. In: Prediction in catchment hydrology. Proceedings of Symposium on Hydrology, Sponsored by the Australian Academy of Science, pp. 277-291.
- HUFF D.D., LUXMORE R.J., MINKIN J.B., BEGOVICH C.L., 1977: THEM: A terrestrial ecosystem hydrology model. EDFB/IBP-76/8, ORNL/NSF/EATC-27, 152 pp, Oak Ridge, Tenn, Oak Ridge National Laboratory.
- FATTORELLI S., FLEMING G., 1982: Indagine sui fattori influenzanti il regime idrologico del bacino dell'Avisio. Rapporto Informativo n. 1 della Cattedra di Idrologia Forestale dell'Università di Padova.
- LARSON C.L., 1972: Using hydrologic models to predict the effects of watershed modification. Proceeding of Symposium on a Watershed in transition, held at Fort Collins Colorado, pp. 113-117.
- LARSON C.L., 1973: Hydrologic effects of modifying small watersheds - Is prediction by hydrologic modeling possible?. In: Transactions of ASAE, pp. 560-564.
- LARSON C.L., ONSTAD C.A., RICHARDSON H.H., BROOKS K.N., 1982 : Some particular watershed model. Chapter 10 in: Hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers, pp. 409-434.
- LINSLEY R.K., 1976: Representative and experimental basins ,

MORRIS E.M., 1982: Sensitivity of the European Hydrological System snow models. In: Hydrological aspects of alpine and high mountain areas. Proceedings of the Exeter Symposium , July 1982, pp. 221-231.

THE RIVER PIAVE TELEMETERING
NETWORK IN THE VENETO REGION
I T A L Y

by

Battista COSTANTINI
Veneto Land Forest Department Director

Massimo CRESPI
Veneto Land Experimental Centre Director

ABSTRACT

The Veneto Land Gouvernment - Forest service - Experimental centre for avalanche and hydrogeological studies of Arabba (Italy) has realized a telemetering network in the Piave watershed (3.418 km²) with this objectives:

flood forecasting, hydrometeorology and climatological studies, sediment transport, snowmelt flows, water quality, torrent control.

The peripheral station records the flows, the precipitation, the air temperature, the relative humidity, the wind, the radiation; the connection system is by radio; in the operating Centre a computer controls and manages the whole system.

ABSTRAKT

Das Versuchszentrum für Lawinen und hydrogeologische Studien in Arabba (Italien) des Forstdienstes der Landesregierung von Veneto hat ein telemetrisches Meßnetz im Einzugsgebiet der Piave (3.418 km²) eingerichtet mit folgenden Zielen:

Hochwasservorhersage, hydrometeorologische und klimatologische Studien, Feststofftransport, Schneeschmelzabflüsse, Wasserqualität und Wildbachverbauung.

Die Außenstationen zeichnen Abflüsse, Niederschläge, Lufttemperatur, relative Feuchtigkeit, Wind und Strahlung auf; die Übertragung erfolgt durch Funk; in der Betriebszentrale erfolgt die Computer-Kontrolle und Regelung des gesamten Systems.

ORGANISATION OF THE CENTRE

This report illustrates the main accomplishments obtained in the last two years of activity by the Experimental Centre that provides :

- Snow and avalanches control service :
 - + The avalanche bulletin;
 - + Snow-measuring network;
 - + Avalanche map;
 - + Avalanche simulation models;
 - + Avalanche defense work;
- hydrological service :
 - + Territorial data base;
 - + Representative watersheds;
 - + Studies of slope stability;
 - + Sediment transport;
 - + Snow melting;
 - + Automatic designs of watershed management work;
 - + Applied meteorology;
 - + Real-Time flood forecasting;
 - + Physical and mathematical models.

OBJECTIVES OF THE NETWORK

Because of its complexity and costs, the network is used for various purposes :

- Studies of hydrometeorology and of climatology :
 - + management of water resources;
 - + flow quantification;
 - + study of heavy rains ;
 - + real-time flood forecasting by models.

- Derived studies :
 - + sediment transport;
 - + snowmelt flows;
 - + glacier influence;
 - + water quality;
 - + alert system.
- Optimization of torrent control designs;
- Data transmission and management;
- Development of softwares.

THE PIAVE WATERSHED

The sources of the Piave are found at 2037 meters a.s.l. (Peralba Mount). The watershed at Segusino (165 meters a.s.l.) is 3418 Km² large. It is bounded : to the north by the watersheds of the Adige and the Drava; to the west by the watersheds of the Brenta and the Adige; to the east by the watersheds of the Tagliamento and the Livenza.

The main tributaries exceeding 100 Km² are : on the right the Padola (134 Km²), the Ansiei (241 Km²) the Boite (396 Km²), the Cordevole (867 Km²), the Sonna (137 Km²) and - on the left - the Rai (180 Km²).

The principal lakes are : Santa Croce (4.72 Km²), Alleghe (0.45 Km²) and Misurina (0.15 Km²) ; the glaciers cover 0,1% of the total surface.

The forest area (163,000 Ha) is 47% of the total area; 120,000 Ha are covered by high forests (Picea excelsa 50%, Larix decidua 30%, Fagus and Abies 13%, other species 7%) and 43,000 Ha are covered by coppice (Fagus 33%, Ostrya 25%, other species 42%).

Other figures on land use are : pasture lands 24,000 Ha, waste lands 69,500 Ha, farm lands 43,200.

The rainfall regime is marked by 1,382 mm mean annual precipitation, with a maximum of 2,628 mm and a minimum of 380 mm. Rain distribution shows a spring and an autumn maximum and a winter and a summer minimum.

Flows are greatly modified by hydroelectrical installations and are heavy during snowmelt.

There are 6 average to small-sized representative watersheds in the Piave.

The first lot of the network was realized in the main tributary of the Piave, that is the Cordevole, to test technologies and instruments. Density is very great here for the particular research that is conducted in this watershed (sediment transport, snowmelt).

THE NETWORK AND PERIPHERAL STATIONS

The network consists of 30 weather stations and of 24 water gauging stations, that record :

- flows;
- precipitation;
- air temperature;
- relative humidity;
- wind direction;
- wind speed;
- total radiation.

All the stations are intelligent units consisting of :

- a power supply unit;
- a data transmission unit;
- a unit for the reception of sensor signals;
- a microprocessor.

In particular this last is enabled :

- to control the sensors;
- to receive and store data in the mass storage;
- to the autodiagnosics of the store (memory);
- to determine parameter increase;
- to detect errors;
- to access to the by-pass;
- to manage data transmission.

Alarm levels are determined in two ways :

- when one or more parameters reach a fixed value;
- when one or more parameters increase at a fixed rate, although they have not yet reached the alarm level.

A by-pass is started, making it possible for the peripheral station to rely on other stations or repeaters to transmit data, just by-passing it when a breakdown occurs in the transmission system. Further reliability is also provided by data storage in the mass store.

It is generally the operational Centre that calls the peripheral stations, but the apposite may occur in the case of alarm.

In order to record flows accurately, physical models have been realized for the cross-sections, building proper works.

THE CONNECTION SYSTEM

The network is found on the mountains, consequently the connection system must provide a high efficiency level even when a breakdown occurs or under extreme meteorological conditions. So, the peripheral stations are at the same time also enabled to transmit data either directly or starting the by-pass. They form a continuous chain directly connected with the Centre of Arabba which can very hardly be interrupted.

Electricity is the power supplied either by batteries or by solar cells.

In order to increase the system performance, besides by radio,

Advantages : + the modular principle makes maintenance easier
+ radio interferences are lower thanks to the use of only one broadcast station by time and of only one frequency;
+ possibility to extend the network without any change in the structure.

Disadvantages : + high costs, since it is a continuity-working system and not an event-working system;
+ problems of high-mountain electronics.

So, data reliability is provided by :

- radio broadcasting;
- telephone transmission;
- by-pass in the case of breakdown;
- local mass storage in the case of catastrophe.

THE OPERATING CENTRE

The operating Centre is located in Arabba. It consists of a computer with a UHF transceiver unit.

The microprocessor is enabled :

- to control operating conditions of the whole structure;
- to inquire the network;
- to start the by-pass in the case of breakdown;
- to acquire peripheral data ;
- to store data;
- to autodiagnose;
- to recognize and control alerts and to pass from the cycle of normal inquiry to the alarm cycle;
- to transmit operational information to peripheral stations.

Inquiries of various types can be made : instant, data of

library during the normal cycle; instead, in alert cycles, data directly transit to the simulation model for flood forecasting.

C O N C L U S I O N

The network will be completed in 1986. Then it will gradually be integrated with the automatic network of the snow and avalanche control service.

The main objectives of these first years of activity are :

- a better knowledge of meteorological phenomena;
- the training of staff, expert at network management and use.

A further basic advancement will be the starting up of the integrated system satellite - radar-ground network, in order to make rain and snow quantitative forecasts and to use the pre-real time forecast.

Also, the Centre is increasing relations with the agencies of civil protection, that will be the main users.

LE RESEAU DE TELEMETRIE DU
FLEUVE PIAVE DANS LA REGION
VENETO - ITALIE

by

Battista COSTANTINI

Massimo CRESPI

R E S U M E

Le Centre Expérimental valanches et défense hydro-geologique de Arabba, qui dépend du Département des Forêts Gouvernement Regional Veneto (Italie) a réalisé un réseau de télémétrie dans le bassin du fleuve Piave (3.418 kmc) avec les buts de prévoir les crues, d'étudier l'hydrométéo-rologie et le climatologie, le transport solid, la fonte de neige, le qualité des eaux, l'aménagement des torrents.

Les stations périphériques mesurent le débit, la précipitation, la temperature de l'air, l'humidité, le vent, l'irradiation ; le système de connexion est radio; le centre opérationnel est un ordonnateur qui contrôle tout le réseau.

Le but du réseau

Pour sa complexité et ses coûts , le réseau a différentes utilisations:

- Etudes d'hydrométéorologie et, de climatologie :
 - *Gestion des ressources hydriques
 - *Quantification des débits des torrents
 - *Etudes des pluies intensives
 - *Prévision des crues in temps réel par moyen de modèles de simulation
- Etudes dérivés :
 - *Transport solide
 - *Débits de la fonte de neige
 - *Influence des glaciers
 - *Qualité des eaux
 - *Systèmes d'alerte
- Optimisation des projets d'aménagement des torrents
- Transmission et traitement des données
- Développement de software

Le bassin du Piave

La source du Piave se trouve a 2.037 m.s.m. (Mont Peralba), le bassin a une surface (jusqu'à la section de Segusino 165 m.s.m.) de 3.418 kmq et ses limites sont :
au nord les bassins de l'Adige et de la Drava, à ouest les bassins du Brenta et de l'Adige, à est les bassins du Tagliamento et du Livenza. Les principaux tributaires avec surface majeur que 100 kmc sont en droite le Padola (134kmc), l'Ansiei (241 kmc), le Boite (396 kmc), le Maè (232 kmc), le Cordevole (867 kmc), le Sonna (137 kmc), en gauche le Rai (180 kmc). Les lacs principaux sont ceux de Santa Croce (4,72 kmc), de Alleghe (0,45 kmc) et de Misurina (0,15 kmc); les glaciers occupent le 0,1% de la surface globale.

La surface boisée (163,000 Ha) est le 47% de la totale; 120,000 Hasont de futais (Picea excelsa 50%, Larix decidua

Autres donnée sul l'utilisation du sol : paturage 24,000 Ha, improductifs 69,500 Ha, agriculture 43,200 Ha.

Le regime hydrologique est caracterisé par une précipitation annuelle moyenne de 1382 mm, avec un maximum de 2628 mm et un minimum de 380 mm ; la distribution des pluies présente deux maximums en printemps et automne et deux minimums en hiver et été.

Les débits sont très modifiés par les installations hydroélectriques et très élevés pendant la fonte de neige.

Dans le bassin il y a 6 bassins experimentaux de dimensions moyennes ou très petites.

Le premier réseau a été réalisé dans le principal tributaire du Piave, le Cordevole, pour expérimenter les technologies et les instrumentations; ici il y a une densité de stations très élevée parce qu'on fait des recherches sur la fonte de neige et le transport solide.

L'organisation du Centre

En cette relation on va présenter la principale réalisation des deux dernières années de travail du Centre expérimental pour l'étude de la neige, des avalanches, de la météorologie alpine et de la défense hydrogéologique, membre IUFRO depuis 1983.

Le Centre dépend du Département des forêts du Gouvernement de la Région Veneto (Italie) et s'occupe de :

- Service neige et avalanches :
 - * Bulletin des avalanches
 - * Réseau de mesure de la neige
 - * Cartes des avalanches
 - * Modèles de simulation des avalanches
 - * Ouvrages contre les avalanches
- Service hydrologique :
 - * Data base du territoire
 - * Bassins pilotes
 - * Etudes de la stabilité des sols
 - * Transport solide
 - * Fonte de neige
 - * Projection automatique

- *Météorologie appliquée
- *Prevision des crues en temps réel
- *Modèles physiques et mathématiques

Le réseau et les stations peripheriques

Sont installées 22 stations météorologiques et 22 stations hydrométriques qui mesurent :

- débit
- précipitation
- température de l'air
- humidité relative de l'air
- direction du vent
- vitesse du vent
- irradiation globale

Toutes les stations sont des unités intelligentes composées de :

- group d'alimentation
- group de transmission de données
- group de réception des signaux des senseurs
- microprocesseur

Le dernier, en particulier, doit :

- controler l'alimentation et la tension
- controler les senseurs
- recevoir et emmagasiner les données en mémoire solide
- faire la diagnostic automatique de la mémoire
- déterminer l'augmentation des paramètres
- gérer les niveaux d'alerte
- reconnaître les manques d'efficacité
- accesse an by-pass
- gérer la transmission.

Les niveaux d'alerte sont déterminées en deux manières :

- lors qu'un on plus paramètres (pluie ,débits,ecc...) arrivent à une grandeur déterminée.
- Lors qu'un on plus paramètres crossent selon une centaine vitesse , même s'ils n'ont encore touché l'alerte.

panne de transmission la station peut directement s'appuyer à un'autre station on récepteur-émetteur pour transmettre les données.

Même l'emmagasinement des données en memoire solide est une mesure de sûreté

Normalement est le centre operationnel qui appelle les périphériques, mais dans le cas d'alerte la périphérique appelle directement le centre.

Pour la mesure des débits on a réalisé les models physiques des sections et on a construi des ouvrages pour faire des mésurements de précision (Thompson, ecc..).

Le système de connexion

Le réseau se trouve dans la montagne, donc le système de connexion doit assurer la meilleure efficacité aussi dans le cas d'une panne ou sous conditions météorologiques exceptionnelles; donc les stations périphériques sont en même temps capables de transmettre les données directement ou avec l'activation du by-pass. En cette manière elles forment une chaîne continue en connection directe avec le centre de Arabba qui très difficilment peut être interrompue. L'alimentation est électrique, avec batteries ou panneaux solaires. On est en train de connexionner toutes les stations par cable téléphonique pour augmenter l'efficacité du système.

Avantages :

- le concept modulaire simplifie l'entretien;
- interférences par radio réduites en utilisant une seule station de transmission par fois et une seule fréquence;
- possibilité d'élargir le réseau sans modifier la structure.

Désavantages :

- coûts très élevés parce que le système fonctionne en continue et pas seulement dans le cas d'événements exceptionnels;

Donc sûreté des données pour : *transmission radio
*transmission téléphonique
*en cas de panne by-pass
*en cas de catastrophe memoire
solide locale.

Le Centre operationnel

Le Centre operationnel se trouve à Arabba, il s'agit d'un ordinateur avec un group émetteur-récepteur UHF .

Le microprocesseur doit :

- contrôler l'état d'efficacité de toute la structure;
- interroger le réseau ;
- activer de by-pass en cas de panne ;
- acquiesir les données périphériques ;
- mettre en memoire les données ;
- faire la diagnostique automatique ;
- reconnaître et contrôler l'alerte et passer du cycle normale d'interrogation on cycle d'alerte ;
- transmettre des informations operationnelles aux périphériques.

Les interrogations peuvent être les plus différentes : instantanées, données de la dernière heure, de 3 jours, ecc...; dans le cycle normale les données sont emmagasinées dans la library en cas d'alerte il y a le modèle mathématique de simulation qui fait la prévision en temp réel des crues.

Conclusions

Le réseau sera complet en 1986, après on commencera à l'intégrer avec le réseau des stations automatiques du service neige et avalanches.

Les objectifs principaux pendant les premières années d'opération sont :

- la meilleure connaissance des phénomènes hydrologiques;
- la création d'un staff expérimenté à différents niveaux: entretien, utilisation des données, software.

Le progrès suivant sera le système intégré radar-satellite-réseau, au fin d'avoir la prévision quantitative des pluies et des neiges et appliquer le pre-real time forecast.

On va même consolider les rapports entre le Centre Expérimental et les organismes de protection civile qui devront être nos principaux usagers.

M E T O D O L O G I A I N T E G R A D A P A R A
L A D E T E R M I N A C I O N D E L O S
S E D I M E N T O S A P O R T A D O S
P O R U N A C U E N C A

por

Dr. Filiberto López Cadenas de Llano
Catedrático de la E.T.S.I.M. Universidad Politécnica de Madrid

Dr. Juan A. Mintegui Aguirre
Profesor titular de la Universidad Politécnica de Madrid

Dr. Antonio Pérez-Soba Baró
Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

El presente texto tiene como objetivo el ofrecer una metodología que conjugue armónicamente el empleo de la U.S.L.E. (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), con la M.U.S.L.E. (Ecuación Modificada de la anterior), con modelos de escorrentia (hidrograma triangular, subrutina del HYMO) y de transporte de materiales (WILLIAMS), con el fin de calcular, por un lado, la erosión que se produce en las diferentes zonas de la cuenca y por otro, la emisión de sedimentos hasta la sección de salida de la cuenca.

Esta metodología queda resumida en el esquema que se adjunta.

SUMMARY

A method is presented which harmonically combines the use of U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) and M.U.S.L.E. (Modified U.S.L.E.) with surface run-off (triangular hydrogram, HYMO subroutine) and material transport (WILLIAMS) models. The aim is to calculate, on the one hand, the extent of erosion in different parts of the basin and, on the other, sediment production as far as basin exit.

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag wird eine Methode präsentiert, welche die Anwendung der U.S.L.E. (Universalgleichung für Bodenverlust) mit der M.U.S.L.E. (Modifikation der vorigen Gleichung) harmonisch verbindet, mit Modellen für Abfluß (Dreiecksganglinie, Unterprogramm HYMO) und Materialtransport (WILLIAMS) mit dem Resultat der Erosion in den verschiedenen Zonen des Einzugsgebietes einerseits, sowie dem Feststofftransport bis zum Ausgang des Einzugsgebietes andererseits.

Diese Methode wird in einem angeschlossenen Diagramm schematisch dargestellt.

METODOLOGIA INTEGRADA PARA LA DETERMINACION DE LOS SEDIMENTOS APORTADOS
POR UNA CUENCA

Dr. Filiberto López Cadenas de LLano
Catedrático de la E.T.S.I.M. Universidad Politécnica de Madrid.

Dr. Juan A. Mintegui Aguirre
Profesor titular de la U.P. Madrid

Dr. Antonio Perez-Soba Baró
Profesor de la U.P. Madrid

El esquema general que se adopta es el siguiente:

Erosión en la cuenca de recepción:

- Determinación de los parámetros que intervienen en la U.S.L.E., que van a ser utilizadas en la metodología seguida.
- Consideraciones generales del estudio de la erosión en la cuenca de recepción.

Emisión de los sedimentos producidos por un aguacero en las unidades hidrológicas de la cuenca. Modelo M.U.S.L.E.

- Determinación de la esconrrentía directa en función del Número Hidrológico (Método establecido por el U.S.D.A. Soil Conservation Service)
- Cálculo de los caudales punta q_p
- Función de desplazamiento de los sedimentos emitidos por las unidades hidrológicas, mediante la aplicación del modelo Williams.
- Cálculc de los tiempos de conducción.

EROSION EN LA CUENCA DE RECEPCION

Los tipos de erosión hídrica más comunes en una cuenca hidrográfica, suelen ser la erosión laminar, y la erosión en regueros, también llamada en surcos.

Para abordar su estudio se supone, en principio, que la cuenca de recepción, tiene gran extensión y existe diversidad en todos los parámetros que de finen el fenómeno de la erosión hídrica.

En estos supuestos, para calcular los sedimentos procedentes de la erosión laminar y en regueros que alcanzan una determinada sección de control, o que fluyen a un determinado embalse, a través de la red de drenaje, se considera conveniente establecer la siguiente secuencia:

Dividir la cuenca hidrográfica objeto del estudio en subcuencas, de aproximadamente 2.500 ha. en razón de la homogeneidad de las características que definen la erosión en las mismas.

Determinar por subcuentas los factores que intervienen en la Ecuación Universal de Predicción de la Erosión (U.S.L.E.).

Calcular las pérdidas de suelo totales en las subcuencas por aplicación del modelo U.S.L.E., como referencia al valor promedio interanual de pérdidas de suelo; calcular para las secuencias de aguaceros elegidos los sedimentos emitidos por tales subcuentas mediante la M.U.S.L.E. y finalmente la evacuación total de los sedimentos para la cuenca completa que se analiza, mediante las ecuaciones de conducción de Williams.

Determinación de los parámetros que intervienen en la U.S.L.E. y que van a ser utilizados en la "Metodología" seguida

A continuación se indican los criterios a seguir para la determinación de los siguientes parámetros:

Factor lluvia o índice de erosión pluvia: R

Factor de erosionabilidad del suelo: K

Factor topográfico: L.S.

Factor cultivos o/y factor vegetación: C

Factor prácticas de conservación suelos: P

Factor lluvia: R

Se determina en España en base al plano de isolíneas del factor R definido para la vertiente mediterránea y completado con la aplicación de la ecuación de regresión:

$$R = 2,375(PD^2) + 0,513(PMEX) - 94,4 - 81Z_1 + 37Z_3 + 89Z_4$$

obtenida asimismo en el citado estudio para el cálculo de dicho factor, aplicado a los datos de los observatorios seleccionados en cada subcuenca.

Donde:

PD_2 es la precipitación máxima diaria con un período de retorno de dos años y
 $PMEX$, el valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año.

Las restantes variables representan factores de zonificación, y su valor es la unidad en la zona de cálculo de la R y nulo en las restantes áreas.

En general el valor de R viene dado por:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (210,2 + 89 \log_{10} I_j) (T_j I_j) I_{30}}{100}$$

R = índice de erosión fluvial en $J \cdot m^{-2} \cdot cm \cdot hora^{-1}$

T_j = período de tiempo (horas) para intervalos de la tormenta homogéneas

I_{30} = máx. intensidad de la lluvia en 30 minutos para el aguacero.

J = intervalo homogéneo de la tormenta

n = nº de intervalo de la tormenta

Factor de erosionalidad del suelo: K

$$100 K = 10^{-4} \cdot 2'71 M^{1'14} \cdot (12-a) + 4'20 (b-2) + 3'23 (c-3)$$

Donde:

M. es el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 - 0,1 mm. de diámetro, expresado en %, por el porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 - 0,2 mm. de diámetro, expresado igualmente en %, o lo que es igual a 100 - % de arcilla de la muestra.

a. el %, de materia orgánica.

b. el número correspondiente a la estructura del suelo clasificada de la manera siguiente:

1. Gránulo muy fino y grumo muy fino (1 mm.)
2. Gránulo fino y grumo fino (1 - 2 mm)
3. Gránulo medio, grumo medio (2 - 5 mm) y gránulo grueso: (5-10 mm).
4. Gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso.

Los valores para el % (limo arena muy fina), % de arena (0,1 - 0,2 mm), % de materia orgánica y estructura, se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico.

c. Clase de permeabilidad del perfil del suelo, según la codificación de U.S.D.A. - Soil Survey Manual, que diferencia los grados siguientes:

1. Rápida o muy rápida.
2. Moderadamente rápida.
3. Moderada.
4. Moderadamente lenta.
5. Lenta.
6. Muy lenta.

En una primera aproximación del valor K, puede prescindirse de los términos en que aparecen los factores b y c.

En cuanto a su aplicación, se clasifica el territorio en base a una división previa por grupos litológicos - geológicos y se toma en cada una de estas divisiones un número conveniente de muestras, con objeto de determinar el valor de K en las mismas.

El mapa temático de trabajo adecuado es el geológico escala 1:50.000.

En cuanto a los valores a determinar en las muestras de suelo, resultan imprescindible el análisis granulométrico para la determinación del factor M y el contenido en materia orgánica para definir el valor de a, ambos en la ecuación dada para el cálculo de K.

Factor topográfico: L.S

(L: factor longitud de pendiente; S factor pendiente o factor gradiente).

Es sin duda el parámetro más difícil de evaluar y representa un término clave en la U.S.L.E. entre otras por las siguientes razones:

Existe una interrelación entre el clima y el relieve de la cuenca.

El relieve de la cuenca está ligado por razones de causalidad con el drenaje de la misma.

El factor L.S representa una función de punto de la estabilidad de los materiales en el relieve de la cuenca.

Aún cuando existan diversos métodos de cálculo del factor topográfico, a

continuación expondremos el procedimiento más usual, el cual implica las tres fases siguientes:

En una primera etapa se efectúa el cálculo del factor L . S en varias zonas tipo, por integración los valores puntuales obtenidos en los vértices de una malla rectangular, mediante la medición directa en los mismos de los parámetros λ y s ; operando sobre una cartografía a escala 1: 10,000, pudiendo ser esta más detallada y con apoyo de fotografía aérea.

Estos datos que presentan una gran precisión, pero resultan muy laboriosas de extender a cuencas de una superficie mediana (500 has.), se confrontan mediante un análisis regresión con los valores del factor L . S obtenidos en las mismas zonas por aplicación de método de la "densidad de drenaje" y el de "pendiente media" de HORTON (WILLIAMS y BERNDT - 1976) sobre cartografía a escala 1: 50.000.

Finalmente se extiende la aplicación de este segundo método a la totalidad de los territorios homogéneos de las distintas subcuencas, ajustando los valores así obtenidos mediante las correspondientes ecuaciones de regresión obtenidas de acuerdo a lo dicho en el apartado anterior.

Se han mencionado los métodos de "densidad de drenaje" y de "pendiente media" por lo que a continuación se comentan brevemente:

La longitud de ladera, en una primera aproximación, puede considerarse que cumple con la condición expresada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = 0,5 \text{ DA/LCH}$$

Donde:

DA, es el área de la cuenca y
LCH, el total de la longitud de cursos que drenan la cuenca.

En cuanto a la pendiente media de la cuenca para su aplicación en el factor topográfico L . S., viene medido por:

$$s_i = H(LC_j + LC_{j+1}) / 2 DA_i \cdot 100$$

Donde:

s_i El porcentaje medio de la pendiente para el área i entre los contornos j y $(j+1)$
H La diferencia de elevación entre contornos
 LC_j La longitud del contorno j .
 DA_i El área entre los contornos j y $(j+1)$.

La pendiente media de la cuenca será por tanto:

$$s = s_i \cdot DA_i / DA$$

siendo DA el área total de la cuenca.

En consecuencia, una vez conocidos λ y s , la obtención del factor topográfico es inmediata, basta sustituirlos en las ecuaciones, relativas al factor topográfico, siguientes:

$$L . S = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{0,43 + 0,30 s + 0,043 s^2}{6,613} \right]$$

Para pendientes menores de 9% y longitudes de declive hasta el orden de

350 mm. Tratándose de pendientes elevadas (9%) y para cualquier longitud de declive, la ecuación a aplicar es:

$$L \cdot S = \left[\frac{1}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{s}{9} \right]^{1,3}$$

Factor cultivo y/o factor vegetación: C

En lo que se refiere a los valores que puede tomar el factor C de acuerdo con el tipo de cubierta vegetal que sustenta el suelo, y teniendo en cuenta la distribución del factor R a lo largo del año pueden establecerse con carácter general, y como primera aproximación, los siguientes valores de C para cada una de las cubiertas vegetales siguientes:

<u>Cubierta vegetal</u>	<u>Valor de C</u>
Arbolado forestal denso	0,01
Arbolado forestal claro	0,03
Matorral con buena cobertura	0,08
Matorral ralo y eriales	0,20
Cultivos arbóreos y viñedos	0,40
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04

En cuanto a su aplicación en el área de una cuenca debe tomarse como base mapas de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000, en los que se realizarán las oportunas agrupaciones en función de la similitud en los efectos defensivos de las cubiertas vegetales que en dichos mapas aparecen, y las comprobaciones de campo necesarias.

Cuando se requiere conocer la situación en una zona concreta para un periodo de tiempo amplio, se pueden utilizar vuelos fotográficos de la zona en diferentes fechas y analizar las variaciones del uso del suelo que han tenido lugar a lo largo del tiempo (repoblaciones, abandonos de cultivo, roturaciones,... etc.).

Si lo que se quiere es calcular el factor C para un determinado uso del suelo, que presenta una gran importancia en la cuenca, prescindiendo de la tabla aproximativa anteriormente dada, debe obtenerse información local sobre las épocas de las distintas labores de cultivo y de la distribución mensual del factor R, calculándose seguidamente el factor C para el conjunto del año. Si no se trata de cultivos, si no de cubiertas permanentes debe conocerse como evolucionan estas a lo largo del año, operando por lo demás igual que en el caso anterior.

Factor prácticas de conservación de suelos: P

Se señalarán en el mapa que representa la cuenca en estudio, cualquiera que sea su escala, pero siempre deberá ser superior a 1:50.000, las prácticas de conservación de suelos que se observen por fotointerpretación, o que se conozcan por croquisado directo en el campo. Posteriormente se asignará a las zonas así delimitadas los valores de P correspondientes, según la tabla establecida al efecto en la metodología general de la U.S.L.E., que se recoge a continuación.

% pendientes	cultivo a nivel	cultivo en fajas	cultivo en terrazas	
			a	b
2 - 7	0,50	0,25	0,10	0,05
8 - 12	0,60	0,30	0,12	0,05
13 - 18	0,80	0,40	0,16	0,05
19 - 24	0,90	0,45	0,18	0,06

correspondiendo en el cultivo en terrazas al apartado (a) a las terrazas de desagüe con canal encespado y el (b) a las terrazas de infiltración.

Consideraciones generales del estudio de la erosión tipo B en la cuenca de recepción.

Se consideran dos casos:

- Que la cuenca que se analiza sea uniforme en todos sus puntos en relación con los parámetros que intervienen en la U.S.L.E. Esta circunstancia es más frecuente que se produzca en cuencas de poca superficie, pero también puede darse en cuencas de gran extensión. En este caso se trata de definir para dicha cuenca los parámetros R, K, L, S, C, y P, que servirán para el conjunto de la misma y determinar las pérdidas de suelo que se producen mediante la expresión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{t/ha. año})$$

O bien

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \cdot F \quad (\text{t/año})$$

siendo F la superficie de la cuenca en ha.

- Que la cuenca que se estudia sea heterogénea, lo que resulta más usual en cuencas de gran superficie, siendo entonces conveniente realizar una división en subcuencas homogéneas, operándose en cada una de ellas como en el caso anterior. Para el cálculo de las pérdidas en toda la cuenca global se suman los resultados parciales de cada subcuenca. Es decir para la subcuenca i

$$T_i = R_i K_i (L \cdot S)_i C_i P_i F_i \quad (\text{t/año})$$

Siendo estos factores los específicos de dicha subcuenca. Y para toda la cuenca:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n R_i K_i (L \cdot S)_i C_i P_i F_i \quad (\text{t/año})$$

la R_i , al tener carácter regional, puede considerarse la misma para todas las subcuencas:

$$T = R \sum_{i=1}^n K_i (L \cdot S)_i C_i P_i F_i$$

EMISION DE LOS SEDIMENTOS PRODUCIDOS POR UN AGUACERO EN LAS
UNIDADES HIDROLOGICAS DE LA CUENCA MODELO M.U.S.L.E.

Se utiliza la ecuación establecida por WILLIAMS y BERNDT (1977) para determinar las toneladas de tierra, sedimentos, que sale fuera de la cuenca Y. Dicha ecuación, que también se conoce como M.U.S.L.E. (Ecuación Universal de Predicción de la Erosión Modificada) tiene por expresión Universal

$$Y = 11,8 (Q qp)^{0,56} K . L . S . C . P \quad (t)$$

Donde cada uno de los términos que aparecen en esta ecuación ya han sido definidos en el apartado anterior, a excepción de los dos primeros que representan respectivamente lo siguiente:

Q, el volumen de la escorrentía directa en m³
qp, el caudal instantáneo máximo en m³ s⁻¹

Determinación de la escorrentía directa en función
del Número Hidrológico (Método establecido por el
U.S.D.A. Soil Conservation Service)

El complejo hidrológico suelo-vegetación juega un papel importante en el cálculo del escurrimiento directo de una cuenca.

El Soil Conservation Service U.S.D.A. distingue al efecto cuatro grandes grupos hidrológicos de suelos clasificados de la siguiente manera:

- Grupo A.- Suelo con el potencial de escurrimiento mínimo. Incluye a las arenas profundas con poco limo y arcilla, así como también a los loess muy permeables.
- Grupo B.- Suelos en su mayor parte arenosos, menos profundos que los del grupo A, y loess menos profundos y menos compactos que los del grupo A.
- Grupo C.- Suelos poco profundos y los que contienen mucha arcilla y coloides, aunque menos que los del grupo D.
- Grupo D.- Potencial de escurrimiento máximo. Se incluyen en el mismo la mayor parte de las arcillas que más aumentan de volumen al mojarse. También incluye algunos de los suelos pocos profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

La clasificación de los suelos en los grupos hidrológicos puede hacerse de la siguiente manera:

A partir de los planos de vegetación (usos del suelo) y de las condiciones del suelo para la infiltración que representan las cubiertas vegetales.

Una vez conocidos ambos datos se seleccionan los Números Hidrológicos, según los criterios establecidos en la Tabla I que se expone a continuación en la que se han utilizado las siguientes abreviaturas.

SR= Hileras rectas
C= Por líneas de nivel
T= Terrazas
C y T= Terrazas a nivel

En la Tabla I, se combinan los grupos de suelos, con el uso de los mismos, las clases de tratamiento o explotación y las condiciones hidrológicas de infiltración, para formar complejos hidrológicos suelo-vegetación definidos por un Nú

T A B L A I

Número de las Curvas de escorrentía para complejos hidroclógicos - de tierras.- Para cuencas de condición II

c Ia = 0.25

Uso del suelo y cubierta	Tratamiento método	Condición para la infiltración	Grupo hidroclógico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho Cultivos enhilera	SR	.....	77	86	91	94
	SR	Mala	72	81	88	91
	SR	Buena	67	74	85	89
	C	Mala	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
Gramíneas	C & T	Mala	66	74	80	82
	C & T	Buena	62	71	78	81
	SR	Mala	65	76	84	88
	SR	Buena	63	75	83	87
	C	Mala	63	74	82	85
Legumbres tupidas o rotación de pradera	C	Buena	61	73	81	84
	C & T	Mala	61	72	79	82
	C & T	Buena	59	70	78	81
	SR	Mala	66	77	85	89
	SR	Buena	58	72	81	85
Pradera pastizal	C	Mala	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C & T	Mala	63	73	80	83
	C & T	Buena	51	67	76	80
	....	Mala	68	79	86	89
Pradera (permanente) Bosques (lotos de bosque)	....	Regular ...	49	69	79	84
	C	Buena	39	61	74	80
	C	Mala	47	67	81	88
	C	Regular ...	25	59	75	83
	C	Buena	6	35	70	79
Cauce de los ríos chicos (alquerías) Caminos fangosos Superficie dura	....	.....do....	30	58	71	78
	....	Mala	45	66	77	83
	....	Regular ...	36	60	73	79
	....	Buena	25	55	70	77
	....	.....do....	59	74	82	86
Sembredos juntos o a voleo	....	.....do....	72	82	87	89
	....	.....do....	74	84	90	92

T A B L A II

Conversión del Número de Curva de la Condición II a las Condiciones I y II, para el caso de Ia = 0.25

1 Número de la curva para la condición II	2 Número correspondiente de la curva para la condición I	3 Valores Si ^o para la condición III	4 Valores Si ^o para la condición I	5 La curva comienza donde p = 1 ^o
100	100	100	0	0
95	87	99	526	.10
90	78	98	1.11	.22
85	70	97	1.76	.35
80	63	94	2.50	.50
75	57	91	3.33	.67
70	51	87	4.29	.86
65	45	83	5.38	1.08
60	40	79	6.67	1.33
55	35	75	8.18	1.64
50	31	70	10.00	2.00
45	27	65	12.2	2.44
40	23	60	15.0	3.00
35	19	55	18.6	3.72
30	15	50	23.3	4.66
25	12	45	30.0	6.00
20	9	39	40.0	8.00
15	7	33	56.7	11.34
10	4	26	90.0	18.00
5	2	17	190.0	36.00
0	0	0	Infinito	Infinito

(U.S. Soil Conservation Service)

1° Para el número de la curva en la Col. 1.

1 Sembredos juntos o a voleo

mero. Estos números muestran el valor relativo de los complejos como productores directos de escurrimiento. Cuanto mayor es el número, mayor es el volúmen de escurrimiento directo que puede esperarse del aguacero.

Para la determinación del número hidrológico correspondiente a una cuenca, se evalúan en la misma sus características suelo-vegetación de acuerdo con la Tabla I.

En las distintas áreas homogéneas (suelo-vegetación) de la cuenca se aplica el Número Hidrológico correspondiente.

El resultado final se obtienen como una media ponderada: $N = \sum N_i S_i / S$ (Donde S_i es la superficie de la cuenca afectada por un Número hidrológico N_i , y S la superficie total de la cuenca).

De cualquier modo no conviene asignar un Número Hidrológico de una forma única y directa a cuencas heterogéneas y de gran superficie, sino que conviene ir calculando parcialmente en subcuencas más o menos homogéneas y de menor área; ya que, de esta forma se podrá conocer mucho mejor la escorrentía global de la cuenca, como sumatorio de las aportaciones de los drenajes calculados en cada una de las subcuencas, al tiempo que se tiene un mejor conocimiento de cómo influye cada una de éstas en la escorrentía total.

Una vez conocido el Número Hidrológico N , el cálculo de la escorrentía se efectúa por medio de la expresión:

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

Donde:

- Q , el escurrimiento directo en mm.
- P , la precipitación del aguacero (o la precipitación de cálculo, según los casos) en mm.
- S , la diferencia potencial máxima entre P y Q , en mm. a la hora del comienzo del aguacero, definida, en función del número hidrológico N , por la ecuación:

$$S = \frac{25.400}{N} - 254$$

utilizando como unidades: mm.

Estos valores así obtenidos responden a unas condiciones iniciales de humedad del suelo normales y unas intensidades de infiltración medias en el mismo (tipo II). Si las intensidades de infiltración son superiores al valor medio, o por el contrario son inferiores, los valores del Número Hidrológico deben ser corregidos de acuerdo con la Tabla II. que se adjunta. En el primer caso, estamos ante la Condición I, en los Números Hidrológicos son inferiores, mientras que en el segundo caso nos encontramos ante la Condición III, donde son superiores, estando definidas estas condiciones como siguen:

- Condición I. Cuando los suelos están secos sin llegar al punto de perder la cohesión, o sea, cuando pueden ararse y cultivarse en buenas condiciones.
- Condición II. Condiciones medias existentes antes de que se produzca la máxima avenida anual en la mayor parte de las cuencas.
- Condición III. Cuando en los cinco días anteriores a la tormenta dada, se han producido fuertes lluvias o lluvias ligeras con bajas temperaturas y el suelo está casi saturado.

Calculo de los caudales punta

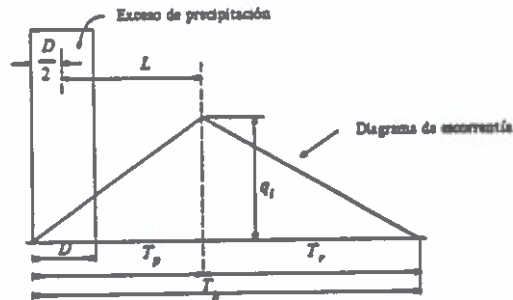
Se calcula el caudal punta, q_p , en las mismas secciones en que anteriormente se ha definido el valor de Q . Ello requiere del cálculo de los hidrogramas de flujo en esas secciones.

Para determinar los hidrogramas de las subcuencas, para un aguacero aislado, o para lluvias diarias tipo, de distintas recurrencias, que cubran la gama de valores de la serie histórica, pueden utilizarse bien el hidrograma unitario instantáneo del modelo HYMO, o bien el hidrograma triangular del U.S.D.A. Soil Conservation Service, que es el que por mayor simplicidad después se utiliza.

Una vez conocidos los hidrogramas de cada subcuenca, o de la cuenca completa, en las secciones que corresponden, la determinación del caudal punta q_p es inmediata.

El hidrograma triangular

Por la comodidad de su manejo, puede utilizarse este tipo de hidrograma definido por el U.S.D.A. -Soil Conservation Service, para cuencas de pequeñas dimensiones. Los parámetros fundamentales de este hidrograma triangular son los siguientes:



Ecuaciones:

$$Q = \frac{q_i (T_p + T_r)}{2} ; \quad q_i = \frac{2 Q}{(T_p + T_r)}$$

Donde:

- Q , escorrentía total en mm.
 - q_i , régimen máximo, en mm. por hora
 - T_p , tiempo en horas desde el comienzo de la subida hasta el régimen máximo (tiempo de punta)
 - T_r , tiempo en horas desde el régimen máximo hasta el final del triángulo.
- $T_r = H T_p$, donde H es una constante que se ha de determinar para cada cuenca particular.

Tratando de calcular el caudal punta (caudal máximo) q_p que se necesita para aplicar en la ecuación del transporte de los sedimentos, podemos tomar las siguientes aproximaciones:

$$T_p = \frac{D}{2} + 0,6 T_c$$

Donde:

- D, exceso de precipitación, en horas
- T_c , es el tiempo de concentración en horas.

Calculándose el tiempo de concentración mediante fórmulas empíricas tales como:

$$T_c = \left(\frac{0,87 L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

- L, longitud (en Km) del cauce principal (el más largo) hasta la sección considerada en el estudio.
- H, diferencia de elevación (en m.) del punto hidrológicamente más alejado de la cuenca, hasta la sección considerada en el estudio.

Entonces el caudal punta q_p vendrá dado por:

$$q_p = q_i A = \frac{2 Q}{T_B} \cdot A$$

Tomando $T_B = 2,67 T_p$

Si viene Q viene dado en mm. y A en Km^2 de cuenca.

$$q_p = 0,208 \frac{Q \cdot A}{T_p} (m^3/s)$$

Con lo que el caudal punta queda determinado.

Función de desplazamiento de los sedimentos emitidos por las unidades hidrológicas mediante la aplicación del modelo WILLIAMS.

Una vez determinados los parámetros Q y q_p y calculados los valores Y de los sedimentos emitidos en un aguacero por las subcuencas o unidades hidrológicas, se procede a establecer el valor RY que representa la emisión de sedimentos de la cuenca total en el mismo evento.

Para ello WILLIAMS ha desarrollado una función de desplazamiento para predecir la sedimentación en función de cada distribución de los factores K, L, S, C y P en la cuenca, así como para cada variación hidráulica de los cauces tributarios.

Esta función está basada en el supuesto de que la deposición de los sedimentos depende de las velocidades de decantación de las partículas del sedimento, tiempo del desplazamiento y la cantidad de sedimentos en suspensión. Para flujos turbulentos, la velocidad de decantación es proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de las partículas (EINSTEIN, 1964). Estos supuestos pueden expresarse por la ecuación.

$$\frac{dy}{dt} = -By \sqrt{D}$$

Donde:

Y, los sedimentos en una sección determinada del cauce.

t, tiempo

B, coeficiente de conducción

D, diámetro de las partículas

Integrando la última ecuación resulta:

$$Y = Y_0 e^{-BT \sqrt{D}}$$

Donde:

Y₀, sedimentos en la sección superior

T, tiempo de circulación entre las dos secciones

Entonces, si se considera una cuenca de gran superficie A, formada por la integración de i subcuencas de superficie cada una de ellas A_i, homogéneas en cuanto a los parámetros de la U.S.L.E. que definen a las mismas, la suma global de las contribuciones de estas subcuencas en la determinación de los sedimentos totales desplazados hasta la salida de la cuenca A puede expresarse por la ecuación.

$$RY = \sum_{i=1}^n Y_i e^{-BY_i \sqrt{D_{50i}}}$$

Donde:

RY, sedimentos de la cuenta total en t

Y_i, sedimento de la subcuenta i en t, determinados con suficiente aproximación por la ecuación M.U.S.L.E de WILLIAMS y BERNDT:

$$Y_i = 11,8(Q_i \cdot q_{p1})^{0,56} \cdot K_i \cdot L_i \cdot S_i \cdot C_i \cdot P_i$$

B, coeficiente de conducción

T_i, tiempo de circulación del agua desde la subcuenta i hasta la salida de la cuenca en horas, que puede ser calculado por un modelo hidráulico, o fórmulas paramétricas aproximadas.

D_{50i}, Tamaño medio del diámetro de las partículas de la subcuenta i, en mm. Concretamente representa el tamaño correspondiente al 50% de los materiales representados en la curva granulométrica, que como se sabe es acumulativa. Este valor puede ser analizado directamente por muestras tomadas en el campo.

n, el número de subcuencas.

En consecuencia solo son desconocidos en la ecuación anterior, el valor de la sedimentación total RY y el coeficiente de conducción B.

Cálculo del coeficiente B de conducción

Se establecen las siguientes hipótesis para la determinación del coeficiente B, para un aguacero concreto y para una cuenca determinada a la que se supone una distribución uniforme de los factores: K, L, S, C, P y D₅₀.

Se establece que para la cuenca total, la Y calculada por la ecuación:

$$Y = 11,8 (Q q_p)^{0,56} \text{ K.L.S.C.P.}$$

será igual a RY determinada por la ecuación anterior, como suma de las aportaciones de las subcuencas

$$RY = \sum_{i=1}^n Y_i e^{-BT_i \sqrt{D_{50i}}}$$

Luego en definitiva queda:

$$11,8(Q q_p)^{0,56} \cdot \text{K.L.S.C.P} = 11,8 \sum_{i=1}^n (Q_i q_{pi})^{0,56} \cdot K_i \cdot L_i \cdot S_i \cdot C_i \cdot P_i e^{-BT_i \sqrt{D_{50i}}} \quad i=1$$

- Admitiendo la hipótesis de trabajo de que K, L, S, C y P son iguales para todas las subcuencas, y por tanto en la cuenta total se puede simplificar la igualdad anterior, quedando de la forma:

$$(Q q_p)^{0,56} = \sum_{i=1}^n (Q_i q_{pi})^{0,56} e^{-BT_i \sqrt{D_{50m}}}$$

Donde D_{50m} , es el mínimo valor de los D_{50} de las distintas subcuencas y que suele valer alrededor de 0,001 mm.

Esta última ecuación representa una expresión de volúmenes y picos de escorrentia, tiempos de concentración y dos constantes D_{50m} y B, y permite calcular este último parámetro por iteraciones sucesivas.

Una vez determinado el valor de B, para la cuenca y el aguacero concretos, los sedimentos totales emitidos se calculan por la ecuación:

$$RY = \sum_{i=1}^n Y_i e^{-BT_i \sqrt{D_{50i}}}$$

usando los valores de K, L, S, C, P y D_{50} particulares en cada subcuenca.

Algunas consideraciones sobre el cálculo del coeficiente de conducción B y su aplicación en la "Metodología" propuesta

Hemos visto que se utiliza un valor constante de D_{50m} para determinar el coeficiente de conducción B en todas las subcuencas que integran la cuenca general, ya que B es una función que depende fundamentalmente de las características hidráulicas de la cuenca. Así, dos cuencas que sean hidráulicamente semejantes deben tener valores de B similares.

El empleo de D_{50m} responde a la necesidad de asegurarse la emisión real de los sedimentos en toda la escala de valores de D_{50} . El valor B se establece para distintos valores de Q, suficientemente espaciados para obtener una curva que relacione Q y B, que permita en todas las hipótesis de flujo disponer de valor adecuado de B.

Como se ha visto, para el cálculo de B hace falta conocer los tiempos T_1 de conducción desde cada una de las unidades hidrológicas hasta la salida de la cuenca, a continuación se expone una metodología para este cálculo.

Cálculo de los tiempos de conducción

Puede hacerse este cálculo basándose en otra de las aplicaciones del modelo HYMO, la utilizada para el análisis de la conducción del hidrograma a través de un tramo del cauce, contenida en una de las subrutinas del mismo.

Para ello se sigue el procedimiento que se expone de forma esquemática a continuación:

Supuesta una sección de salida del caudal de una subcuenca A_1 , y definido su hidrograma correspondiente.

Se trata de conducir este hidrograma hasta una nueva sección de salida de otra subcuenca A_2 que engloba $A_2 > A_1$.

La conducción del hidrograma se realizará a través del curso principal que es el mismo en ambas cuencas.

Para ello, deben conocerse varias secciones del cauce en el tramo señalado; éstas se definen, como es habitual en informática, por medio de unas coordenadas (x, y); x= distancia del origen de coordenadas al punto en cuestión, y= cota a partir del eje de las abscisas hasta la ordenada correspondiente al punto considerado.

En cada sección se definen dos áreas de evacuación, la primera de ellas correspondiente al canal de desagüe, y la segunda define el valle de inundación.

En este análisis, con ánimo de simplificar la exposición, se definen únicamente las secciones extremas de las subcuencas A_1 y A_2 . También es preciso conocer el número "n" de la fórmula de MANNING ($J = \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}$) y la pendiente en el tramo en cuestión, así como en las secciones de evacuación de A_1 y A_2 .

Posteriormente se calculan los tiempos de recorrido, relacionando a estos con los caudales circulantes según las siguientes expresiones analíticas:

$$O_2 = C_2 \left[I_a \left(\frac{1}{C_1} - 1 \right) O_1 \right]$$

Donde:

- O_2 , es el caudal medio efluyente de la sección de salida de la cuenca A_2
- O_1 , el caudal medio efluyente de la sección de salida de la cuenca A_1
- I_a , el promedio de los caudales entrantes en las secciones 1 y 2 antes indicadas.
- C , coeficiente de almacenamiento que depende do, según las relaciones siguientes:

$$C_2 = \frac{2 \Delta t}{2T_2 + \Delta t} ; C_1 = \frac{2 \Delta t}{2T_1 + \Delta t}$$

Los valores de T_1 y T_2 vienen dados por:

$$T_1 = \left(\frac{L}{1800 (V_1 + V_{O1})} \right) \cdot \left(\frac{L \cdot SLP_0}{L \cdot SLP_0 + D_{I1} - D_{O1}} \right)^{1/2}$$

$$T_2 = \left(\frac{L}{1800 (V_{12} + V_{02})} \right) \cdot \left(\frac{L \cdot SLP_0}{L \cdot SLP_0 + D_{12} - D_{02}} \right)^{1/2}$$

Donde:

- T, es el tiempo de recorrido del tramo
 L, la longitud del tramo
 V, la velocidad del flujo
 SLP₀, la pendiente media del tramo (considerada uniforme)
 D, la pendiente en la sección considerada.

- Se sigue un procedimiento iterativo, variando los t, hasta determinar con suficiente aproximación el valor de O₂, que es el caudal medio que pasará por la sección 2, correspondiente al caudal O₁ que ha atravesado la sección 1. El programa está definido de tal forma, que puede precisar los caudales h₂ y h₁ para las secciones 1 y 2 correspondientes. Con ello lo que se consigue es modificar el hidrograma de la sección 1, para la sección 2, ya que aún tratándose del mismo caudal, el tiempo de recurrencia es distinto.
- Sin embargo, esto no es suficiente para calcular definitivamente el hidrograma correspondiente a la sección 2, ni tampoco el caudal total que pasa por dicha sección, O₂, ni su caudal punta q_{p2}. Para determinar estos valores, hay que sumar el caudal O₂ correspondiente a la modificación del hidrograma de la sección 1, el caudal recogido en la superficie (S₂-S₁) donde S₂ es el área de la subcuenca A₂ y S₁, el área de la subcuenca A₁, efectuándose un nuevo hidrograma, para el volumen de agua recogido en esta superficie, que posteriormente se sumará al hidrograma conducido en el tramo 1 - 2.

De esta forma se pueden definir a la salida de las distintas subcuencas en las que se ha dividido la cuenca, el caudal que circula por ellas y su caudal punta.

Se adjunta un gráfico de todo el proceso.

R E S U M E N

El presente texto tiene como objetivo el ofrecer una metodología que con jure armónicamente el empleo de la U.S.L.E. (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), con la M.U.S.L.E. (Ecuación Modificada de la anterior), con modelos de escorrentía (hidrograma triangular, subrutina del HYMO) y de transporte de materiales (WILLIAMS), con el fin de calcular, por un lado, la erosión que se produce en las diferentes zonas de la cuenca y por otro, la emisión de sedimentos hasta la sección de salida de la cuenca.

Esta metodología queda resumida en el esquema que se adjunta.

B I B L I O G R A F I A

- BUREAU OF RECLAMATION (1970).- Proyecto de presas pequeñas (Design of small dams), 601 pags., Editorial Dossat. Madrid.
- DIRECCION GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE - M.O.P.U. (1983) Análisis de los modelos matemáticos para la determinación de la erosión hídrica.- Metodología para su aplicación en áreas con esa problemática en España, 236 pags., Fundación "Conde del Valle de Salazar" Departamento de Hidráulica e Hidrología de la E.T.S.I. Montes.- Madrid (sin publicar).
- FOSTER G.R.; Mc COOLD D.K.; RENARD K.G. and MOLDENHAUER W.C. (1980).- Conversion of the universal soil loss equation to S.I. metric units pags. 355-359, Journal of Soil and Transaction of the A.S.A.E. Michigan.
- ICONA (1982).- Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de Metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. 67 págs. 9 mapas temáticos, Monografía 26, Servicio de Publicaciones del M.A.P.A. Madrid.
- KIRBY M.J. and MORGAN R.P.C. (1980).- "Soil erosión", 312 págs. John Wiley and Sons. New York.
- U.S.D. OF AGRICULTURE (1978) "Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning", 58 págs. Agriculture Hand book nº 537. Washington D.C.
- WILLIAMS J.R. and BERNDT H.D. (1976) Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds, págs. 217-225, Soil Conservation Society of America Iowa.
- WILLIAMS J.R. and BERNDT H.D. (1977) Sediment yield predictions based on watershed hydrology, págs. 1100-1104, Transaction of the A.S.A.E. Michigan.

F O R S C H U N G I N K L E I N E N M U S T E R - E I N Z U G S G E B I E T E N I N Ö S T E R R E I C H ; Z I E L E , M E T H O D E N U N D A U S G E W Ä H L T E E R G E B N I S S E

von G. Kronfellner-Kraus, Vienna/Austria

E I N L E I T U N G

Die Aufmerksamkeit der Forschung richtet sich heute aus mehreren Gründen auf kleine Einzugsgebiete. Flüsse sind meßtechnisch leichter zu beherrschen, sie stehen schon seit langem unter genauer Kontrolle und ihr Verhalten ist schon relativ sicher vorhersehbar. Auch kleinste (Hektare umfassende) Einzugsgebiete eignen sich relativ gut für hydrologische Analysen (solange sie gleichartige Verhältnisse aufweisen). Schwierig hingegen sind jedoch noch immer Voraussagen für kleine bis mittelgroße (mehrere Quadratkilometer umfassende) Gebirgs-Einzugsgebiete, weil diese in ihrem Verhalten so große, auch meßtechnisch schwer erfaßbare Schwankungen aufweisen.

Die zunehmende Besiedlung des Gebirgsraumes, aber auch die Tatsache, daß das hydrologische Verhalten kleiner Einzugsgebiete auch für genauere Voraussagen größerer (veränderter) Flußgebiete sehr bedeutsam ist, machten die Erforschung kleiner Einzugsgebiete zu einem vordringlichem Anliegen. Moderne Meßgeräte, Auswerte- und Rechenmethoden (Computer, Plotter etc.) erleichtern und beschleunigen diese Vorhaben. Sie stehen aber auch gleichzeitig in gegenseitiger Wechselbeziehung zueinander. Beide Systeme, Meßsystem und Modellsystem erfordern daher eine ständige Kontrolle, Korrektur und Anpassung.

Hydrologische Analysen können allerdings vielseitig sein. Die zahlreichen Teilsysteme und Probleme des Wasserkreislaufes in einem Einzugsgebiet lassen sich etwa wie folgt gliedern (Hermann, 1977):

Wasser-Boden-Pflanze: Kenntnisse dieses räumlich kleinsten Systems liefern das Verständnis für größere Einzugsgebiets-Systeme;

Wasser im Einzugsgebiet: Es bestehen vor allem Teilprobleme für Messung und Modelle hauptsächlich zur deterministischen oder stochastischen Vorhersage von (Einzel-) Ereignissen, und zwar bezüglich:

Eigenschaften des Einzugsgebietes (Form, Größe, Relief, Böden und Gesteine, Vegetation);

Oberflächenabfluß - Ganglinienanalyse
 Hang- und Grundwasser, Gesamtabfluß - Black Box Modelle
 (Unit hydrogr.), Konzeptmodelle;
 Wasserhaushaltsfragen für wasserwirtschaftliche und land-
 schaftsökologische Untersuchungen: Teilprobleme zuvor,
 jedoch mit ganzjähriger Betrachtung und Berücksichtigung
 der Verdunstung (Niederschlag = Abfluß + Verdunstung).
 Im Gebirge werden vor allem die hydrologischen Systeme kleiner
 Gebiete durch Eis, Schnee und Lawinen, sowie durch Erosion,
 Akkumulation und Sedimentation noch komplizierter.
 Wichtig erscheint es, bei Korrektur und Anpassung nicht
 nur den Zusammenhang zwischen den einzelnen Systemen eines Ge-
 bietes zu finden. Die gefundenen Ergebnisse sollen auch auf
 andere, verschieden gestaltete und verschieden große Gebiete
 übertragbar sein. Dazu sind auch übergeordnete Untersuchungen
 heranzuziehen, die z.T. zwangsläufig von verschiedenen
 Dienststellen durchgeführt werden. Dies erfordert wiederum
 eine enge (auch grenzenüberschreitende) Kooperation. Um diese
 zu fördern, seien im folgenden die speziellen Aufgaben des
 Fachinstitutes in Österreich dargestellt und dabei insbeson-
 dere aktuelle Meßprobleme ausführlicher behandelt.

AUFGABEN UND METHODEN

Zur Beschaffung der Grundlagen für die Abgrenzung von
 Gefahrenzonen und für die Projektierung von Verbauungen in
 Wildbächen ist das Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung
 der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien hauptsächlich mit
 folgenden Aufgaben befaßt.

1. Überprüfung der Methoden für die Berechnung und Voraussage
 der Hochwässer von relativ kleinen Wildbacheinzugsgebieten
 unter besonderer Berücksichtigung von
2. Erosion, Geschiebeführung und Feststofffrachten; sowie
3. Klärung von Spezialfragen, vor allem Überprüfung der Wir-
 kungen von (Vegetations-) Änderungen und von Maßnahmen wie
 von technischen oder biologischen Verbauungen und flächen-
 haften Sanierungen.

Diese Probleme werden vor allem in einigen speziell aus-
 gewählten und mit den nötigen Instrumenten ausgestatteten
 Mustereinzugsgebieten bearbeitet. Die Normalausstattung dieser
 Mustereinzugsgebiete besteht aus Niederschlags-, Abfluß- und
 Geschiebemeßstellen, um Hochwasserabläufe und Feststofftrans-
 porte genau zu erfassen. Die jeweils vorgegebenen Verhältnisse
 bezüglich Topographie, Geologie, Boden, Vegetation, Bewirt-
 schaftung und Verbaumaßnahmen werden vor allem in Karten
 dargestellt. Die verschiedenen Formen der Wildbacherosion und
 die Schutzwirkung verschiedener Pflanzendecken erfordern
 örtlich verschiedene, weitergehende Versuche und Messungen.
 Es sind dies beispielsweise künstliche Beregnungen mit Erosion-

Parzellen um die Auswirkungen von Veränderungen (z.B. Rodungen für Skipisten, ect.) besser beurteilen zu können; oder die Beobachtung und Messung der Schneedeckenentwicklung zur genauen Erfassung der Abflußanteile und Infiltration des Schneesmelzwassers (Rutschungen). In diesem Zusammenhang sind auch die forstlichen Untersuchungen zu erwähnen, die darauf abzielen, Schutz- und Hochlagenwälder nicht nur zu sanieren, sondern auch großflächig zu vermehren. Auch hierfür erfolgen umfangreich Kartierungen und (bodenkundliche) Laborarbeiten. Die folgende Tabelle gibt Aufschluß über die gegenwärtig in Bearbeitung stehenden:

Mustereinzugsgebiete mit Niederschlags- und Abflußmessungen in Österreich

Bachname	Land	Fluß- gebiet	Größe km ²	Wald- an- teil%	Höhenlage m.Ü.M.	Meßbe- ginn Jahr
Keerbach	N	Traisen	10,1		730-1766	73-77
-Gr.Göllerbach			2,2	83	820-1766	1978
Graschnitzbach	St	Mürz/Mur	17,8	89	583-1629	1971
Mödritschgr.	K	Drau	6,8	36	830-2655	1970
Gradenbach	K	Möll				
-Berchtoldbach			1,3		1500-2268	1975
-Weidenbachl			0,3		1165-1625	1978
Dürnbach	S	Salzach	9,0	30	840-2299	1969
-Oberlauf			4,3	2	1600-2299	1972
Schmittenbach	S	Zellersee	7,3	63	905-1964	1979
Grantenbach	K	Tauernbach	0,3	0	2330-2735	1978

Erläuterung: N = Niederösterr. St = Steiermark, K = Kärnten
S = Salzburg

(Mustereinzugsgebiete mit anderen Beobachtungs- oder Untersuchungsprogrammen scheinen hier nicht auf.)

Auftretende Hochwässer werden auf ihre Wiederholungswahrscheinlichkeit überprüft, was zur Festlegung hundertjähriger Ereignisse entsprechend lange Meßzeiten erfordert. Die Analysen der Hochwasserganglinien erlauben es jedoch schon jetzt, Hochwasserformeln und Modelle (Unit Hydrograph, Zeitflächen-, bzw. Laufzeitverfahren), sowie deren Parameter (Abflußanteile, Fließzeiten) auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen. Es zeigt sich, daß zwar zahlreiche Modellsysteme vorhanden, deren Parameter jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Diese erfordern noch zusätzliche Untersuchungen um ihre Übertragbarkeit zu gewährleisten. Derzeit werden insbesondere Infiltration und Speicherkapazität der Böden in Zusammenhang mit Berechnungsverfahren sowie Laufzeiten in verschiedenen Gerinnestrecken untersucht. Erosion und Geschiebefrachten werden vor allem durch Profilaufnahmen in Geschiebeablagerungsplätzen kontrolliert.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE UND TENDENZEN

Hangabfluß

Als Zwischenergebnis künstlicher Berechnungen (Oberflächenabfluß, Infiltration und Speicherkapazität) können für die Bewirtschaftung von Skipisten entsprechende Empfehlungen gegeben werden. Auf einigen Mähwiesen war z.B. die Infiltration weit größer als auf beweideten Rasenflächen. In allen anderen Fällen (Dürnbach, Gradenbach, Mödritschgraben) zeigten sich nicht nur große Unterschiede je nach Boden, und Vegetation, sondern vor allem auch je nach Gesteinsverhältnissen im Untergrund (Schaffhauser 1982, 1983). Dies und die nächstfolgenden besprochenen Ergebnisse zeigen die Schwierigkeiten, Abflußanteile (Oberflächen-, Oberflächennaher und Grundwasserabfluß) und Fließzeiten des Hangwassers für Einzugsgebiete zu bestimmen.

Wirkung des Waldes auf Rutschungen

Die Rolle des Waldes kann insbesondere bei Rutschungen im Hochgebirge entscheidend sein. Dies kann am besten an dem Beispiel der Untersuchungen am Talzuschub "Berchtoldhang" im Gradenbach im Mölltal/Kärnten, aufgezeigt werden. Dort verengt der 2 km² große Rutschhang den Gradenbach und erhöht dadurch die Wildbachgefahren für die unterhalb liegenden Ortschaften.

Jahrelange detaillierte Untersuchungen und Messungen ermöglichten es, die Abhängigkeit der Talzuschubsbewegung von den Niederschlägen zu quantifizieren (Kronfellner-Kraus 1982). Die jährliche Hangbewegung (in Dezimeter- und Meter-Dimensionen) stellt sich daher als Funktion zehnmonatiger Niederschlagssummen (November-August) dar. Eine nennenswerte Hangbewegung beginnt erst nach einer zehnmonatigen Niederschlagssumme von etwa 500 mm (5 dm). Diese Menge ergibt sich erst während und nach der Schneeschmelze verbunden mit weiteren zusätzlichen Niederschlägen. Durch Verbauungen und Entwässerungen konnte bis heute die jährliche Hangbewegung bei einer zehnmonatigen Niederschlagssumme von 1000 mm (10 dm) um 60-70 % verringert werden. Auf Grund von speziellen schneehydrologischen Untersuchungen kann angenommen werden, daß durch zusätzliche Aufforstung von 50 ha durch Schneeinterception die Infiltrationsrate und damit die Hangbewegung in der Größenordnung von etwa 20 % weiter verringert werden kann. Im umgekehrten Falle würde jedoch ein Kahlschlag (oder ein Absterben) des vorhandenen Waldes im Ausmaß von 50 ha (hauptsächlich durch Wegfall der Schneeinterception) die Infiltration und damit die Hangbewegung in einem weitaus größeren, progressiv zunehmenden Maße steigern. Diese Untersuchungen (Kronfellner-Kraus & Schaffhauser 1984), die weitergeführt werden, zeigen deutlich die Bedeutung von forstlichen und technischen Maßnahmen im Zusammenhang mit dem

Messungen in Wildbach-Gerinnen

Bezüglich der hydrologischen Analysen in gesamten Einzugsgebieten sei zunächst die Entwicklung der Meßstellen erwähnt. Während bei geringen Gefällsverhältnissen regulierte Bachstrecken zur Messung gut herangezogen werden können, erfordern steilere Gefälle spezielle Meßanlagen, die auch größere Geschiebeanteile störungsfrei bewältigen (Ruf 1981). Auch hier zeigen die Ganglinienanalysen, daß die Einzugsgebiete mit großem Waldanteil (Graschnitzbach) und/oder mit tief aufgelockertem Grundgestein (Mödrischgraben) weniger auf kurze Starkregen, sondern vielmehr auf längere Niederschlagsereignisse reagieren. Dem Problem der Aufteilung der Abflußanteile des Hangwassers folgen im Gerinne die Probleme der Fließzeiten in verschiedenen Bachstrecken und die der Verzögerung bzw. Verflachung der Hochwasserwelle. Die bekannten Formeln für Fließ-, bzw. Konzentrationszeiten sind für kleine Einzugsgebiete nur bedingt verwendbar. Es werden daher gegenwärtig Fließzeiten in verschiedenen Bachstrecken gemessen, auch um den Einfluß verschiedener Verbauungen auf Hochwasserabflüsse zu studieren (Ruf 1983).

Hydrologische Wirkung von Verbauungen

An Hand der schon vorliegenden Resultate konnte die Wirkung verschiedener Verbauungen auf den Hochwasserabfluß im Dürnbach überprüft werden. In diesem sind die Parameter (Abflußwerte, Rauigkeitskoeffizienten, Gefälle, Wassergeschwindigkeit, totale Fließzeit) bekannt oder überprüfbar. Die totale Fließzeit verteilt sich auf folgende Verbauungstypen: natürliche, unverbaute Bachstrecken im Oberlauf, mit Sperren abgetreppte Bachstrecken, Ablagerungsplätze, Steinschalen, natürliche Bachstrecken auf dem Schwemmkegel und im Talgrund. In der Sperrentreppe werden zwar Geschiefeführung und -korngrößen herabgesetzt (was beschleunigend wirkt), gleichzeitig aber auch das Gefälle reduziert und die Bachbreite vergrößert (wirkt verzögernd). Insgesamt ergibt sich eine Verminderung der Wassergeschwindigkeit ungefähr auf die Hälfte. Die Reduktion bleibt mehr oder weniger konstant für die jeweils zwischen den Sperren herrschenden Verlandungsgefällen und den diesen entsprechenden Rauigkeiten. Ablagerungsplätze und große offene Sperren bewirken bei außerordentlichen Ereignissen ebenfalls einen Aufstau, eine Profilsverbreiterung und eine Verkleinerung der Wassergeschwindigkeit um etwa die Hälfte.

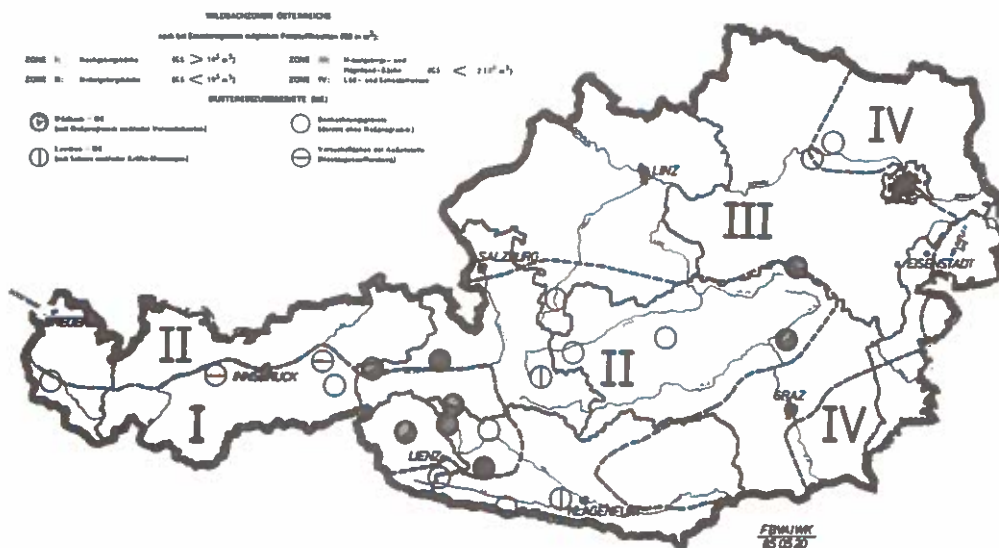
In vollkommen gepflasterten Künetten kann die Wassergeschwindigkeit zwei bis zu fünfmal größer sein als in den entsprechenden natürlichen Bachstrecken. Aus dieser Analyse ergibt sich, daß die Fließzeiten im Dürnbach insgesamt ungefähr gleich bleiben, weil die mit Sperren abgetreppte Bachstrecke wesentlich länger ist als die Künette am Schwemmkegel. Gegenüber dem ursprünglichen Zustand wurde der Dürnbach jedoch begradigt und der regulierte Bachlauf ist verkürzt. Dadurch ist insgesamt auch die Fließzeit um 15 bis 30 Minuten kürzer ge-

worden. Auch wenn man unterstellt, daß alle Bäche in einem Flußgebiet ähnliche verkürzte Fließzeiten aufweisen, ergeben sich für größere Einzugsgebiete (gesamter Oberpinzgau) infolge der, der kürzeren Laufzeit entsprechenden höheren, Regenintensität kaum fühl- oder meßbar (rechnungsmäßig nur um etwa 1-2 %) höhere Hochwasserabflüsse.

Abschließend sei erwähnt, daß sich die Hochwasserabflüßmessungen im Dürnbach gut in die Ergebnisse der umliegenden hydrologischen Meßstellen einfügen. Das obere Salzachtal wird durch die Nördlichen Kalkalpen gegenüber Westwetterfronten abgeschirmt.

Wildbacherosion und Feststofffrachten

Die in den verschiedenen Mustereinzugsgebieten und anderen Wildbächen gemessenen, sowie bei Katastrophen festgestellten Feststofffrachten ermöglichten insgesamt eine Präzisierung der Formel für extreme Wildbachfeststofffrachten und eine genauere Definition des Torrentialitäts-Koeffizienten für die hauptsächlichen Wildbachzonen Österreichs (Kronfellner-Kraus 1984). Abschließend wird die Verbreitung dieser Wildbachzonen und der Lage der Mustereinzugsgebiete in Österreich graphisch dargestellt.



ZUSAMMENFASSUNG

Gegenwärtig werden in Österreich durch das Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien in 7 Mustereinzugsgebieten hydrologische und wildbachkundliche Messungen und Analysen durchgeführt. In diesen und in ihren Teilgebieten werden Einzugsgebietsgrößen von 0,3 bis 17,8 km² erfaßt. Zweck der Untersuchungen ist es, Grundlagen für die Projektierung von Wildbachverbauungen und die Abgrenzung von Gefahrenzonen zu erarbeiten oder zu verbessern. Die Untersuchungen schließen daher auch Fragen der Wirkungsweise von technischen und forstlichen Maßnahmen oder von Veränderungen in den Einzugsgebieten mit ein. Neben der Analyse bisheriger Meßergebnisse werden zur richtigen Anwendung der mathematischen Modelle vor allem Modell-Parameter überprüft. In Zusammenhang mit übergeordneten Erhebungen war es bereits möglich, manche Berechnungsmethoden für Hochwasser- und Feststofffrachten gebietsweise zu verbessern.

BIBLIOGRAPHIE

- Gutknecht, D., 1972: Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von Hochwasserabflüssen aus kleinen Einzugsgebieten. Wiener Mitteilungen, Band 11, Techn. Hochschule Wien.
- Hermann, R., 1977: Einführung in die Hydrologie. Teuber Studienbücher, Geographie.
- Kronfellner-Kraus, G. & I. Neuwinger & H. Schaffhauser & G. Ruf, 1982: Exkursionsführer für den Dürnbach. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 144, 229-241.
- Kronfellner-Kraus, G. & H. Schaffhauser, 1984: Schneehydrologische Untersuchungen in einem Talzuschubsgebiet in Kärnten/Österreich (Snow hydrologic studies on a creeping slope in Carinthia/Austria). Workshop "Snow Hydrologic Research in Central Europe", Hann. Münden, Bonn, DVWK-Mitt. 7, 373-383.
- Kronfellner-Kraus, G., 1984: Extreme Feststofffrachten und Grabenbildungen von Wildbächen. Intern. Symp. Interpraevent in Villach, Austria. Tagungspublikation, Band 2, 109-118. Extreme Sedimentations and Gullyings of Torrent, Ms., FAO/EFC/MW-WP, 14th Session in Torremolinos, Spain.
- Ruf, G., 1981: Abflußmeßanlagen in geschiebeführenden Wildbächen. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 138, 125-136.
- Ruf, G., 1983: Der Einfluß der Verbauung auf die Fließgeschwindigkeit in Wildbächen. Allg. Forstzeitung, Wien, 94, 345-346.
- Schaffhauser, H., 1982: Untersuchungen über das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Versuchsflächen. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 144, 85-101.
- Schaffhauser, H., 1983: Das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Testflächen. Allg. Forstzeitung, Wien, 94 344-345.

RESEARCH IN SMALL EXPERIMENTAL WATERSHEDS IN AUSTRIA; AIMS, METHODS AND SELECTED RESULTS

by G. Kronfellner-Kraus, Vienna/Austria

INTRODUCTION

Research nowadays is focused for several reasons on small drainage basins. It is far easier to measure the relevant parameters of rivers because they are exactly followed up for much time and their behaviour can be foreseen with a relatively high degree of security. Even the smallest drainage basins (a few hectares only) are relatively well appropriate for hydrological analyses (as far as they are in a similar situation). The prediction for small to medium sized drainage basins in mountain areas (of several square kilometers), however, is still rather difficult because the behaviour of these areas is subject to fluctuations difficult to determine by measurements.

The investigation of small drainage basins has become to task of urgent importance owing to the increasing settlement of population in the mountain area and in view of the fact that the hydrological behaviour of small drainage basins is significant also for more exact predictions concerning larger (modified) river areas. Up-to-date measuring instruments, evaluation and calculation methods (data processors, plotters, ect.) facilitate and speed up these tasks. Both the measuring and the model systems are closely correlated with each other and for this reason, they must be steadily checked, amended and adapted.

Hydrological analyses can be very different. The numerous partial systems and problems of the water circuit in a drainage basin can be classified approximately in the following way (Hermann, 1977):

Water-soil-plant: The knowledge of this system reduced to the smallest area enables the understanding of larger systems (of drainage basins);

Water in the drainage basin: There are partial problems for measurement and model mainly for the deterministic or stochastic prediction of (individual) events according to: Characteristics of the drainage area (shape and size, relief, grounds and rocks, vegetation);

Precipitations: Rain and snow in their spatial and temporal

Surface drain - hydrograph curve analyses
Subsurface flow, ground water and Total drain - black-box models (hydrograph unit), conception models;
Water-balance determinations for investigations of hydrology and agricultural ecology: as before, however, considering the whole year and evaluating the evaporation (precipitation = drain + evaporation).

In the mountains, all the hydrological systems become even more complicated by the effect of ice, snow and avalanches, and first of all by erosion, accumulation, and sedimentation.

In correcting and adjusting the parameters, it is important to find the correlation not only between the different systems of an area. In fact, the results shall be applicable also to other areas of different characteristics and sizes. For this purpose also superordinate investigations must be used which in part must be carried out by different services. Because of that a close cooperation (over different countries) is indispensable. With this aim, we will hereafter explain the special tasks of the special Institute in Austria and thereby indicate more in detail first of all the present measuring problems.

TASKS AND METHODS

In order to determine the bases for the definition of danger areas and for projecting torrent-control works, the Institute for Torrent and Avalanche Control Work of the Federal Forestry Research Institute Vienna mainly deals with the following tasks:

1. Verification of the methods for the calculation and prediction of floods from relatively small torrent-drainage areas, with special consideration of
2. erosion, bed-load carriage and sediment transports; as well as
3. clarification of special problems, first of all to examine the effect of measures modifying the vegetation, as well as of technical and biological control works.

These problems are studied first of all in certain sample drainage areas especially selected and fitted with the necessary instruments. The normal instrumentation of these sample drainage areas consists of stations measuring the precipitation, the drain and the bed load, in order to record the exact parameters of flood draining and sediment transports. The actual situation of each sample area regarding topography, geology, ground vegetation, agricultural exploitation, and control-work measures, are plotted first of all in maps. The different forms of torrent erosion and the protective effect of different types of vegetation, require further experiments and measurements differing according to the local situation. These are for instance artificial shower irrigations with erosion and drain measuring on smallest measurement plots in order to understand

more exactly the effect of modifications (e.g. forest clearing for ski-runs, ect.); or the observation and measurements of the development of snow blankets, for the exact determination of the drain portion and infiltration of the snow-melt water (slumps). In this connection we have mention also the forestry investigations aiming not only to reinforce the protective and high-mountains woodlands but also to extend them over large areas. Also for this purpose ample map plottings and laboratory works for ground analyses are carried out. In the following a list of actual:

Experimental Drainage Basins with Precipitation and Descharge
Measurements in Austria

brook name	country	river area	sur- face km ²	m upon see level	for- est %	start of measuring
Keerbach	N	Traisen	10,1	730-1766		73-77
-Gr.Göllerbach			2,2	820-1766	83	1978
Graschnitzbach	St	Mürz/Mur	17,8	583-1629	89	1971
Mödrischgr.	K	Drau	6,8	830-2655	36	1970
Gradenbach	K	Möll				
-Berchtoldbach			1,3	1500-2268		1975
-Weidenbachl			0,3	1165-1625		1978
Dürnbach	S	Salzach	9,0	840-2299	30	1969
-upper reaches			4,3	1600-2299	2	1972
Schmittenbach	S	Zeller Lake	7,3	905-1964	63	1979
Grantenbach	K	Tauernbach	0,3	1330-2735	0	1978

Legend: N = Lower Austria, St = Styria, K = Carinthia
S = Salzburg

(Observation or investigation areas without measuring programs
are not scheduled here.)

When floods occur, their repetition probability is to be defined meaning long measuring periods for the determination of events which may occur once in a century. The analyses of the flood hydrograph curves, however, enable even now to verify the applicability of flood formulas and models (hydrograph unit, time area of running time procedures) as well as of their parameters (drain portions, streaming times). There are in fact many model systems but their parameters are not dependable enough. Further investigations are needed in order to warrant their applicability from one system to the other. At present, first of all infiltration and accumulation capacity of the grounds are investigated by means of irrigation tests and running times at different runoff tracks. Erosion and bed-load carriages are investigated first of all by profile recording at bed-load sedimentation sites.

SELECTED RESULTS AND TENDENCIES

Surface Run-off

As an intermediate result of artificial irrigations (surface drain, infiltration and accumulation capacity) we have been enabled to issue useful recommendations for the exploitation of ski-runs. For instance on mowed meadows infiltration has been found far greater than on pasture meadows. In all the other cases (Dürnbach, Gradenbach, Mödritschgraben) there have been not only great differences according to grounds and vegetation, but first of all depending on the type of rocks in the underground (Schaffhauser 1982, 1983). This fact and the following show the difficulties to determine drain portions (surface drains, surface-near drains, and ground-water drains) and running times of slope water for drainage areas.

Effects of forests on landslides

The role of forest can especially decisive on land slides in alpine high mountains. This can be shown best by an example of investigations on the creeping "Berchtold-slope" at the outlet of the Graden-torrent into the Möll-valley in Carinthia, Austria. There, a 2 km² sized slope creep narrows the Graden-torrent, increasing the dangers from this torrent for some villages below.

Years of detailed studies and measurements resulted in the quantification of the dependence of the slope shift on the amount of slope soaking by precipitation (Kronfellner-Kraus 1982).

The yearly slope movement (in decimeter and meter dimensions) is a function of the precipitation sum of the past ten months (November to August). Noticeable slope movement begins only after a 10 month total precipitation sum of approx. 500 mm (5 dm). This amount is realized especially during and after the time of the melting of snow combined with additional rainfall. Up to date, control measures (drainage), etc., reduced the slope movement at approx. 60-70 % after a 10 month precipitation sum of about 1000 mm (10 dm). According to special snow hydrologic investigations one can deduce that additional afforestations on 50 ha reduce infiltration rates through snow interception and would reduce the yearly slope movement at an order of magnitude of about 20 %. In contrast a clear cut (or the death) of the existing 50 ha forest stands would increase infiltration rates and the resulting slope movement to a much greater, progressively increasing extent. The investigations are continuing (Kronfellner-Kraus & Schaffhauser 1984).

Measurements in torrential brooks

Regarding the hydrological analyses in entire sample drainage areas, we want to describe first the development of the measuring sites. While at low gradient situations regulated brook tracks can be perfectly used, steeper gradients require measuring installations also able to deal (without disturbances) with larger bed-load portions (Ruf, 1981). Also here the hydrograph curve analyses show that drainage areas with large woodland portions (Graschnitzbach) and/or with ground rocks loosened down to great depths (Mödrischgraben) respond less to short cloudburst rains, but rather to longer precipitation events. After the problem of distribution of the drain portions of slope water, in the runoff follow the problems of running times in different brook tracks and of the delay or diminution of the flood wave. The known formulas for running and concentration times, on small drainage areas are not or only restrictedly applicable. For this reason, at present running times are measured in different brook tracks in order to determine the influence of different control works on flood drains (Ruf 1983).

Hydrological effects of torrent control works

On the basis of the results obtained the effect of different control works on the flood drain in the Dürnbach Brook has been verified. In this brook the parameters (drain values, roughness coefficients, gradient, water speed, total running time) are known or can be revised. The total running time is distributed over the following types of control work: Natural brook tracks without control works in the upper reaches, brook tracks with barrage steps, sedimentation sites, stone troughs, natural brook tracks on the sedimentation cone and in the valley ground. In the barrage steps the bed-load carriage and the grain size are reduced (these factors tend to increase the speed) but at the same time also the gradient is reduced and the brook width augmented. These components result in the reduction of water speed to about the half. The reduction remains more or less constant for the sedimentation gradients existing between the barrages and their corresponding roughness values. Sedimentation sites and large open barrages, in case of extraordinary events result equally in a storage, a profile widening and the reduction of water speed to about the half.

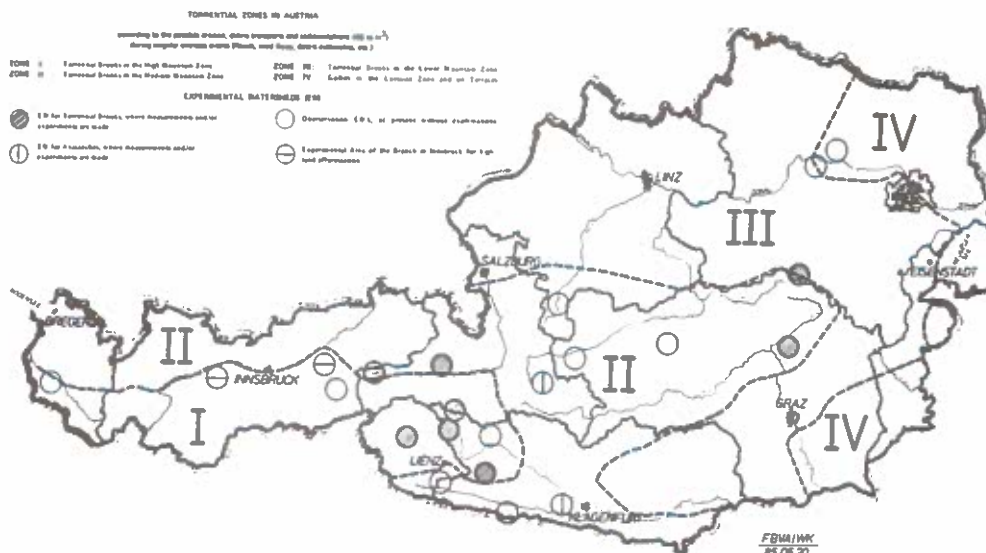
In completely paved brook tracks the water speed is two to five times greater than in the corresponding natural brook tracks. This analysis shows that the running times in the Dürnbach Brook maintains approximately the same total value because the brook track with barrage steps is far longer than the track at the sedimentation cone. The Dürnbach Brook as compared with its previous condition, however, has been

supposing that all brooks in a river area have similarly reduced running times, for larger drainage areas (the whole Oberpinzgau District) because of the shorter running time meaning increased rain intensity, the flood drains are not significantly increased (only about 1-2 %).

Finally we should like to mention that the flood-drain values in the Dürnbach Brook correspond perfectly with the results of the neighbouring measurement sites. The upper Salzach Valley is screened against the weather fronts coming from the West by the Northern Chalky Alps.

Torrent erosion and sediment transport

The sediment transports measured in different sample drainage areas and torrents, as well as determined in case of catastrophes, as a whole enable the definition of the formula for extreme torrent-sediment transports and a more exact determination of the torrentiality coefficient for the principal torrent zones of Austria (Kronfellner-Kraus 1984). The extend of these torrential zones as well as the situation of our experimental watersheds in Austria may be shown in the following map.



SUMMARY

At present the Institute of Torrent and Avalanche Control of the Federal Forest Research Station of Vienna is carrying out hydrological and torrential measurements in seven experimental watersheds. The size of these watersheds range from 0,3 to 17,8 km². The initial studies began with the Dürnbach watershed in 1969 and continued up to 1979 with the inclusion of the Schmittenbach watershed. The aims of these investigations are to improve the methods of torrent control, and the zoning of danger areas. These studies therefore deal with all aspects of the effectiveness of biological and technical measures for the control of torrential erosion and also deal with the dangers of change within these watersheds. Besides the analyses of hitherto existing results, the parameters of models are being checked in order to improve the applicability of existing models. Together with surveys throughout all Austria, it was already possible to improve some regional calculation methods for floods and debris mass transport.

LANDSAT IMAGERY FOR THE ASSESSMENT
OF SOIL EROSION IN LARGE MOUNTAIN WATERSHEDS

Winfried E.H.Blum

Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenforschung und Baugologie
Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

Klaus Kresse

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)
Fachbereich 332, Postfach 5180, D-6236 Eschborn 1

Willi Meier

Institut für Angewandte Geowissenschaften (IFG),
Am Forsthaus Gravenbruch 9-11, D-6078 Neu Isenburg 2

S U M M A R Y

One of the basic requirements for the assessment and monitoring of soil erosion is the existence of basic maps containing geo-ecological and socio-economic information, and thematic maps derived from these.

Satellites play an important part in the production of these maps, especially in the case of parameters subject to short-term changes in large and inaccessible regions.

The example of an erosion control project undertaken as part of the programme of technical cooperation between the People's Republic of Algeria and the Federal Republic of Germany is taken as an illustration of how computer-aided mapping employing satellite imagery in combination with other sources of information (aerial photographs, topographic and other maps, field surveys) can be used to produce, within a short space of time, basic and thematic maps for the identification and monitoring of soil erosion in large mountain catchment areas. The limitations of this kind of methods are also discussed.

Keywords: Soil erosion, computer-aided mapping, analysis of satellite imagery

R E S U M E E

UTILISATION DES IMAGES SATELLITES POUR JUGER DE L'EROSION DU SOL DANS DE GRANDS BASSINS VERSANTS MONTAGNEUX

L'un des principaux outils de travail utilisés pour estimer l'ampleur et contrôler l'érosion du sol sont les cartes de base livrant des informations géo-écologiques et socio-économiques ainsi que les cartes thématiques établies à l'appui de ces dernières.

Dans la quête des informations nécessaires à l'établissement de ces cartes, les images satellites acquièrent une grande importance surtout lorsque les paramètres analysés sont sujets à des variations rapides sur des surfaces étendues et difficilement accessibles.

L'exemple du projet de lutte contre l'érosion mis en oeuvre dans le cadre de la coopération technique entre la République populaire et démocratique d'Algérie et la République fédérale d'Allemagne permet d'illustrer comment on peut à l'aide de la cartographie assistée par ordinateur ayant recours aux images satellites en combinaison avec d'autres sources

sur le terrain), dresser en peu de temps des cartes de base et des cartes thématiques permettant d'inventorier, de lutter contre l'érosion du sol dans les grands bassins versants montagneux. Les limites et contraintes liées à ces méthodes sont discutées en même temps.

Mot-clé: érosion du sol, cartographie assistée par ordinateur, interprétation des images satellites

Z U S A M M E N F A S S U N G

ERFASSUNG VON BODENEROSION IN GROSSEN GEBIRGS-WASSEREINZUGSGEBIETEN MITTELS SATELLITENBILDERN

Eine wesentliche Grundlage für die Erfassung und Kontrolle von Bodenerosion sind Basiskarten mit geo-ökologischen und sozio-ökonomischen Informationsgehalten sowie thematische Karten, die aus solchen abgeleitet werden.

Bei der Gewinnung von Informationen für die Herstellung dieser Karten, insbesondere bei kurzfristig sich ändernden Parametern auf großen und schwer zugänglichen Flächen, kommt dem Satellitenbild eine große Bedeutung zu.

Am Beispiel eines Erosionsschutzprojektes im Rahmen der technischen Zusammenarbeit zwischen der Volksrepublik Algerien und der Bundesrepublik Deutschland wird dargestellt, wie mittels computergestützter Kartierung, unter Verwendung des Satellitenbildes, in Kombination mit anderen Informationsquellen (Luftbild, topographische u.a. Karten, Erhebungen im Gelände) Basis- und thematische Karten für die Ermittlung und Kontrolle der Bodenerosion in großen Gebirgs-Wassereinzugsgebieten in kurzer Zeit hergestellt werden können. Dabei werden auch die Grenzen dieser Methodik diskutiert.

Schlüsselwörter: Bodenerosion, computergestützte Kartierung, Satellitenbildauswertung

1. INTRODUCTION AND DEFINITION OF THE AIMS

Active conservation of nature and the environment, erosion control, measures to remedy damage, changes in the utilization of water and land resources, and topics such as these have long been the subject of innumerable discussions in both industrialized and developing countries. One would think that by now a basis had been established on which laymen and the technical and political decision makers alike could act.

The fact that this is manifestly not the case is demonstrated by this congress. For although it ought to be self-evident that erosion control - in an integrated approach to water resource catchment areas in which not only numerous geo-science disciplines, but also technological and human science aspects should play an important part - is an element of the conservation of nature and the environment, one frequently finds people labouring away inadequately on an ad hoc basis instead of taking a preventive approach to the utilization of resources and the environment. Evidence that such an approach is possible is in our opinion provided by park landscapes and active nature conservation in many parts of the world. Unfortunately, however, even in developing countries people who should know better are continuing, for national or private profit motives, and naturally in some cases driven by hardship, to do irreparable harm to the - in many cases much more fragile - ecosystems there. As a rule, erosion due to anthropogenic factors far exceeds the natural causes. If we had not grasped this before, we should all be aware of it since "Global 2000" (which, regrettably, has not been made compulsory reading or adopted as a basis for action) and should now, in our own interests as well as those of our descendants, be energetically pursuing an intensive programme of nature and environmental conservation. It is not enough that people are told that they should do so.

With this in mind, an end must be put at last to the succession of constantly repeated mistakes, and lasting solutions must be found quickly. And anyone who feels that conservation of nature and the environment is too much of a fad or that it is too much of a drain on resources, should try assessing the situation in political and economic terms.

How urgent the need for speedy and intensive action on the conservation of nature and the environment has become, is something that we in Central Europe are currently learning ourselves through painful experience.

Conservation is acquiring increasing importance within German development aid. The weight attached to it may vary from one sector to another. As far as possible, all projects should be examined for compatibility with environmental considerations and should only be implemented if harm can be avoided or active measures taken to protect the environment. Work is currently in progress on the necessary compatibility grids.

In many countries of the world, especially in the arid and semi-arid regions, soil erosion due to water and wind and man-made factors has already reached disastrous levels. The loss of the most valuable part of the soil, the topsoil rich in organic substance and important nutrients, is resulting in reductions in soil fertility which range from the considerable to the extreme. However, maintaining and improving the fertility of the soil is an indispensable precondition for many of the countries of this earth to be able to feed their populations or keep soil reserves available to cope with future population developments (Global 2000).

In addition to the decline in soil fertility, sedimentation is another adverse consequence of soil erosion. In arid and semi-arid areas the accumulation of eroded soil material in reservoirs and ponds holding water supplies for settlements, intensive agricultural uses and/or energy production can to all intents and purposes destroy the basis for life, or it may mean the end of intensive agricultural utilization or even of human existence in entire regions.

As a rule the primary cause of such developments is not ecological factors such as climate, geology, soil, vegetation etc., but improper land use by man (Blum, 1976). This may take the form of intensive farming of hilly terrain, overgrazing, or the provisions of water reserves for dry areas with a consequent increase in grazing stock capacity on an ecologi-

of other kinds of improper regional or district measures leading to soil erosion and other consequences of the kind already described (Blum, 1983).

Increasingly, one may observe of late that agricultural or regional development measures in most semi-arid and tropical countries of the world have reached areas which are extremely sensitive from an ecological point of view and whose capacity to withstand harmful influences is not yet known. In many cases the reason for this is the enormous pressure of population growth and the intensive utilization, sometimes over-utilization, of traditional settlement and resource areas (Blum, 1981).

These and other harmful developments are currently to be observed taking place at an increasing speed in areas which in some cases have virtually no infrastructure and are difficult of access by land. To establish the occurrence of soil erosion and to monitor its progress it is therefore necessary to observe and map very large areas and determine a very wide range of geo-ecological parameters which are causally related to soil erosion, such as topography (slope), geology, pedology, natural vegetation cover and current land use, climate (e.g. precipitation density), hydrology etc.

However, it is clear from the relationships we have mentioned already that determining these geo-ecological parameters is not in itself sufficient to be able to assess the extent and the causes of the soil erosion.

For this reason it is important to ascertain not only the geo-ecological parameters, but also the socio-economic ones, such as population density, type and intensity of land use, special characteristics of land use, for example migratory movements of grazing animals etc.

Only an integrated approach to the geo-ecological and socio-economic parameters enables one to say something about the scale, causes and possible future development of soil erosion.

This means that in order to monitor erosion it is essentially necessary to obtain two kinds of information:

- Basic data (input data), in the form of basic maps with geo-ecological and socio-economic data such as geology, pedology, slopes, climate, current state of soil erosion etc., and population density, land use etc.

Here it would seem important to establish the state of soil erosion and

to assess the course of development. This must as a rule be done for areas of considerably more than 1,000 km², and frequently between 5,000 and 50,000 km².

However, since the seasonal cycle of vegetation in the arid and semi-arid areas is subject to extreme variation and the vegetation cover in extreme areas, for example, can only be recorded within a period of 2 to 4 weeks, i.e. directly during the rainy season and after the vegetation growth period, information of this kind has to be collected at a specific time and simultaneously over a large area.

This cannot be done on foot or with the aid of aerial photographs, since access to the region is impossible or extremely difficult and a great deal of time would be needed for such a survey of large areas, during which various aspects of the landscape, in particular the natural vegetation and land use, would undergo major changes.

Aerial photographs may in certain circumstances offer better possibilities, but aerial photography of large areas usually takes one or more months, so that even here it is not possible to establish specific aspects of the landscape at a single point in time simultaneously over a large area.

- Thematic maps (output maps), which are analyses of the basic maps or basic data and are made by linking various kinds of basic data together, such as geology, slopes, soil type, vegetation, population density, current type and intensity of land use, in order to establish the causes of soil erosion and their intensity of define certain land use qualities. This integration of such a multitude of individual types and items of information, which must furthermore be defined for specific points or areas and must also have been collected over a large area, requires the use of technical assistance of a kind which only the computer can provide.

The objectives for tackling the problem in hand are thus essentially clear:

- To establish as accurately as possible a great number of individual geo-ecological and socio-economic parameters over large areas at specific points in time and at specified intervals, and to depict this information in cartographic form as "basic maps".

further development of soil erosion or possible means of combatting it by planning land use.

In a large-scale pilot project as part of the bilateral programme of technical cooperation between the Federal Republic of Germany and the Democratic People's Republic of Algeria, an experiment was conducted in the catchment area of an economically important dam, an area measuring some 5,000 km² and suffering from severe soil erosion; this involved using computer programs to create basic and output maps on a scale of 1:100,000 from false colour satellite maps, as a basis for integrated land use planning with a view to controlling erosion and preventing sedimentation in the storage basin of the dam.

It is of course impossible, even with an integrated project which has just started in Algeria, to solve all national erosion control problems. The aim is rather to observe another principle, that of helping people to help themselves, by providing aid as part of the technical cooperation programme; in other words, by communicating theoretical and practical knowledge and developing local basis strategies, to create among other things the preconditions for dissemination and mass application, obligatory procedures, controls, effective protection, changed patterns of land and water use and an awareness and understanding of the environment.

Thus the emphasis in this project, devised jointly with the Algerian partner, is not on isolated physical erosion control measures for the reservoir affected by silting-up, but the systematic development and testing of integrated methodological strategies, extending to the setting up of training sites.

Satellite imagery is an appropriate solution. The interpretation of the images makes it possible to compare land use and erosion processes over a period of time, in this case since the beginning of 1973. Of course, aerial photographs also give us this possibility but entail far more inputs and costs. Both these methods are integral parts of our strategy, alongside the classical method of surveys in the field using existing documents.

With this three-pronged approach, a rapid and comparatively low-cost procedure was created for taking stock, classifying, setting priorities with regard to protective measures, and even for producing output maps as

5 months are needed for this work from the arrival of the first satellite tapes to the production of the output maps.

This approach was first employed in two multi-purpose water resource projects in Nepal from 1977 to 1982, and is currently being continued there for a nationwide resource - and erosion - survey in collaboration with the World Bank. A more extensive account and further information is to be provided in a book planned jointly by the World Bank and GTZ.

It was also proposed to produce all map material for the 5,000 km² catchment area within 5 - 6 months.

2. METHODS

The method used involves computer-aided mapping on the basis of false colour satellite maps; its main feature is that a computer is used to collect and show in the form of maps (input maps) all data obtainable on a region in relation to defined points or areas, or to compare them with one another and print them out as thematic maps (output maps).

The following different levels of information are integrated in this process:

- Satellite information
- Aerial photograph information
- Information from topographic or other maps
- Information from surveys in the field.

All the data obtained must be recorded in relation to areas or points. The cartographic basis for this is provided by a false colour map produced from satellite tapes (computer compatible tapes = CCT's) as a geometrically corrected digital mosaic on a scale of 1:100,000. The map for the Algerian project area was produced from two CCT's.

is its high degree of positional accuracy, achieved by appropriate rectification using fiducial marks with the aid of special computer programs. The reason why the positional accuracy of the false colour maps derived from satellite images is so important is that all further information from topographic and other maps which relates to points, lines or areas can be transferred to this basic map and also further surveys in the field can be performed accurately in terms of scale and position.

The percentages of the various sources of information (satellite image, aerial photograph, topographic and other maps, field surveys) that go into the individual input maps vary very considerably. (See Fig.1)

As can be seen from Fig. 1, for land-use mapping about 60 % of the information comes from false colour satellite maps, some 20 % from topographic and other maps and aerial photographs, and another 20 % or so from surveys in the field.

In soil mapping, only about 10 % of the information can usually be obtained from false colour satellite maps, whereas 70 % comes from maps, e.g. topographical and other maps, and 20 % from surveys in the field.

As yet, false colour satellite maps cannot be used to make a relief or slope map. For this purpose topographic maps or aerial photographs are required.

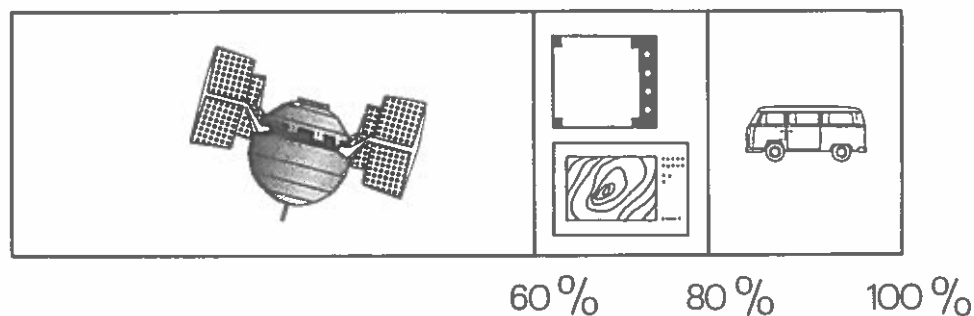
The use of various sources of information applies similarly to the production of other basic maps, e.g. for geology, hydrology, climatology, population density, settlement density, transport infrastructure, type of land use, livestock density, type and intensity of arable land use etc.

The production of a relief or slope map is particularly important, since not only are a great many individual parameters related to each other by slope, e.g. soil type and slope, vegetation type and slope, erosion and slope etc., but the slope is also a crucial parameter for land-use and land-use planning in relation to erosion control. Fig. 2 illustrates the computer-aided production of a slope or relief map.

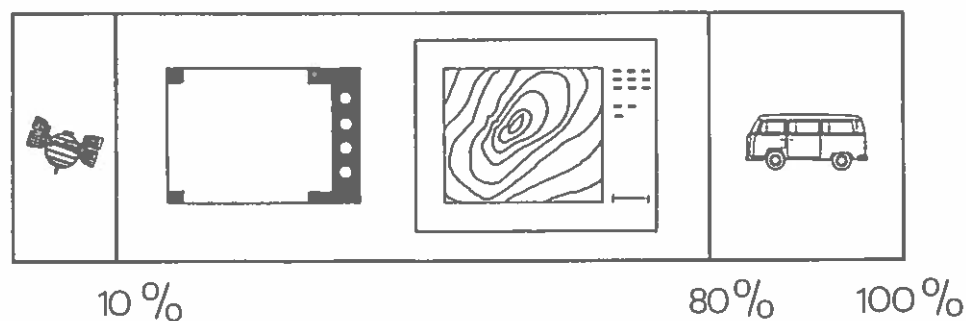
It shows how a digital elevation model (=DEM) is derived from hypsometrical data (from a topographic map or from aerial photographs). At the same time hydrological data can be obtained and areas defined from the satellite images or from topographical maps, and a digital hydrographic model (=DHM) produced.

FIG.1 INFORMATION SOURCES
FOR INPUT MAPS

LAND COVER / USE:



SOILS:



RELIEF:

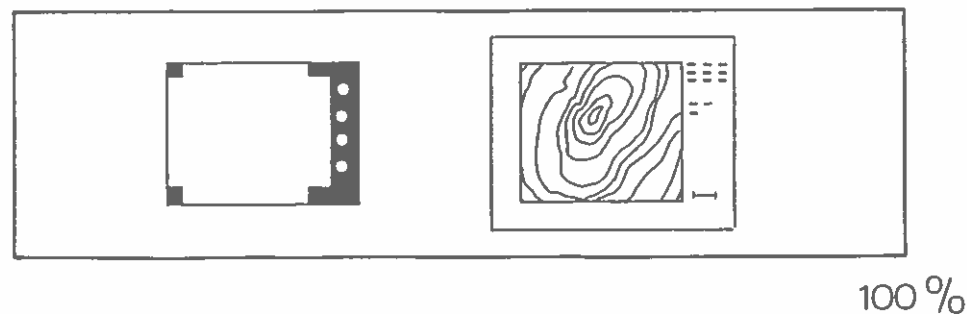
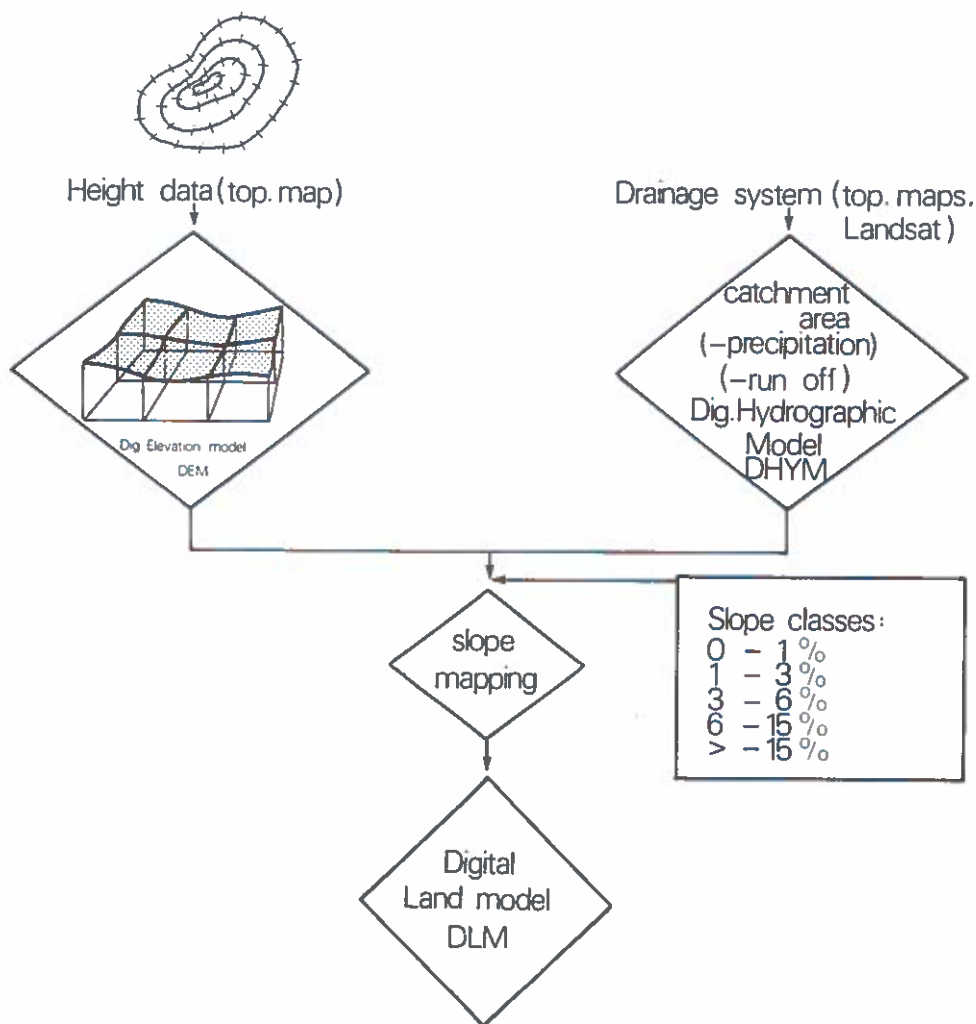


FIG. 2 : DIGITALIZATION OF RELIEF DATA AND HYDROLOGY

RELIEF

(SLOPES , HYDROLOGIE)



From the two models, a slope map is prepared using defined slope classes (varied to suit the job in hand), and from this a digital land model (=DLM) is derived.

This digital land model, which is absolutely distortion-free with regard to positions and elevations, forms the basis on which other items of basic information (input data) are combined to yield thematic or output data (cf. Fig.3). Fig. 3 shows how various kinds of basic information (input maps), such as slope, soil type, and vegetation cover/land use, are integrated to produce an output map (= derived thematic map) which provides information on the suitability of agricultural areas for a particular kind of use.

The method used in this integration of various kinds of basic data to form derived output maps is shown in Fig. 4. The basic data (input maps) such as natural vegetation cover/land use, relief and soil types, are compared via the DLM, using a decision matrix to weight the individual parameters such as soils, relief etc., in relation to land use, for example. This decision matrix, which is worked out by experts, states the percentage by which the influence of the soil or relief and other factors is to be weighted for a particular type of land use. Thus this decision matrix is used to define the influence of the individual parameters on the potential information provided by the output map, e.g. in relation to arable farming or pasture.

The decisive advantage of this approach is that all mathematical operations and processes right up to the printing of the maps are dealt with by the computer, which can take any desired number of individual data items and compare and/or integrate them.

3. RESULTS AND OUTLOOK

This method has already been employed in several countries for erosion

FIG. 3: SCHEME FOR THE USE OF INPUT (BASIC) DATA FOR THE ELABORATION OF AN OUTPUT (THEMATIC) MAP

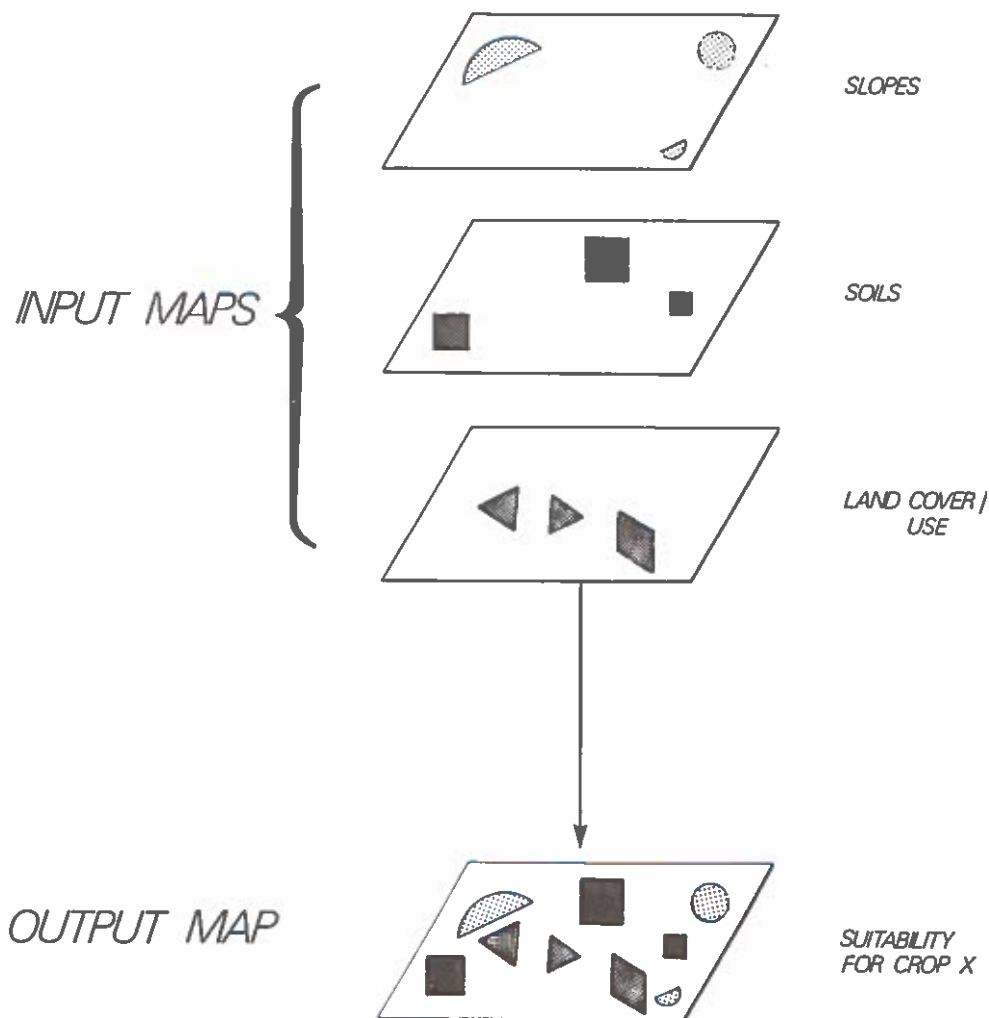
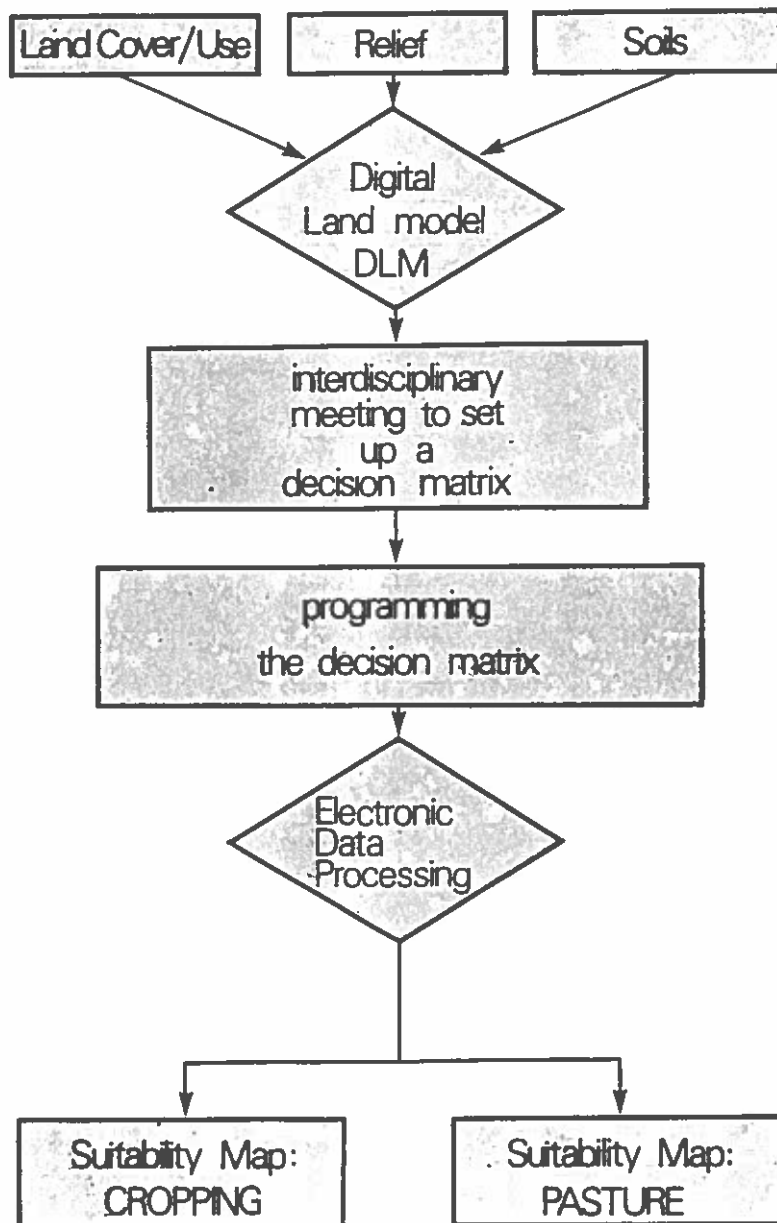


FIG. 4 LAND SUITABILITY MAPPING



The limiting factor for the accuracy and practical application of this method is the resolution of the basic false colour satellite map. The maximum resolution for a scale of 1:100,000 is a pixel size (pixel = picture element) of approximately 30 x 30 m under the most favourable conditions. That means that individual objects or areas measuring less than 30 x 30 m do not show up on the map and also that they are impossible, or at least extremely difficult, to transfer to the satellite image map from other sources of information such as aerial photographs, field surveys etc.

These methods can therefore be used only for planning and decision-making purposes, and not, for example, for project implementation purposes, e.g. the realization of erosion control measures in the field, etc.

Nevertheless, this method remains unsurpassed owing to the opportunity it provides for using, processing and depicting in cartographic form all available information ascertained accurately for specific points or areas, and thus offers hitherto unparalleled facilities as far as the accuracy of information and its presentation in area-related terms are concerned.

A further crucial advantage is the speed and cost-effectiveness of the method, since it eliminates the need for a large number of very time-consuming and expensive field surveys.

4. LITERATURE

BLUM, W.E.H., 1976: Soil Productivity and Soil Conservation Problems Related to Land Use in Semi-Arid and Humid Tropics. - Remote Sensing, 121-131, Cologne.

BLUM, W.E.H., 1981: Ländliche Wasserversorgung in semiariden und ariden Gebieten unter bodenkundlich-ökologischen Aspekten. - Wiener Mittlg. Gewässer, Wasser-Abwasser, 44, 101-113.

BLUM, W.E.H., 1983: Zur Bodennutzung der feuchten Tropen, dargestellt am

Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd.9, 7-25.

GLOBAL 2000, 1981: The Report to the President, Washington.

MEIER, W., 1983: Proposal for a Forest Inventory and Management Project
using Remote Sensing Methods for Mapping Large Regions. - IFG,
Gravenbruch.

VÖLGER, K. and W. MEIER, 1980: Land Use Planning Study for Adamaoua (Cameroon).
- GTZ Study, IFG, Frankfurt.

TEIL / PART / PARTIE II
REGIONALE LAWINENTAGUNG IUFRO/ÖGG

der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 und des ÖGG
(Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) Arbeitskreises
für Eis, Schnee und Lawinen

26. April 1985, Salzburg, Österreich

LAWINENAKTIVITÄT IM LAWINENANBRUCHGEBIET MIT UND OHNE LAWINENSTÜTZVERBAU UND AUFFORSTUNG

von J. Rychetnik

Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung
7260 Weissfluhjoch/Davos
Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG

Während 23 Jahren wurden in einem Lawinenanbruchgebiet Lawinen beobachtet und kartiert. Ein Teil der Fläche ist mit temporären Stützwerten gegen Lawinen verbaut. Durch den Vergleich der Zeitperioden vor und nach dem Verbau wurde versucht, den Einfluss des Verbaus auf die Lawinenhäufigkeit zu ermitteln. Die Verteilung der Lawinenfrequenzen auf der Fläche gibt Hinweise für das Vorgehen bei zeitlich gestaffelter Aufforstung solcher Gebiete an.

ABSTRACT

Avalanches in an avalanche starting zone were observed and mapped over a period of 23 years. After the first ten years of observation, temporary supporting structures were erected on one part of the test area. The influence of these structures on avalanche frequency was determined by comparison of the periods before and after their installation. The distribution of avalanche frequency on the slope indicates the way to afforest such areas in the succession of time.

1. E i n l e i t u n g

Die Versuchsfläche Stillberg (Figur 1) ist ein Lawinenanbruchgebiet an der oberen Waldgrenze mit durchschnittlich 38 Lawinen pro Winter. Die 10 ha umfassende Versuchsfläche befindet sich im Dörmatal bei Davos/Schweiz an einem gegen NE gerichteten Hang mit 38° Neigung und zwischen den Höhenkoten 2000 und 2230 m ü.M. Der Hang ist vor allem im oberen Teil durch Rippen und Rinnen stark gegliedert.

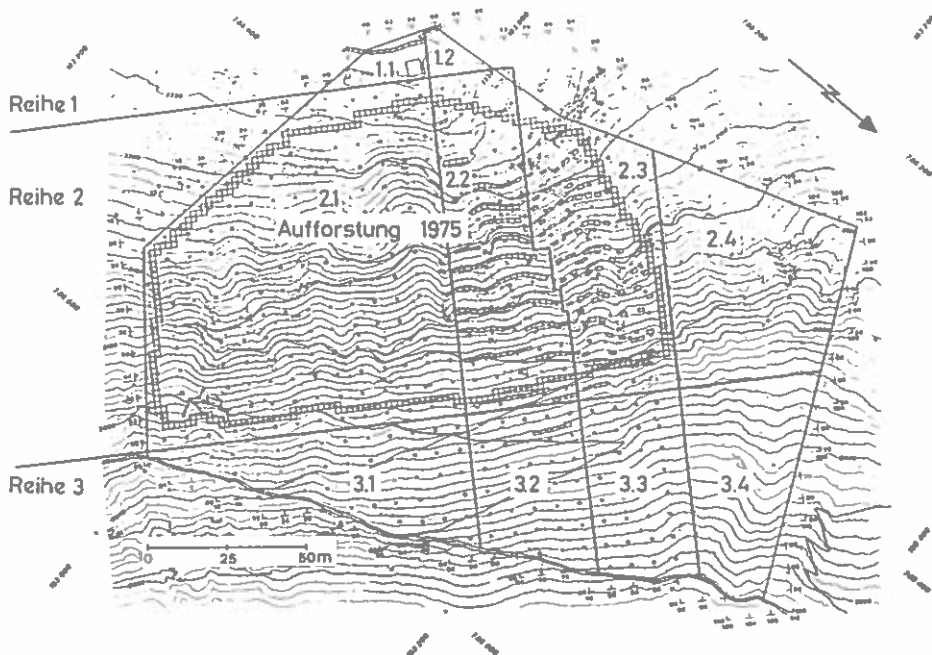


Figur 1: Versuchsgebiet Stillberg (Bildmitte), im Hintergrund Jatzhorn, 2682 m ü.M. (Foto E. Wengi, EISLF, 12.11.1979)

Vor mehr als 25 Jahren wurde diese Fläche ausgesucht, um technisch, ökologisch und ökonomisch geeignete Aufforstungsverfahren im Lawinenanbruchgebiet zu testen. Neben dem Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung ist auch die Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen an diesem Projekt massgebend beteiligt.

Von Seiten des Instituts werden hier seit 1959 Lawinenbeobachtungen und Kartierungen vorgenommen, sowie Messungen über die Schneeverteilung und Schneedeckenentwicklung durchgeführt.

Nach der ersten Testphase mit Untersuchungen von Schneedecke, Lawinen und Klima sowie Aufforstungsversuchen wurde d-



Figur 2: Versuchsfläche Stillberg, Versuchsanordnung, Aufteilung und Bezeichnung der Teilflächen

Lawenstützverbau in zwei verschiedenen Anordnungen erstellt, und zwar:

- der durchgehend verbaute Teil (Vd, Figur 2, Teilfläche 2.2) mit Abständen und Anordnung der Werklinien gemäss den Schweizerischen Richtlinien für Lawinenverbau (EOFI) und
- der aufgelöst verbaute Teil (Va, Teilfläche 2.3) mit einer annähernd auf die Hälfte des ersten Teils reduzierten Verbauungsdichte (IN DER GAND 1972).

Eine ca. 4 ha umfassende Fläche wurde im Sommer 1975 mit Arven (*Pinus cembra* L.), Lärchen (*Larix decidua* Mill.) und Bergföhren (*Pinus mugo* Turra) aufgeforstet (FREY 1977) (siehe Figur 2). Die Pflanzung der drei Baumarten erfolgte abwechselnd auf Einheitsflächen (EF) von 3,5 m x 3,5 m, mit einem Pflanzabstand von 0,7 m und 25 Pflanzen der gleichen Baumart pro EF. Im soweit möglich lückenlos bepflanzten EF-Netz ist die Einheitsfläche mit 12,25 m² die kleinste Flächeneinheit zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Standort, Vegetation bzw. Forstpflanzen und klimatischen sowie Geländefaktoren. Auch in diesem Beitrag wurden die Einheitsflächen zur Interpretation der Lawinen-

2. Material und Methode

Die Lawinen konnten während ihres Anrisses und Niedergangs nur selten beobachtet werden. In den meisten Fällen musste anhand der von den Lawinen im Schnee hinterlassenen Spuren auf das Lawinenereignis geschlossen werden. Gerade während länger anhaltenden Schneefallperioden, wenn sich die Lawenniedergänge häuften, waren diese Beobachtungen verunmöglicht und die hinterlassenen Spuren kaum erkennbar. Die Anzahl der nicht erfassten Lawinen dürfte unter 5 % liegen und Lawinenereignisse von kleinerem Ausmass betreffen. Aus demselben Grund wurden immer dann mehrere Lawinen zusammengefasst, wenn sie während eines Beobachtungsintervalles niedergingen und zusammenflossen (RYCHETNIK 1983 a).

Die Klassifizierung der Lawinen wurde nachträglich der internationalen Lawinenklassifikation (DE QUERVAIN 1973) angepasst, wobei jedoch die Bildungsbedingungen (genetische Klassifikationsskala) nur lückenhaft bestimmt werden konnten.

Es wurden alle Arten von Fliesslawinen registriert. Nach deren Ausdehnung unterscheiden sich:

- Lawinen kleiner Ausdehnung, überwiegend mit einem punktförmigen Anriss, kurzer Sturzbahn und Ablagerung in der Versuchsfläche
- Lawinen, die auf eine der Rinnen beschränkt sind, mit der Ablagerung innerhalb oder unterhalb der Versuchsfläche
- Lawinen, die sich über mehrere Rinnen ausbreiten und sich unterhalb der Versuchsfläche ablagern
- Grossflächige Lawinenereignisse über die ganze Versuchsfläche mit Schneeablagerung in der Talsohle.

In Anbetracht der verschiedenen Ausdehnung der Lawinen erschien eine blosser Auszählung der Ereignisse wenig zweckdienlich. So hat IN DER GAND (nicht publiziert) mit graphischen Auswertungen begonnen. Für die Periode 1959 - 1969 wurden alle Schneebrettlawinen mit Anrisshöhen von 50 cm und mehr auf Transparentfolie übereinander gezeichnet, so dass am Schluss die Versuchsfläche Stillberg in Teilflächen mit Lawinenaktivitäten von 0 bis 17 Lawinen aufgeteilt werden konnte. Für die graphische Auswertung mit Hilfe der Computertechnik (RYCHETNIK 1983 a) wurden die annähernd 900 kartierten Lawinen digitalisiert und rechnerisch auf das Einheitsflächennetz projiziert (Versuchsfläche Stillberg = 8692 Einheitsflächen) und dabei jeder Einheitsfläche das Merkmal Lawine (1) bzw. nicht Lawine (0) zugeordnet. Mit Hilfe einer derart geordneten Lawinendatei konnten Lawinenfrequenzen auf Einheitsflächen über gewünschte Zeitperioden und für frei wählbare Lawinenarten bzw. Lawinen ermittelt werden.

Zur Untersuchung der Auswirkung des Lawinenverbaus auf die Lawinenaktivität wurde die Versuchsfläche Stillberg in 10 Teilflächen aufgeteilt (vgl. Figur 2). Die Teilflächen der ersten Reihe (1.1/1.2) werden bei der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt. Die Teilfläche 2.1 im unverbauten Südteil des

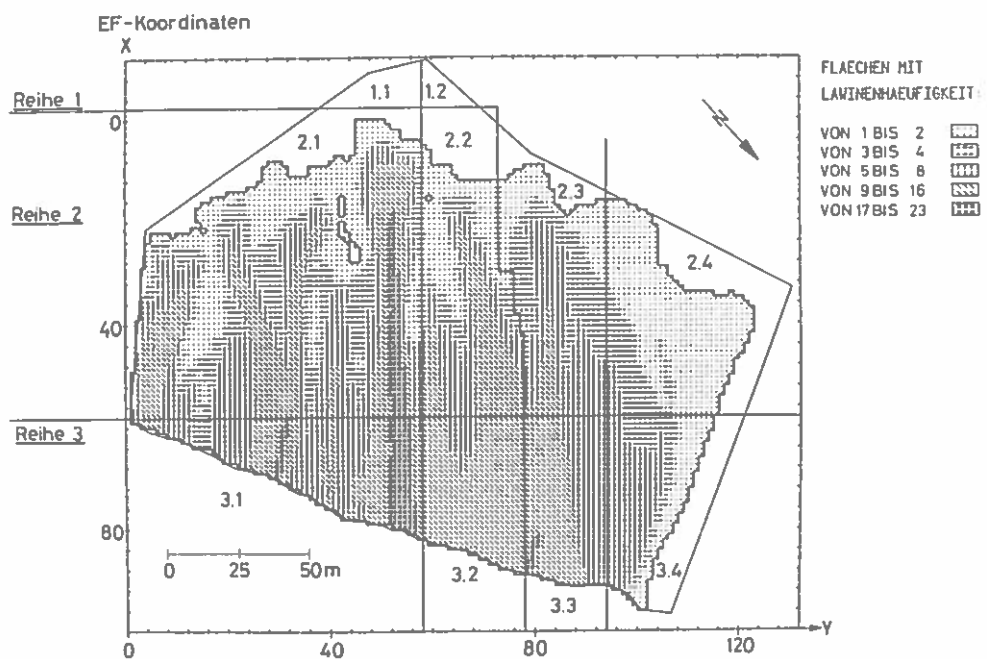
Lawinenverbau unbeeinflusst. Dies gilt mit der einen Einschränkung von möglichen Lawinenausbreitungen aus den verbauten Teilen auch für die Teilfläche 3.1. Die Teilfläche 2.2 stellt den durchgehend, die Teilfläche 2.3 den aufgelöst verbauten Teil der Versuchsfläche dar. Die darunter liegenden Teilflächen 3.2 und 3.3 dürften vom Verbau stark beeinflusst sein. Die Teilflächen 2.4 und 3.4 liegen im unverbauten Nordteil des Versuchsbereiches.

Die langjährige Beobachtungszeitspanne wurde in drei Perioden aufgeteilt: die Periode 1 (1959 - 1969) wird als Zeitabschnitt vor dem Lawinenverbau angesehen, die Periode 3 (1975 - 1982) gilt als Zeitabschnitt nach der Beendigung von Lawinenverbau und Aufforstung und die Periode 2 (1969 - 1975) stellt den Uebergang zwischen den Perioden 1 und 3 mit jährlich zunehmender Verbauungsfläche dar (RYCHETNIK 1983 b).

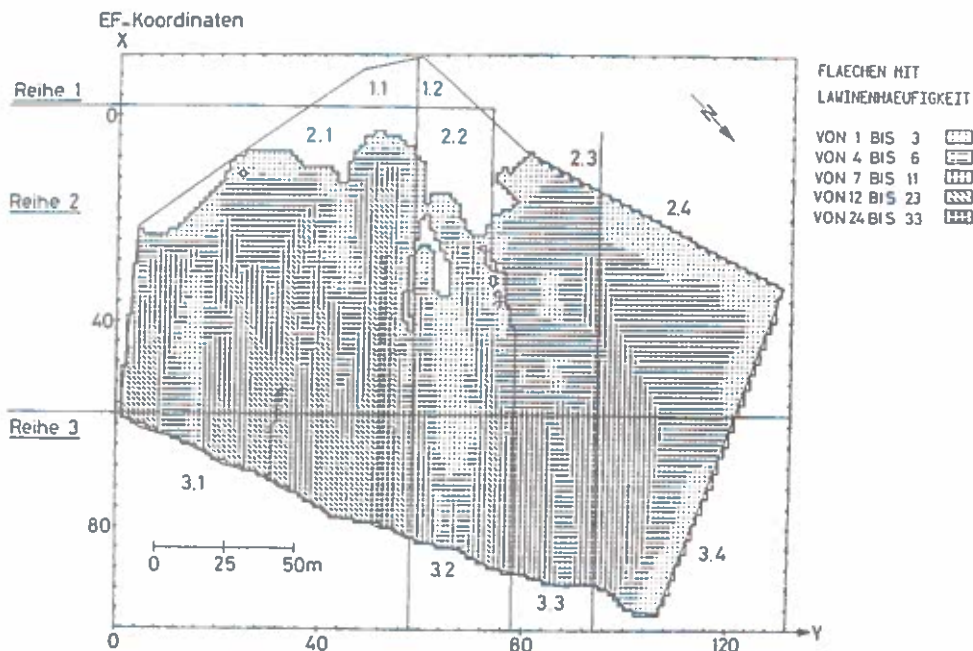
3. R e s u l t a t e

3.1. Lawinenfrequenzen

Die Schneebrettlawinen über die Beobachtungsperioden vor und nach dem Lawinenverbau (Perioden 1 und 3) sind in den Figuren 3 und 4 aufgezeichnet.



Figur 3: Häufigkeit der Schneebrettlawinen pro Einheitsfläche



Figur 4: Häufigkeit der Schneebrettlawinen pro Einheitsfläche nach abgeschlossenem Lawinenverbau (Periode 3, 1975 - 1982).

Jedes Zeichen steht für eine bestimmte Lawinenhäufigkeit auf einer Einheitsfläche in der entsprechenden Periode. Die Abstufung der Lawinenhäufigkeiten wurde den ungleichen Längen der Beobachtungsperioden so angepasst, dass die gleichen Symbole etwa die Lawinenfrequenzen über gleich lange Zeitspannen beschreiben.

Die Lawinenfrequenz nimmt erwartungsgemäss von oben nach unten und von den Rippen zu den Mulden zu. Stellen ohne Lawinen oder mit nur kleinen Frequenzen befinden sich auf der oberen Verebnung und auf den Rippenstandorten. Die in Figur 3 am rechten Rand abgebildete Fläche ohne Lawinen ist durch die spätere Erweiterung der Beobachtungsfläche verursacht. Dadurch sind auch die Angaben über die mittleren Lawinenhäufigkeiten auf den Teilflächen 2.4 und 3.4 verzerrt. Der Vergleich zwischen den Figuren 3 und 4 im Bereich der verbauten Teilflächen 2.2, 2.3 und der unterhalb der Verbauung liegenden Teilflächen 3.2 und 3.3 zeigt eine Reduktion der Lawinenhäufigkeit in diesem Bereich; die Größenordnung wird aus der Tabelle 1 deutlich.

Die mittlere Anzahl Schneebrettlawinen pro Einheitsfläche und Winter auf den Teilflächen der Versuchsfläche Stillberg während den drei Beobachtungsperioden wurden so normiert, dass die erste Reihe (Periode vor dem Lawinenverbau) und die erste Kolonne (unverbauter Teilfläche) 100 % beträgt. Somit beträgt

Tabelle 1: Mittlere Anzahl der Schneebrettlawinen pro Einheitsfläche und Winter auf Teilflächen der Versuchsfläche Stillberg absolut und relativ (%). Relative Zahlen normiert; siehe Text

Periode	Teilflächen							
	Reihe 2				Reihe 3			
	us 2.1	verbaut		un 2.4	us 3.1	unterhalb Verbau		un 3.4
		d 2.2	a 2.3			d 3.2	a 3.3	
1 1959 - 1969	0.79 100	0.70 100	0.54 100	0.16 -	1.49 100	1.60 100	1.32 100	0.34 -
2 1969 - 1975	0.82 100	0.38 52	0.44 79	1.48 100	1.70 110	1.02 61	0.99 72	0.77 100
3 1975 - 1982	0.76 100	0.28 42	0.43 84	0.45 100	1.52 106	0.71 46	0.75 59	0.60 84

Legende: us = unverbaut Süd un = unverbaut Nord
d = durchgehend verbaut a = aufgelöst verbaut

und der ungleichen Geländeabschnitte grob zu eliminieren. Die Teilflächen 2.4 und 3.4 der Periode 1959 - 1969 wurden aus dem schon vorher erwähnten Grunde von der Betrachtung ausgeschlossen.

Tabelle 2: Aenderung der relativen Häufigkeit von Schneebrettlawinen auf den Einheitsflächen der Versuchsfläche Stillberg durch Lawinenstützverbau (Teilflächen 2.2, 2.3, 3.2 und 3.3) in %.

Periode	Teilflächen							
	Reihe 2				Reihe 3			
	us 2.1	verbaut		un 2.4	us 3.1	unterhalb Verbau		un 3.4
		d 2.2	a 2.3			d 3.2	a 3.3	
1 1959 - 1969	0	0	0	-	0	0	0	-
2 1969 - 1975	0	- 48	- 21	0	+ 10	- 39	- 28	0
3 1975 - 1982	0	- 58	- 16	0	+ 6	- 54	- 41	- 16

Im durchgehend verbauten Teil (2.2) wurde die Lawinenaktivität in der Uebergangsphase (Periode 2) um 48 % und in der Periode nach dem Verbau (Periode 3) um 58 % reduziert (siehe Tabelle 2). Auf der darunter liegenden Teilfläche 3.2 betragen die entsprechenden Reduktionen 39 % bzw. 54 %. Die Lawinenaktivität ist hier somit gegenüber der oberen Fläche (2.2) etwas erhöht. Im aufgelöst verbauten Teil (2.3), wo die Verbauungsdichte etwa die Hälfte jener der Teilfläche 2.2 beträgt, zeichnet sich eine Reduktion der Lawinenhäufigkeit um 21 % bzw. 16 % und auf der darunter liegenden Teilfläche 3.3 um 28 % bzw. 41 % in der Periode 2 bzw. 3 ab.

Dieser Vergleich gibt einmal mehr die Tatsache wieder, dass der Lawinenstützverbau keinen absoluten Lawinenschutz gewähren kann (EOFI 1968, SOMMERHALDER 1981). Es gibt immer Lawinen, die in den Verbauungen anbrechen, die Stützwerke durchfliessen und sich unterhalb dem Verbau auf Hängen zwischen 30° 50° ausbreiten können. Damit wird auch die Forderung, dass der Lawinenschutzwald in potentiellen Anbruchzonen direkt unter dem Lawinenstützverbau anschliessen soll, unterstützt.

Tabelle 3: Mittlere Anzahl der Lockerschneelawinen pro Einheitsfläche und Winter auf Teilflächen der Versuchsfläche Stillberg absolut und relativ (%). Relative Zahlen normiert wie in Tabelle 1.

Periode	Teilflächen							
	Reihe 2				Reihe 3			
	verbaut				unterhalb Verbau			
	us 2.1	d 2.2	a 2.3	un 2.4	us 3.1	d 3.2	a 3.3	un 3.4
1 1959 - 1969	0.30 100	0.31 100	0.07 100	0.0 -	0.71 100	0.75 100	0.33 100	0.0 -
2 1969 - 1975	0.33 100	0.56 165	0.14 183	0.02 -	0.88 113	1.49 181	0.78 215	0.08 -
3 1975 - 1982	0.54 100	0.54 97	0.17 135	0.03 -	1.58 124	1.22 90	0.98 165	0.07 -

Legende: us = unverbaut Süd un = unverbaut Nord
d = durchgehend verbaut a = aufgelöst verbaut

Bei den Lockerschneelawinen (Tabellen 3 und 4) ergab sich eine Reduktion der Lawinenhäufigkeit auf den Teilflächen 2.2 und 3.2 (durchgehend verbaut bzw. darunter) in der Periode nach Beendigung des Lawinenstützverbau und zwar um 3 % bzw. 10 %. Sonst nahm die relative Häufigkeit der Lockerschneelawinen pro

auf den Flächen 2.3 und 3.3 stark zu. Die Lockerschneelawinen entstanden vor allem nach Neuschneefällen in der trockenen Neuschneesicht oder im Frühling auf der feuchten Schneeoberfläche infolge Strahlung, Regen oder Neuschnee. Als Initialstellen werden häufig Felsköpfe und Bäume beobachtet. Der von diesen Stellen abfallende Schnee bewirkte die Bildung der Lockerschneelawinen. Der Stützverbau erhöhte die Anzahl solcher Initialstellen bedeutend. Die Ausbreitung der Lockerschneelawinen von der Teilfläche 2.1 in die Teilfläche 3.1 (unverbaut bzw. darunter) bzw. von der Teilfläche 2.3 in die Teilfläche 3.3 (aufgelöst verbaut bzw. darunter) nahm in der Periode 1975 - 1982 allgemein zu; von der Teilfläche 2.2 zur Teilfläche 3.2 (durchgehend verbaut bzw. darunter) nahm sie ab. Daraus geht hervor, dass Lockerschneelawinen auch in der Stützverbauung entstehen, deren talseitige Ausbreitung aber nur bei durchgehender Verbauweise durch die Bremswirkung der Stützwirke eingeschränkt wird.

Tabelle 4: Aenderung der relativen Häufigkeit von Lockerschneelawinen auf den Einheitsflächen der Versuchsfläche Stillberg durch Lawinenstützverbau (Teilflächen 2.2, 2.3, 3.2 und 3.3) in %.

Periode	Teilflächen							
	Reihe 2				Reihe 3			
	us 2.1	verbaut		un 2.4	us 3.1	unterhalb Verbau		un 3.4
		d 2.2	a 2.3			d 3.2	a 3.3	
1 1959 - 1969	0	0	0	-	0	0	0	-
2 1969 - 1975	0	+ 65	+ 83	-	+ 13	+ 81	+115	-
3 1975 - 1982	0	- 3	+ 35	-	+ 24	- 10	+ 65	-

Legende: us = unverbaut Süd un = unverbaut Nord
d = durchgehend verbaut a = aufgelöst verbaut

Die Anzahl Lockerschneelawinen im Stillberg ist mit 77 % aller Lawinen (Periode 1, 1959 - 1969) im allgemeinen gross, ihre Ausdehnung ist aber kleiner als diejenige der Schneebrettlawinen (vergleiche Tabellen 1 und 3), und ihre Tiefe bleibt meist auf die obersten Schneeschichten beschränkt. Sie können sich jedoch bei entsprechenden Voraussetzungen und bei fehlender oder ungenügender Einengung z.B. durch Lawinenverbau zu Grosslawinen entwickeln.

3.2. Aufforstung

Im Versuch Stillberg wird die Forstpflanze als Testobjekt für die Wertung von verschiedenen Standorten und Schutzmassnahmen angesehen. Anhand des Schadenbildes 1983 lassen sich bis jetzt noch keine signifikanten Schädigungen der Aufforstung 1975 infolge der Lawenniedergänge feststellen (SCHOENENBERGER 1985). Der Grund dürfte darin liegen, dass die Forstpflanzen noch zu elastisch sind, um den sich bewegenden Schneemassen einen Widerstand zu leisten. Die Pflanzen werden entweder nach den ersten Schneefällen im Herbst zu Boden gedrückt und sind somit relativ gut gegen die Oberlawinen geschützt oder sie stehen auf schneearmen Standorten, an denen keine grossen Lawinenkräfte auftreten. Die Lawine stellt jedoch einen Faktor dar, den man sich in den Hochlagenaufforstungen auf Hängen zwischen 30° und 50° Neigung nicht wegdenken kann. Ihre zerstörende Wirkung ist meist endgültig und die Bedrohung der Forstpflanzen besteht solange, als die Lawinenentstehung und Ausbreitung nicht durch technische Massnahmen gebannt ist, oder die Aufforstung die Schneedeckenstabilisierung selbst übernimmt.

Tabelle 5: Lawinenfrequenzen auf den Einheitsflächen im Bereich der Aufforstung 1975 (Teilflächen 2.1, 2.2 und 2.3 in der Periode 1 (1959 - 1969)).

Lawinenfrequenz Anz.Law./Periode	Flächenanteil in %
0	11
1 - 4	24
5 - 8	21
9 - 16	25
17 - 32	13
33 - 72	6

Die Tabelle 5 zeigt, dass in der Periode vor dem Lawinenverbau ein relativ grosser Teil (11 %) der Versuchsfläche von den Lawinen unberührt blieb. In einem tiefer gelegenen Lawinenanbruchgebiet, wo die übrigen Umweltfaktoren nicht mehr so extrem wirken, würden solche Flächen als Initialstellen für eine sukzessive, von oben nach unten zeitlich gestaffelte Aufforstung angesehen. Durch eine zeitliche Staffelung der Aufforstung kann die Notwendigkeit eines technischen Verbaus umgangen werden.

Auf der Versuchsfläche Stillberg zeichnet sich ab, dass die obere Verflachung der Fläche zwar keine oder aber nur eine geringe Lawinentätigkeit aufweist, der lange und in grossen Mengen liegende Schnee aber die Wiederbewaldung stark erschwert bis gar verhindert. Das Optimum der Faktorenkombination Lawine/Schneebedeckung wird wahrscheinlich im Hang zu suchen sein und

Jahren (24 % der Fläche). Dies vor allem deshalb, weil in dieser Zone die Lawinenwirkungen noch nicht so gross sind. Ein klein-flächiges Vorgehen bei der Aufforstung scheint hier zweckmässig zu sein. SCHOENENBERGER (1985) empfiehlt denn auch anhand der langjährigen Untersuchungen der Umweltfaktoren und der seit 1975 beobachteten Schäden, Ausfälle und des Zuwachses an den Forstpflanzen (Teilfläche 2.1), die ungünstigen Standorte (z.B. die obere Verflachung, Nordeinhänge der Rinnen und die Lawinenrinnen selbst) von der Aufforstung auszuschliessen. Die günstigen Standorte sollen jedoch mit geschlossenen Gruppen (Rotten) von 25 bis 100 Forstpflanzen gleicher Art, im unregelmässigen Pflanzabstand von 50 bis 100 cm bepflanzt werden. Weiter wird vorgeschlagen, zwischen diesen Rotten einen Abstand von 6 bis 8 m einzuhalten und möglichst verschiedene, dem Standort entsprechende Baumarten zu verwenden. Die nach SCHOENENBERGER (1985) günstigen Standorte auf der Teilfläche 2.1 decken sich einigermaßen mit der Fläche, die durch die Frequenz von 1 bis 4 Lawinen in 10 Jahren gekennzeichnet ist.

Schon heute zeichnet sich ab, dass die für eine Aufforstung ungünstigen Flächen gross genug sein werden, um die Entstehung und Entwicklung von Lawinen zu ermöglichen. Eine solche Erkenntnis wird erfordern, dass solche Standorte vor der Aufforstung mit permanentem Lawinenstützverbau saniert werden. Die Anordnung der Rotten kann dann den veränderten Lawinenverhältnissen in der Anrisszone angepasst werden. Eine Aufforstung der zwar klimatisch günstigeren, jedoch von Lawinen stark frequentierten Teilfläche 3.1 kann erst dann erfolgen, wenn die Entstehung und Ausbreitung von Lawinen in der Anrisszone durch technische bzw. biologische Massnahmen verhindert wird.

3. D i s k u s s i o n u n d A u s b l i c k

Bei der Versuchsfläche Stillberg handelt es sich um ein Aufforstungsgebiet an der oberen Waldgrenze, welches sich in einer Lawinenanbruchzone befindet. Ueber den Aufforstungserfolg solcher Lagen entscheidet ein Faktorenkomplex, von dem bereits heute einige Faktoren schon nahe beim physiologischen Minimum der Pflanze liegen. Wegen der Faktorenvariabilität können sich während der langen Aufwuchsphase der Pflanzen immer letale Faktorenkombinationen ergeben. Auch die Lawine stellt einer dieser Faktoren dar, welcher für sich alleine eine mehrere Jahre bis Jahrzehnte alte Pflanzung vernichten kann.

Durch die Projektion der Lawinen auf die Einheitsflächen wird es möglich Standorte abzugrenzen, die sich bezüglich des Faktors Lawinenaktivität für die Forstpflanze als günstig bzw. ungünstig erweisen. Die Ergänzung mit anderen Faktoren wie z.B. der Schneebedeckung, den Klimafaktoren usw. ergibt ein Standortsmosaik mit verschiedenen Umweltbedingungen,

In den verbauten Teilen der Versuchsfläche wird die Lawinenaktivität durch die Verbauung, mit Ausnahme von Locker-schneeanrissen eindeutig vermindert. Zudem werden die Lawinenabgänge durch den Verbau unter Kontrolle gehalten, so dass sie sich nicht ausbreiten können. Andererseits wird der Schnee durch den Verbau zurückgehalten, die Ausaperung der Fläche verzögert und somit die Wahrscheinlichkeit des Schneepilzbefalles der Pfla-zen erhöht. Auch in den verbauten Teilen der Versuchsfläche zeichnen sich heute Kleinstandorte ab, auf denen die Auffor-stung kaum Erfolg haben wird. Solche Standorte von vornherein zu erkennen und somit von der Aufforstung auszuschliessen, stellt nicht nur eine Kostenersparnis dar, sondern ist auch ein Gebot der Waldhygiene, weil die an ihrem Existenzminimum vegetierenden Pflanzen die Vermehrung und Ausbreitung von Schäd-lingen und Infektionskrankheiten fördern. Da diese Kleinstand-orte eine enge Lagebeziehung zum Lawinenverbau zeigen, können somit in Zukunft bei der Anordnung des Lawinenverbaus die für eine Aufforstung günstigen Standorte besser berücksichtigt wer-den. Ueber die Abgrenzung von Lawinenfrequenzen und Lawinenkräfte, die für die Aufforstung gerade noch erträglich sind, sowie über die minimal erforderlichen Schutzmassnahmen und ihre Anordnung können auf Grund der Lawinenschäden erst zu einem späteren Zeitpunkt schlüssige Aussagen gemacht werden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- EOFI, 1968: Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Richtlinien des Eidg. Oberforstinspektorates für den Stützverbau. Mitt. des EISLF Nr. 29.
- Frey, W., 1977: Bericht über die Anlage der Versuchsaufforstung Stillberg. Interner Bericht EISLF Nr. 552.
- in der Gand, H., 1972: Temporärer Stützverbau und Gleitschnee-schutz. In: Lawinenschutz in der Schweiz. Beiheft "Bündner-wald" 9: 104 - 130.
- de Quervain, M., 1973: Eine internationale Lawinenklassifikation. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie, Bd. IX, Heft 1 - 2: 188 - 206.
- Rychetnik, J., 1983 a: Lawinen auf der Versuchsfläche Stillberg 1959 - 1969. Winterbericht des EISLF 1981/82, Nr. 46: 140 - 145.
- Rychetnik, J., 1983 b: Lawinen auf der Versuchsfläche Stillberg, Periode 1975 - 1982. Interner Bericht EISLF Nr. 616.
- Schönenberger, W., 1985: Performance of a high altitude af-forestation under various site conditions. Proc. 3rd IUFRO Workshop P. 1.07-00, 1984. Eidg. Anstalt für das forst-liche Versuchswesen, Birmensdorf, Bericht Nr. 270 (1985): 233 - 240.

A U F G A B E N U N D Z I E L E D E S
I N S T I T U T E S F Ü R L A W I N E N K U N D E
I N I N N S B R U C K
D E R F O R S T L I C H E N
B U N D E S V E R S U C H S A N S T A L T - W I E N

von
H. Schaffhauser, Wien/Innsbruck

KURZFASSUNG

Eingangs wird über die bisherige Entwicklung der Schnee- und Lawinenforschung in Österreich berichtet. Gerade an der Entwicklung funktionell befriedigender Brems-, Stahlstütz- und Verwehungsverbauungen wären Mitarbeiter der WLW führend beteiligt. Insbesondere ist deren Mitarbeit bei der Erstellung der Schweizerischen Richtlinien für Lawinenverbauung hervorzuheben. Vorerst werden am Institut X für Lawinenkunde der FBVA die bestehenden Lawinenforschungsprogramme des Institutes IX-Wildbachkunde der FBVA - Katastrophenuntersuchungen an Lawinen sowie lawinendynamische Messungen - weitergeführt. Bei allmählicher Verlagerung der Forschungsschwerpunkte und nach Maßgabe der vorhandenen Personal- und Geldmittel wird das Institut X-LK mit Arbeiten zur Erlangung verbesserter Grundlagen für die neuen und volkswirtschaftlich wichtigen Aufgaben der Wildbach- und Lawinenverbauung (Schutz vor Lawinen, Gefahrenzonenplanung, neue Verbautechniken unter Einbeziehung forstlicher Maßnahmen bei der Bewirtschaftung von Lawineneinzugsgebieten) betraut werden. Weiters soll durch eine zweckmäßige Dokumentationsarbeit (Unfallanalyse) an der Verbesserung und Vereinheitlichung der schnee- und lawinenkundlichen Aus- und Weiterbildung auf verschiedenen Ebenen mitgearbeitet werden. Für diese o.a. Aufgaben ist eine weitere, enge Zusammenarbeit mit den Dienststellen der WLW mit fachspezifischen Forschungseinrichtungen im In- und Ausland, den Forstbehörden und mit privaten fachbezogenen Institutionen (alpine Vereine, Seilbahnbetreibern, ect.) notwendig.

T A S K S A N D O B J E C T I V E S O F T H E
I N S T I T U T E O F A V A L A N C H E R E S E A R C H
I N I N N S B R U C K
O F T H E F E D E R A L F O R E S T
R E S E A R C H S T A T I O N - V I E N N A

by

H. Schaffhauser, Vienna/Innsbruck

At the beginning, it is reported on the development of Torrent and Avalanche Control activities in Austria. Researchers of the WLV took an active part in the development of deflection fences, supporting structures and defences to break avalanches which were most satisfying from the functional point of view. In particular, it should be stressed that they also participated in the elaboration of the Swiss Guidelines for Avalanche Control. For the time being, the Institute X of Avalanche Research of the Federal Forest Research Station (FBVA) will continue with current avalanche control programmes including investigations on disasters caused by avalanches and measurements on avalanche dynamics of the Institute IX-Torrent Research of the FBVA. Continuously, emphasis will be shifted to other research work and, according to available personnel and financial resources, the Institute X-LK will be entrusted with activities designed to improve the fundamentals necessary for new tasks to be faced in the field of torrent and avalanche control being most important from the economical point of view (protection against avalanches, danger zone planning, new methods of control taking in account forestry measures in avalanche starting zones). Furthermore, useful documentation work (analysis of accidents) should help to improve and unify formation and training in snow and avalanche research at different levels. In order to achieve the above mentioned targets it is necessary to strengthen collaboration with the services of the WLV, pertinent research institutions in Austria and abroad, forest authorities and pertinent private institutions (alpine clubs, owners of ropeways, etc.)

VERFORMUNGSMESSUNGEN AN EINEM FIRNSCHACHT

W. Ambach⁺ und H. Eisner⁺⁺

+ Institut für Medizinische Physik, Universität Innsbruck,
Müllerstrasse 44, A-6020 Innsbruck

++ Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck,
Schöpfstrasse 41, A-6020 Innsbruck

SUMMARY

On an approximately 20 m deep firn pit in the accumulation area of an Alpine glacier, deformation measurements have been carried out over a period of 11 years. Evaluation of the data was performed by application of a Newtonian model, determining the shear- and bulk viscosity on the one hand, and by introduction of a constitutive equation for temperate firn on the other hand. For the transition for firn into glacier ice, Glen's Flow Law for incompressible ice results therefrom.

Keywords: rheological properties of temperate firn, constitutive equation of temperate firn, shear and bulk viscosity of temperate firn, compactive viscosity of temperate firn.

ZUSAMMENFASSUNG

In einem etwa 20 m tiefen Firnschacht im Akkumulationsgebiet eines Alpengletschers wurden über 11 Jahre Verformungsmessungen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte einerseits durch Anwendung eines Newton'schen Modells mit Bestimmung der Scher- und Volumviskosität, andererseits durch Einführung eines Fließgesetzes für temperierten Firn. Bei der Umwandlung von Firn in Gletschereis ergibt sich daraus das Glen'sche Fließgesetz für inkompressibles Eis.

Schlüsselwörter: Rheologische Eigenschaften des temperierten Firns, Fließgesetz für temperierten Firn, Scher- und Volumviskosität für temperierten Firn, compactive viscosity für

EINLEITUNG

Zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften des Firns eines temperierten Gletschers wurden an einem Firnschacht von 1967 bis 1978 Verformungsmessungen durchgeführt. Der Schacht war ursprünglich 20 m tief und hatte anfangs einen kreisförmigen Querschnitt. In 14 verschiedenen Tiefen wurden an der Schachtwand jeweils 6 bis 7 Meßpegel eingesetzt, deren relative Distanzen in einjährigen Intervallen gemessen wurden. Die verformten Querschnitte des Schachtes wurden durch Ellipsen genähert. Die Ellipsenmittelpunkte liegen auf der Schachtachse. Die Neigung der Schachtachse wurde aus den horizontalen Entfernungen der Ellipsenmittelpunkte vom Lot und deren relativen Vertikalabständen ermittelt.

Der Schacht liegt im mittleren Teil des Akkumulationsgebietes des Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) in 3240 m Seehöhe. Das Dichteprofil ist bekannt; die Werte erstrecken sich im Schachtbereich von 631 kg/m^3 bis 864 kg/m^3 . Das Wasseräquivalent der mittleren jährlichen Rücklagen zwischen 1967 und 1980 beträgt an dieser Stelle 1,3 m. Aus Geschwindigkeitsmessungen an der Oberfläche ist bekannt, daß am Meßort longitudinale und transversale Verformungsraten auftreten (Schneider, 1970). Bezüglich des Spannungszustandes liegt der Schacht daher nicht in einer neutralen Zone.

Die Meßgrößen im einzelnen sind:

- Relative Verformung ϵ_a des Schachtquerschnittes in Fließrichtung x , gemessen in verschiedenen Tiefen (vgl. Abb. 1)
- Relative Verformung ϵ_b des Schachtquerschnittes in Querrichtung z , entsprechend ϵ_a
- Relative Verformung ϵ_h der Kompression der Schichten in verschiedenen Tiefen y
- Neigung γ_x der Schachtachse zum Lot (vgl. Abb. 1)
- Dichte ρ in Abhängigkeit von der Tiefe
- Neigung α der Oberfläche entlang des Fließweges
- Tiefe y der Meßpegel relativ zur Oberfläche

Die Längen der großen und kleinen Achsen der elliptisch verformten Schachtquerschnitte wurden als Zeitfunktion bestimmt. Diese Funktionen können mit Ausgleichsgeraden genähert werden, so daß sich eine zeitlich konstante Verformungsrate ergibt (Eisner and Ambach, 1981).

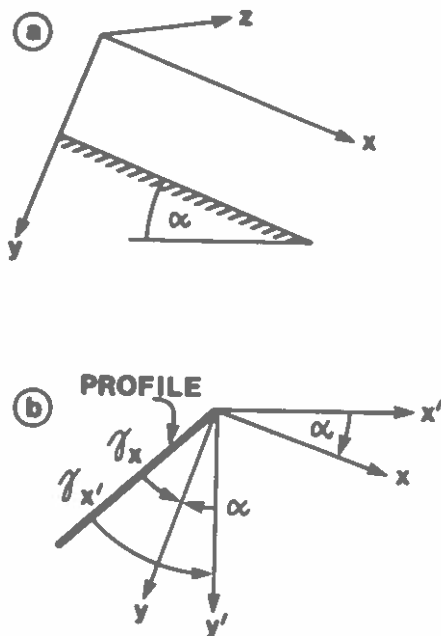


Abb 1: Verwendete Koordinatensysteme

PROBLEMSTELLUNG

Temperierter Firn ist Schnee großer Dichte, der ein Haushaltsjahr überdauert hat und sich im Laufe der Jahre durch Metamorphose und durch Wiedergefrieren von Schmelzwasser in Gletschereis umwandelt. Die Abgrenzung zwischen Firn und Gletschereis ist dadurch gegeben, daß Firn ein luft- und wasser-durchlässiges Material ist, Gletschereis hingegen ist für Luft und Wasser undurchlässig. Firn ist außerdem kompressibel, Gletschereis wird als inkompressibles Material behandelt. Der Übergang von Firn in Gletschereis erfolgt im mittleren Teil des Akkumulationsgebietes des Kesselwandferners in einer Tiefe von 25 bis 30 m.

Die rheologischen Eigenschaften des temperierten Firns können von 2 Standpunkten aus behandelt werden:

- Vom Standpunkt der Schneemechanik:
Es werden dabei die Scherviskosität μ und die Volumviskosität η als Materialeigenschaften für den gegebenen Spannungszustand als effektive Werte ermittelt. Diese Analyse beruht auf der Annahme eines Newton'schen Modells (vgl. Abschnitt Newton'sches Modell).
- Vom Standpunkt der Eismechanik:
Es wird dabei ein Fließgesetz ("constitutive equation") für temperierten Firn formuliert, das bei Übergang von Firn in Eis das "Glen'sche Fließgesetz" ergibt.

ERGEBNISSE

N e w t o n ' s c h e s M o d e l l

In der Schneemechanik werden Verformungen vielfach mit Hilfe eines linearen Modells behandelt (Newton'sches Modell). Dabei wird angenommen, daß μ und η Funktionen der Dichte und der Struktur sind, aber keine Abhängigkeit vom Spannungszustand aufweisen. Diese Annahme ist nicht korrekt (Salm, 1967), so daß die Ergebnisse nur für den Spannungszustand in situ gelten und als "effektive Werte" interpretiert werden müssen. Das lineare Modell erlaubt einen mehrachsigen Spannungszustand als lineare Überlagerung von einachsigen Spannungszuständen darzustellen (Abb. 2), wobei für den mehrachsigen und einachsigen Spannungszustand dieselben Werte von μ und η gelten.

Die Anwendung eines linearen Modells ist erforderlich, weil vom Spannungszustand am Schacht nur die Schneelast bekannt ist und daher die von der Schneelast allein bedingten Verformungsraten dazu in Beziehung gesetzt werden können. Folgende Stoffgleichung wird eingeführt (Eisner et al., i.p.)

$$\sigma_{ij} = 2\mu \dot{e}_{ij} + (\eta - \frac{2}{3}\mu) J_1 \delta_{ij} \quad (1)$$

$$2\mu = \frac{\sigma'_{ij}}{\dot{e}'_{ij}}, \quad 3\eta = \frac{I_1}{J_1} \quad (2)$$

darin sind σ_{ij} , $\dot{e}_{ij}$ die Komponenten des Spannungstensors und des Tensors der Verformungsraten, σ'_{ij} , $\dot{e}'_{ij}$ die Deviatoren, I_1 , J_1 die ersten Invarianten des Spannungstensors und des Tensors der Verformungsraten, δ_{ij} das Kronecker Symbol und μ , η die Scher- und Volumviskosität.

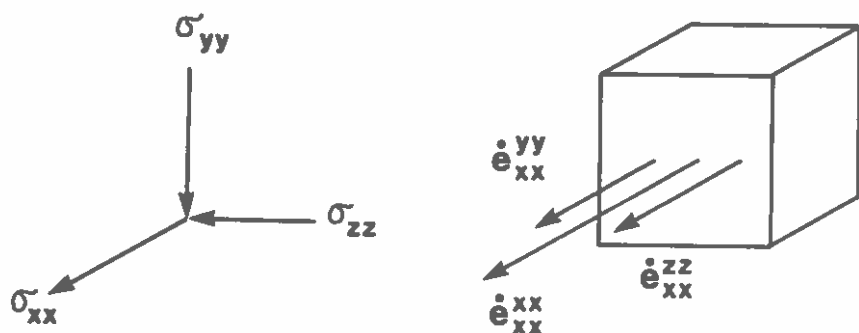


Abb. 2: Überlagerung der Verformungsraten $\dot{\epsilon}_{xx}^{xx}$, $\dot{\epsilon}_{yy}^{yy}$, $\dot{\epsilon}_{zz}^{zz}$ in x-Richtung aus den Spannungen σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz}

Für den einachsigen Spannungszustand, der durch die Schneelast σ_{yy} bedingt ist, erhält man (Eisner et al., i.p.)

$$\mu = \frac{1}{2(1+\nu)} \cdot \frac{\sigma_{yy}}{\dot{\epsilon}_{yy}^{yy}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{2}{3}\mu \cdot \frac{1+\nu}{1-2\nu} \quad (4)$$

darin sind σ_{yy} die Spannung aus der Schneelast, $\dot{\epsilon}_{yy}^{yy}$ die Verformungsrate aus dem einachsigen Spannungszustand σ_{yy} in y-Richtung, ν das viskose Poisson-Verhältnis und μ, η die Scher- und Volumviskosität. ν wird als Funktion der Dichte berechnet (Bader et al., 1951, Eisner et al., i.p.).

Die Werte μ und η können als Funktion der Tiefe und der Dichte dargestellt werden, müssen jedoch als "effektive Werte" interpretiert werden. Zum Vergleich des temperierten Firns mit anderen Schneesorten wird die "compactive viscosity η_c " nach

$$\eta_c = \eta + \frac{4}{3}\mu \quad (5)$$

berechnet (Mellor, 1975). Die Werte von η_c passen zu Werten von Altschnee, wenn in den Bereich größerer Dichten extrapoliert wird (Abb. 3). Sie sind jedoch um etwa 2 Zehnerpotenzen niedriger als Werte von polarem Firn bei gleicher Dichte, weil die Viskosität stark temperaturabhängig ist.

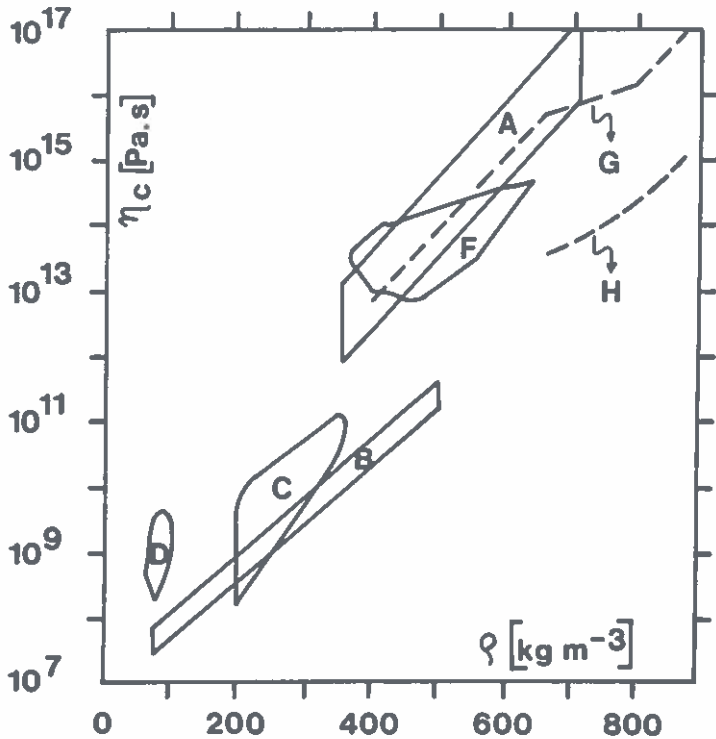


Abb. 3: Compactive viscosity η_c in Abhängigkeit von der Dichte für verschiedene Schneesorten nach Mellor (1975) (A-F), ergänzt mit Werten nach Dörr and Jessberger (1983) (G) und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit (H).
A: Grönland und Antarktis, -20° bis -50°C
B: Jahreszeitliche Schneedecke, Japan, 0° bis -10°C
C: Alpen und Rocky Mountains
D: Kriechtests mit einachsiger Verformung, -6° bis -8°C
F: Kriechtests mit einachsiger Verformung, -23° und -48°C
G: Antarktis (Georg von Neumayer-Station)
H: Temperierter Firn (Ötztaler Alpen)

Fließgesetz für temperierten Firn

Für Gletschereis gilt das "Glen'sche Fließgesetz" in der Form

$$\dot{\epsilon}_{eff} = A \tau_{eff}^3 \quad (6)$$

mit

$$2\dot{\epsilon}_{eff}^2 = \dot{\epsilon}_{xx}^2 + \dot{\epsilon}_{yy}^2 + \dot{\epsilon}_{zz}^2 + 2\dot{\epsilon}_{xy}^2 + 2\dot{\epsilon}_{xz}^2 + 2\dot{\epsilon}_{yz}^2 \quad (6a)$$

$$2\tau_{eff}^2 = \sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 + 2\tau_{xy}^2 + 2\tau_{xz}^2 + 2\tau_{yz}^2 \quad (6b)$$

A ist eine Materialkonstante (Paterson, 1981, p.31).

Es ist wesentlich, daß dieses Fließgesetz für deviatorische Größen gilt, wobei im Fall des Gletschereises wegen der Inkompressibilität für die Verformungsraten die Komponenten des Tensors ($\dot{\epsilon}_{ij}$) und des Deviators ($\dot{\epsilon}'_{ij}$) identisch sind.

Für temperierten Firn wird der Ansatz

$$\dot{\epsilon}_{eff} = A(\tau_{eff})\tau_{eff}^3 \quad (7)$$

eingeführt (Ambach and Eisner, i.p.). Darin wird die Bezeichnung von Gl. (6) übernommen. $A(\tau_{eff})$ ist jedoch eine Funktion der effektiven Spannung und keine Konstante wie im "Glen'schen Fließgesetz". Entsprechend dem "Glen'schen Fließgesetz" (Paterson, 1981, p.84) gilt für die einzelnen Komponenten

$$\dot{\epsilon}_{xy} = A(\tau_{eff})\tau_{eff}^2 \tau_{xy} \quad (8a)$$

$$\dot{\epsilon}'_{xx} = A(\tau_{eff})\tau_{eff}^2 \sigma'_{xx} \quad (8b)$$

$$\dot{\epsilon}'_{yy} = A(\tau_{eff})\tau_{eff}^2 \sigma'_{yy} \quad (8c)$$

$$\dot{\epsilon}'_{zz} = A(\tau_{eff})\tau_{eff}^2 \sigma'_{zz} \quad (8d)$$

Die Größe $\dot{\epsilon}_{xy}$ ist aus der Änderung der Schachtneigung zu bestimmen, ferner gilt

$$\tau_{xy} = -F \int_0^{y_0} \rho g \sin \alpha dy \quad (9)$$

mit $F = 0,5$, wodurch das Querschnittsprofil des Gletscherbettes berücksichtigt wird (Nye, 1965). Damit kann $A(\tau_{eff}) \cdot \tau_{eff}^2$ aus Gl. (8a) ermittelt werden. Allerdings muß zur Berechnung von $\dot{\epsilon}_{xy}$ aus der Neigungsänderung der Schachtachse der Einfluß der longitudinalen und vertikalen Verformungsraten berücksichtigt werden (Fig. 4). Der Zusammenhang der Verformungsraten ergibt sich nach Paterson (1981, p.108) und Raymond (1971) mit

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial \gamma_x}{\partial t} + v \frac{\partial \gamma_x}{\partial y} - \gamma_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (10)$$

$$\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (11)$$

wobei $\dot{\epsilon}_{xy}$ die Scherverformungsrate, γ_x die Neigung der Schachtachse und u , v die Komponenten der Geschwindigkeit sind. Da die Schachtneigungen mit Hilfe der Ausgleichsrechnung durch beste Geraden genähert wurden, gilt $v(\partial \gamma_x / \partial y) = 0$ (Eisner et al im Druck). Bei senkrechter Stellung der Schachtachse zur Oberfläche ist $\gamma_x = 0$ und somit erhält man aus Gl. (10, 11)

$$2\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{\partial \gamma_x}{\partial t} \quad (12)$$

Ferner gilt auf Grund von Meßdaten $\frac{\partial v}{\partial x} \sim 0,04 \frac{\partial u}{\partial y}$, so daß in Gl. (11) $\frac{\partial v}{\partial x}$ gegenüber $\frac{\partial u}{\partial y}$ vernachlässigt werden kann.

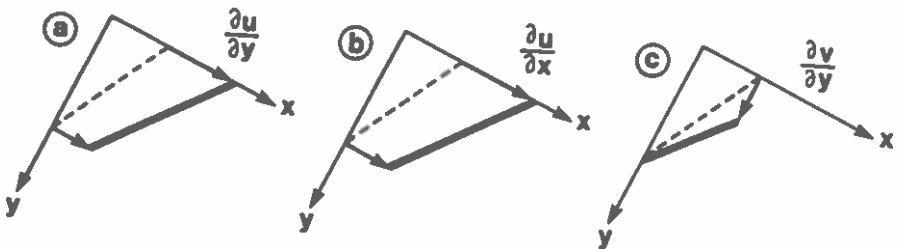


Abb. 4: Änderung der Schachtneigung durch die Einflüsse von $\frac{\partial u}{\partial y}$, $\frac{\partial u}{\partial x}$ und $\frac{\partial v}{\partial y}$

Im nächsten Schritt werden die Komponenten des Deviators σ'_{ij} nach Gl. (8b-d) und weiters τ_{eff} nach Gl. (6b) berechnet. Die Deviatoren $\dot{\epsilon}'_{ij}$ ergeben sich dabei aus den Meßgrößen $\dot{\epsilon}_a$, $\dot{\epsilon}_b$, $\dot{\epsilon}_h$ (Ambach and Eisner, i.p.). Als Ergebnis erhält man die Funktion $A(\tau_{eff})$, die mit Hilfe der Ausgleichsrechnung durch

$$A(\tau_{eff}) = A + B e^{-C \tau_{eff}} \quad (13)$$

genähert wird. A, B und C sind dabei konstante Größen, so daß für $\tau_{eff} \rightarrow \infty$ der Grenzwert $A(\tau_{eff}) \rightarrow A$ resultiert. Der numerische Wert von A entspricht dabei dem Wert A im "Glen'schen Fließgesetz" für Eis bei 0°C, nämlich $5,3 \cdot 10^{-15} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1}$ (Paterson, 1981, p. 39, Tab. 3.3). Fig. 5 zeigt, daß mit der Funktion $A(\tau_{eff})$ dieser Wert für $\tau_{eff} \rightarrow \infty$ gut genähert wird. Als Fließgesetz für temperierten Firn wird daher der Ansatz

$$\dot{\epsilon}_{eff} = (A + B e^{-C\tau_{eff}}) \tau_{eff}^3 \quad (14)$$

mit $A = 9,14 \cdot 10^{-15} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1}$, $B = 2,79 \cdot 10^{-12} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1}$ und $C = 0,1367 \text{ kPa}^{-1}$ vorgeschlagen. Dieser Ansatz gilt für $\tau_{eff} > 20 \text{ kPa}$ und unter natürlichen Spannungsbedingungen im Akkumulationsgebiet eines Alpengletschers.

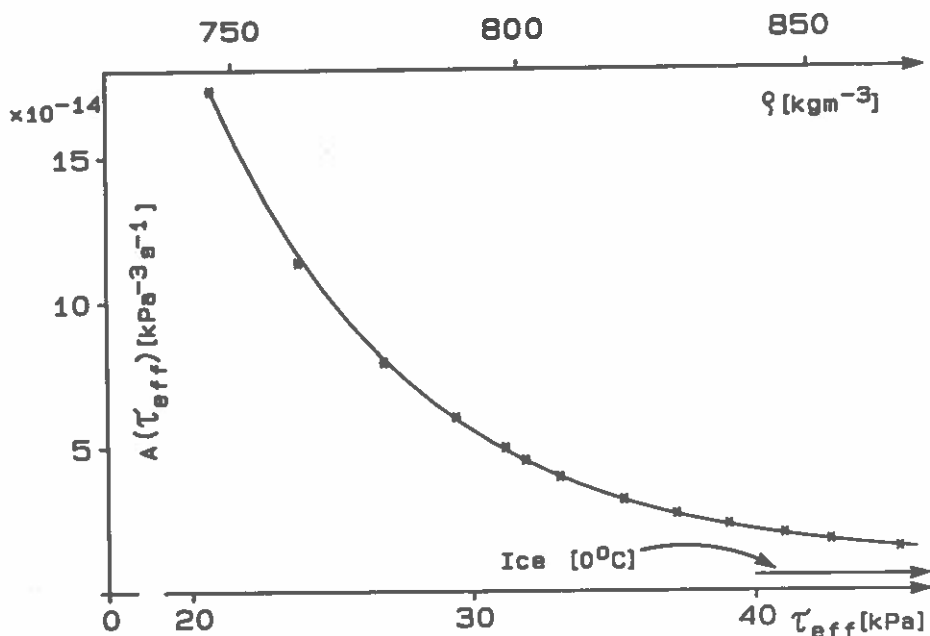


Abb. 5: Parameter $A(\tau_{eff})$ in Abhängigkeit von τ_{eff} und der Dichte

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Verformungsmessungen an einem Firnschacht lassen sich gut mit Hilfe eines linearen Modells auswerten, wobei sich die Scherviskosität μ und die Volumviskosität η für temperierten Firn in Abhängigkeit von der Dichte ermitteln lassen. Diese Ergebnisse sind jedoch nur mit Vorbehalt auf Verformungen unter anderen Spannungsbedingungen übertragbar, weil die Werte von μ und η vom Spannungszustand abhängen und als "effektive Größen" aufgefaßt werden müssen.

Als Fließgesetz für temperierten Firn wird ein dem "Glen'schen Fließgesetz" analoger Ansatz eingeführt und die Kompressibilität des Firns berücksichtigt. Dabei ist die Bedingung erfüllt, daß bei der Umwandlung von Firn in Eis das Fließgesetz für kompressiblen Firn in jenes für inkompressibles Eis übergeht.

Die Autoren danken der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Wien) für die finanzielle Unterstützung der Feldarbeiten, dem Bundesministerium für Inneres (Wien) für die Materialtransporte mittels Hubschraubers und den Mitarbeitern bei den Feldarbeiten und der Auswertung der Meßdaten.

LITERATUR

- Ambach W. and H. Eisner: Proposal for a deviatoric constitutive equation of temperate firn, in Vorbereitung.
- Bader, H., B.L. Hansen, J.H. Joseph and M.A. Sandgren, 1951: Preliminary investigations of some physical properties of snow. SIPRE Report 7.
- Dörr, R. and H.L. Jessberger, 1983: Time-dependent deformation behaviour of structures in snow, firn or ice. Annals of Glaciology Vol. 4, 47-51.
- Eisner H. and W. Ambach, 1981: Strain rate measurements on a 20 m deep firn pit in a temperate glacier (Kesselwandferner Ötztal Alps 1967-1978). Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, 17/1. 169-176.
- Eisner H., W. Ambach and H. Schneider: Time dependent tilt of a 20 m deep firn pit applying a Newtonian model (Kesselwandferner, Ötztal Alps 1967-1978). Polarforschung, in Druck
- Eisner H., W. Ambach and H. Schneider: Evaluation of strain rate measurements on a 20 m deep firn pit, applying a Newtonian model (Kesselwandferner, Ötztal Alps, 1967-1978), in Vorbereitung.
- Mellor, M., 1975: A review of basic snow mechanics. International Association of Hydrological Sciences Publication 114 (Symposium of Grindelwald 1974 - Snow Mechanics).

- ye, J.F., 1965: The flow of a glacier in a channel of rectangular, elliptic or parabolic cross-section. Journal of Glaciology Vol. 5, 41, 661-690.
- aterson, W.S.B., 1981: The Physics of Glaciers, 2nd Ed., Pergamon Press, Oxford.
- aymond, C.F., 1971: Determination of the three-dimensional velocity field in a glacier. Journal of Glaciology Vol. 10, 58, 39-43.
- alm, B., 1967: An attempt to clarify triaxial creep mechanics of snow. In: H. Oura (Ed) Physics of snow and ice. International conference on low temperature science, 1966 Sapporo. Proceedings Vol. 1, Part 2, Hokkaido, Hokkaido University, Institute of Low Temperature Science, 857-874.
- chneider, H., 1970: Die Grundlagen der Vermessung am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) und die Berechnung dieses Gletschers in den Haushaltsjahren 1965/66, 1966/67 und 1967/68. Diss. Phil. Fak. Universität Innsbruck.

LISTE DER VERWENDETEN SYMBOLE

τ_{eff}	Parameter im Fließgesetz als Funktion von τ_{eff}
A, B, C	Materialkonstanten
$\dot{\epsilon}_{eff}$	Effektive Verformungsrate
$\dot{\epsilon}_{ij}$ ($\dot{\epsilon}'_{ij}$)	Komponenten des Tensors der Verformungsrate (Deviators)
$\dot{\epsilon}_{xx}^{yy}$ ($\dot{\epsilon}_{yy}^{xx}, \dot{\epsilon}_{zz}^{zz}$)	Komponente der Verformungsrate in x-Richtung, erzeugt von σ_{xx} (analog $\dot{\epsilon}_{yy}^{yy}, \dot{\epsilon}_{zz}^{zz}$)
$\dot{\epsilon}_{xx}^{yy}$ ($\dot{\epsilon}_{xx}^{zz}$)	Komponente der Verformungsrate in x-Richtung, erzeugt von σ_{yy} (analog $\dot{\epsilon}_{xx}^{zz}$)
g	Schwerebeschleunigung
I_1	Erste Invariante des Spannungstensors
I_1	Erste Invariante des Tensors der Verformungsrate
t	Zeit
u, v, w	Komponenten der Geschwindigkeit
x, y, z	Koordinaten
x', y', z'	Koordinaten
α	Neigung der Oberfläche
γ_x ($\gamma_{x'}$)	Neigung der Schachtachse im System x, y, z bzw. x', y', z'
$v = \frac{dx}{dt}$ bzw. $v = \frac{dx'}{dt}$	

δ_{ij}	Kroneckersymbol
$\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_h$	Relative Verformungen (strains); a = große Achse der Ellipse, b = kleine Achse der Ellipse, h = Schichtdicke
$\dot{\epsilon}_a, \dot{\epsilon}_b, \dot{\epsilon}_h$	Relative Verformungsraten (strain rates) von $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_h$
η	Volumenviskosität
η_c	compactive viscosity
μ	Scherviskosität
ν	Viskoses Poisson-Verhältnis
ρ	Dichte
$\sigma_{ij} (\sigma'_{ij})$	Komponenten des Spannungstensors (Deviators)
τ_{eff}	Effektive Spannung

EINSATZ EINES MIKROCOMPUTERSYSTEMS BEI GLEITSCHNEEMESSUNGEN

(Kurzfassung)

Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Lackinger
Universität Innsbruck

EINLEITUNG

Im Forschungsprojekt "Schneegleiten und Gletschneelawinen" wird mit Hilfe eines Meßfeldes in einem Steilhang und einer Meßstation auf der Nordkette oberhalb von Innsbruck unter anderem durch Dauermessungen untersucht, welche Vorgänge sich beim Gleiten, bei der Bildung von Gletschneerissen und bei der Auslösung von Gletschneelawinen abspielen. Einzelheiten über die Meßstation und die Meßmethoden sowie das Forschungsprojekt und seine Ziele sind aus Heft 153 dieser Reihe (LACKINGER, 1984) zu entnehmen.

Während des Gleitens, besonders intensiv aber bei einem Lawinenabbruch und schon einige Zeit vorher, sendet die Schneedecke mikroseismische Signale (Rucke, Geräusche) als Folge von Strukturbrüchen aus. Diese Emissionen werden, ebenso wie die Gleitgeschwindigkeit, an mehreren Stellen des Meßfeldes mit Sensoren (Beschleunigungsaufnehmer und Gletschuhe mit Impulsgebern) erfaßt, die sich bewährt haben und beibehalten werden.

Die bisher zur Registrierung eingesetzte Anlage, bestehend aus einem Zählwerk und einem druckenden Taschenrechner für die Registrierung von Gleitwegen bzw. -geschwindigkeiten (2 Aufnehmer) und aus einem Zweilinien-Flachsreiber für die Analogaufzeichnung der mikroseismischen Signale (2 Aufnehmer), benötigte nicht nur häufige Ablesungen, Wartung und Kontrollen, sondern war auch für die Interpretation der Meßergebnisse nicht voll befriedigend. Wohl hat die Analogregistrierung wesentliche Vorteile (z.B. kontinuierliche Aufzeichnung), jedoch sind die Nachteile des verwendeten Schreibers (geringe Auflösung bei doch großem Papierverbrauch, Abnützung der Schreibstifte) doch gravierend. Die Aufzeichnung und Analyse der Meßgrößen mit Hilfe des Mikrocomputersystems MIKROMET soll es in Zukunft ermöglichen, die Vorgänge bei der Entstehung von Gletschneelawinen genauer, komfortabler und nahezu vollautomatisch zu erfassen, um die maßgebenden Mechanismen und Parameter zu erkennen, sowie den Lawinenabgang vorhersagen zu können.

MIKROCOMPUTERSYSTEM MIKROMET

Die Hardware des Systems (siehe Abbildung) besteht aus dem Pocketcomputer Sharp PC-1500 (19,5 kB RAM- und 16 kB ROM-Speicher) mit integrierter Uhr, der in Basic und Maschinensprache programmierbar ist, einem 4-Farben-Drucker-Plotter CE 150 und einem Kassettenrekorder CE 152 als Massenspeicher. Das Interface MIKROMET 3 wurde, ebenso wie die Adaptierung des PC 1500, von Prof. Dr. A. Cernusca, Innsbruck entwickelt und enthält neben den erforderlichen I/O-Schnittstellen (Anschluß der Meßleitungen und Verbindung mit dem PC 1500) einen schnellen A/D-Wandler (Meßrate bis 10 kHz) zur Digitalisierung der Meßsignale, einen Multiplexer zur Meßstellenumschaltung, gesteuert durch den Rechner, und einen 4-fach-Optokoppler zur galvanischen Trennung der Gleitweggeber-Stromkreise. Die Anlage ist bis 16 Stellen ausbaufähig, derzeit sind nur zwei Mikroseismik- und vier Gleitgeschwindigkeitsanschlüsse aktiviert; sie kann mit den eingebauten Akkus oder mit Netzanschluß betrieben werden. In der derzeitigen Testphase seit Jänner 1985 läuft das Mikrocomputersystem mit den seit 1981 eingesetzten Registriergeräten parallel, um den Anschluß in der Interpretation der Aufzeichnungen herzustellen (siehe Abbildung).

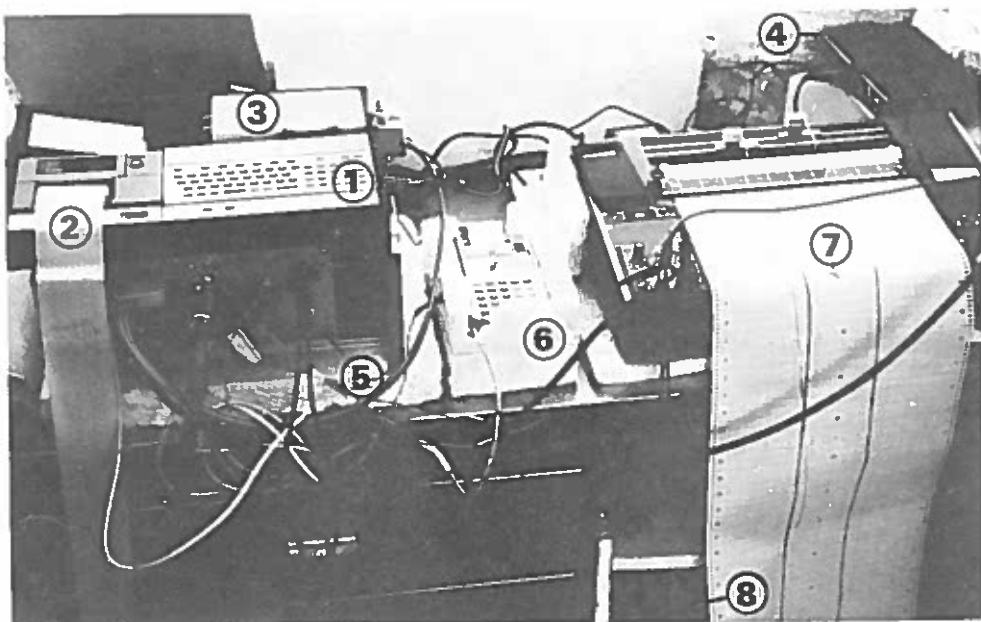
Besonders flexibel wird die Meßanlage durch die frei programmierbare Software, durch die alle Steuerungs- und In-Situ-Vorauswertungsfunktionen des PC-1500 den anfallenden Meßgrößen bzw. -aufgaben optimal angepaßt werden können. Dabei werden die jeweiligen Vorteile der Programmiersprachen für spezielle Programnteile ausgenützt, indem z.B. das sehr schnelle Maschinenprogramm zur zyklischen Signalabtastung und schnellen Speicherung eingesetzt wird, während Identifizierungsdaten, Ausdrucke und externe Speicherung in Basic programmiert sind.

Im schnellen Maschinenprogramm erfolgt die unmittelbare Meßdatenverarbeitung: Jeder Meßkanal wird in einem Abtastintervall abgefragt, das für die Mikroseismik frei wählbar ist (z.B. 10 ms), und für die Gleitweggeber 0,1 ms beträgt. Die mikroseismischen Signale - transiente, gedämpfte Schwingungen - werden einer Signalanalyse unterworfen, wobei die positiven Halbwellen mit ca. 6,5 kHz digitalisiert und nach der maximalen Amplitude im Abtastintervall klassifiziert werden. Jedes Signal wird aufgrund seiner maximalen Amplitude einer von 5 Klassen mit frei wählbaren Schwellen zugewiesen und im zugehörigen Zwischenspeicher (Minutenspeicher) aufsummiert. Die jeweilige Schaltstellung der Gleitweg-Impulsgeber wird durch eine H/L-Abfrage ermittelt; bei einer Änderung gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf wird der entsprechende Minutenspeicher um eins erhöht. Dies entspricht zwei Millimeter Gleitweg.

Diese Vorgänge wiederholen sich zyklisch, bis das vorgegebene Meßintervall (z.B. 1 Minute) abgelaufen ist. Danach erfolgt eine Umschaltung in das Basic-Programm, das die Klassenwerte aus den Minutenspeichern summierend in Stundenspeicher ablegt. Gewöhnlich werden jede Stunde Zwischenergebnisse aller Meßstellen mit Datum und Uhrzeit ausgedruckt.

Durch die automatische Vorauswertung der Signale ist eine ereignisangepaßte Verkürzung des Stundenintervalls möglich, um kritische, d.h. labile Zustände der Schneedecke besser erfassen zu können. Bei solchen Zuständen ist eine Intensivierung der Signale, sowohl der Anzahl als auch der Größe nach, zu beobachten. Beim Erreichen von vorgegebenen Grenzwerten in den Minutenspeichern wird das Maschinenprogramm verlassen, und im Basic-Programm

druckt. Mit diesen Ausdrucken können im Feld die wesentlichen Daten in einer ersten Stufe interpretiert werden. Auch die Endauswertung und graphische Darstellung der Ergebnisse (z.B. als Ganglinien, Blockdiagramme und anderes) kann mit dem PC-System erfolgen. Dazu dient ein zweiter Rechner mit Peripheriegeräten im Tal, der die Meßdaten von der Kassette liest und verarbeitet.



Die parallel laufenden Meß- und Registriergeräte der neuen und der alten Generation: 1 ... Mikrocomputer PC-1500, 2 ... Vierfarben-Plotter-Drucker CE 150, 3 ... Interface MIKROMET 3, 4 ... Kassettenrekorder CE 152, 5 ... Interface und Stromversorgung, 6 ... druckender Rechner für Gleitwege, 7 ... Zweilinien-Flatschreiber, 8 ... zwei Ladungsverstärker

BISHERIGE ERFAHRUNGEN

Wie schon erwähnt, wurde das Mikrocomputersystem im Jänner 1985 in Betrieb genommen. Zu dieser Zeit hatte es im Meßfeld nur 45 cm Schneehöhe gegenüber ca. 2 m in normalen Wintern. Durch die vorhergegangene ausgeprägte Kälteperiode kam es auch nur zu sehr geringem Gleiten, in Summe zwischen 15 und 70 cm je nach Meßstelle. Leider zeigte auch die Mikroseismik nur geringe Aktivitäten der Schneedecke an. Während diesen konnte festgestellt wer-

reagiert, als der doch recht träge Schreiber. Andererseits kann Grundrauschen der langen Meßleitungen besser unterdrückt werden. Allerdings wird weiterhin die Interpretation der Aufzeichnungen schwierig bleiben, da infolge der erforderlichen großen Empfindlichkeit der Meßsysteme auch Störungen von außerhalb der Schneedecke entsprechend mitverstärkt und registriert werden. Insgesamt hat das System MIKROMET einwandfrei funktioniert. Seine weitreichenden Möglichkeiten, z.B. zur kompletten Signalanalyse sollen in Zukunft vermehrt ausgenutzt werden.

LITERATUR

- CERNUSCA, A. (1984): Lawinenforschung-Meßprogramm I; Manual zu MIKROMET 3; Innsbruck (unveröffentlicht)
- LACKINGER, B. (1982): Akustische und seismische Messungen in der Schneedecke zur Frühwarnung von Lawinen-Abbrüchen; Jahrbuch 1981 Sicherheit im Bergland, Hrsg.: Österr. Kuratorium für alpine Sicherheit, Wien, S. 205 - 213
- LACKINGER, B. (1984): Schnee- und Lawinenforschung am Institut für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau der Universität Innsbruck: 1) Untersuchungen an Gleitschnee-Lawinen 2) Boden- und felsmechanische Probleme bei Lawinenschutzbauten; Mitt. Forstl. Bd. Versuchsanstalt Nr. 153, S. 155 - 173

D I E B E R G S T U R Z - U N D M U R L A W I N E N
V O M M O U N T S T . H E L E N S ,
W A S H I N G T O N , U S A

von

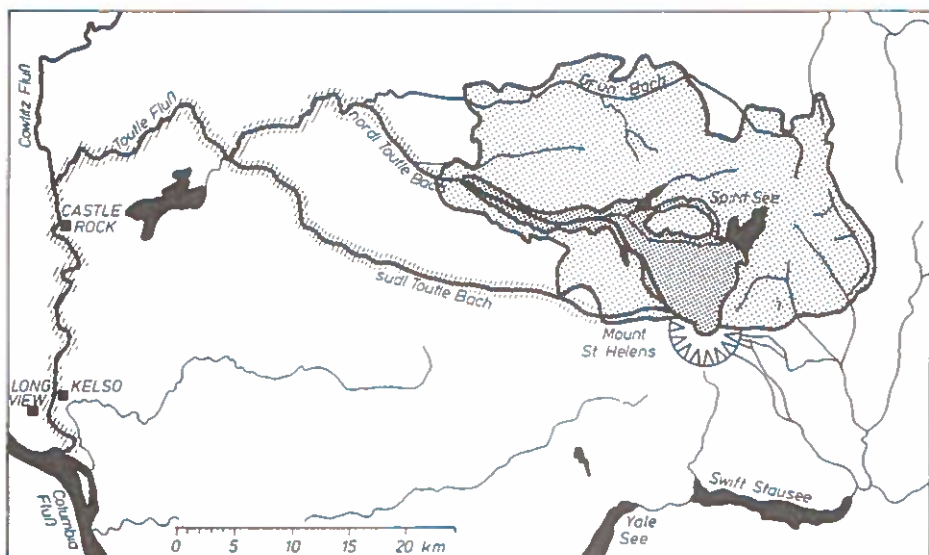
G. Kronfellner-Kraus

Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

KURZFASSUNG

Die Vulkanausbrüche des Mt. St. Helens im Nordwesten der USA, im Kaskadengebirge des Staates Washington, verdienen sowohl als Naturkatastrophen an sich, als auch hinsichtlich der dabei angestellten Beobachtungen, Untersuchungen und Messungen, Analysen und Maßnahmen ein weit über die Vulkanologie hinausgehendes Interesse. Geologen und Hydrologen, Forstingenieure und Techniker sind fast gleichermaßen betroffen. Im folgenden wird versucht, die wildbach- und lawinenkundliche Problematik zusammen zu fassen.

Der katastrophale Bergsturz und Vulkanausbruch des Mount St. Helens am 18. Mai 1980 hatte sich durch zweimonatige Bebenbetätigung angekündigt. Die Bebenaktivität begann am 20. März 1980. Sie war in den ersten fünf Tagen besonders stark (8 Beben der Magnitudenklasse über 4 pro Stunde) und nahm dann allmählich ab. Während dieser Zeit bildete sich ein Bruch- und Grabensystem am Gipfel und die Nordflanke des Vulkankegels bauchte sich nordwärts aus. Ab dem 25. April begann man diese Bewegungen geodätisch genau zu erfassen. Mit Hilfe dieser Messungen und an Hand von älteren und neuen Luftbildaufnahmen war es dann möglich die Gesamtbewegung zu analysieren. Demnach betrugen die Bewegungsraten anfänglich durchschnittlich 5 m/Tag (max. 9,7 m/Tag), nahmen dann bis Anfang Mai allmählich auf 1-2 m/Tag und bis knapp vor dem Hangbruch auf weniger als 1 m/Tag ab. Die Hangbewegung war mit einer magmatischen Durchdringung und Feuchtigkeitsanreicherung verbunden. Es bestand eine gewisse aber unklare Korrelation zwischen Hangbewegung und Bebenaktivität.

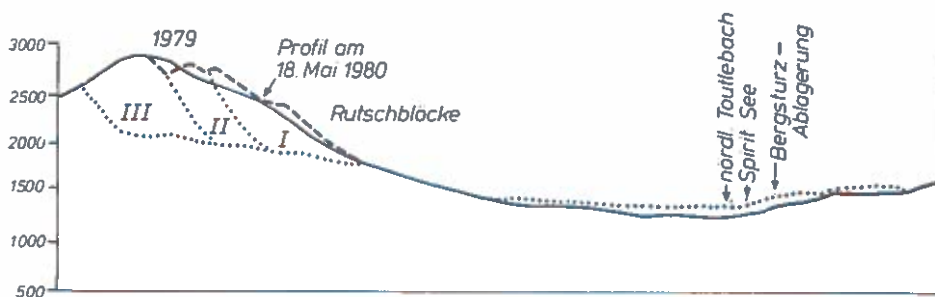


FLACHE DES GEWORFENEN UND VERBRANNTEN WALDES

BERGSTURZ-LAWINEN-ABLAGERUNGEN

SCHLAMM-STROME UND -ABLAGERUNGEN

Übersichtskarte über Bergsturz-Lawinen-Ab lagerung, Fläche des geworfenen oder verbrannten Waldes (insg. 550 km²), der Schlammströme in den Toutle-Bach, sowie im Cowlitz- und Columbia-Fluß (nach Janda et al. 1981 u.a.)



Querprofil des St. Helenen-Berges 1979, vor (—) und nach (- - -) dem 18. Mai 1980

Im Verein mit einem Beben der Richter-Magnetuden-Klasse 5,2 kam es am 18. Mai 1980 zum Zusammenbruch des Hanges. Er konnte solange in allen Einzelheiten vermessen und photographisch festgehalten werden bis die Ausbruchs-Staubwolke alles verdeckte. Das Ausbruchereignis wurde auch von Vulkanologen beobachtet, die zu dieser Zeit den Berg überflogen. Der Bergstutsch erfolgte blockweise. Der I. Rutschblock wanderte in 26 Sekunden 700 Meter vor- und 100 Meter abwärts. Die nächsten 700 Meter nahmen nurmehr 11 Sekunden in Anspruch (70 m/sec oder 252 km/h) und waren von Eislawinen von den Gletschern begleitet. Hinter dem Rutschblock I folgte der Rutschblock II und in mehreren Staffeln der Rutschblock III. Die Rutschbewegung und Druckentlastung führte zu hydrothermischen und magmatischen Explosionen deren seitlicher Ausstoß 550 km² Landfläche vollkommen verwüstete.

Der Zerfall der rutschenden Masse führte zur Bildung einer riesigen Materiallawine, die in ungefähr 10 Minuten 23 Kilometer weit in das nördliche Toutle-Tal strömte (durchschnittliche Geschwindigkeit 35 m/sec. oder 126 km/h). Dabei wurden auf 60 km² 2,8 km³ Material durchschnittlich 45 Meter hoch abgelagert. Diese Ablagerungen sind weitgehend unsortiert und weisen zahlreiche für Bergsturzablagerungen charakteristische Hügel, Gräben und Tümpfe auf. Ein Lawinenarm stieß in den nördlich liegenden Spirit-See und verursachte dort eine Flutwelle die am anderen Ufer 260 Meter hoch aufbrandete. Die Welle schwappte dann zurück, überfloß und erodierte Teile der Lawinenablagerung. Ein anderer Lawinenarm überfuhr den Goldwasser-Rücken und strömte hinter diesem durch den Goldwassergraben ab. Die Ablagerungen der Materiallawine versperrten zahlreiche in das Toutle-Tal einmündende Seitengräben, sodaß sich oberhalb der ehemaligen Mündungen Stauseen in den Seitengräben bildeten. Die Fahrböschung betrug 5° und der durchschnittl. Reibungskoeffizient 0,09. Das Verhältnis von Fallhöhe zu Reichweite einerseits zum Volumen der Lawine andererseits stimmt gut mit den Werten anderer großer Massenbewegungen überein.

An die Lawine schloß sich ein Laharstrom an, der das anschließende untere Toutle-Tal verheerte. Der Schlammstrom und die Schlammablagerungen richteten auch in den Vorflutern, Couliitz- und Columbia-Fluß, schwere Schäden an. Der Fischbestand wurde vernichtet und die Schifffahrt im Columba-Fluß für einige Tage unterbrochen.

Auch in den übrigen, den Berg entwässernden Gräben, kam es zu Erosionen, Muren und Laharströmen. In einem steilen Graben am Südost-Abhang des Mt. St. Helens hat man eine Meßstelle errichtet um die durch den Graben abgehenden Muren messen und untersuchen zu können. Sehr eingehend hat man sich auch mit der Erosion befaßt. Durch die explosive Ausstoßwolke wurde die Vegetation auf 370 km² weggefeht und auf weiteren 110 km² ver-

brannt. Im ersten Jahr war die Rillenerosion dramatisch, sie ging jedoch in den folgenden Jahren rasch zurück. Am Ost-Sektor war die Rutscherosion in den ersten beiden Jahren besonders dort stark, wo die Bäume samt Wurzeln geworfen worden waren. Im Übrigen war die Flächen- und Rillenerosion in zuvor kahlgeschlagenen Gebieten größer als in jenen wo die Wälder nur verbrannt wurden.

Es wurden sofort Schadensbehebungen eingeleitet, das Gebiet mit Saaten wiederaufgeforstet und Straßen wiederhergestellt. Am Ende der Materiallawine wurde ein 2 Kilometer langer und 10 Meter hoher Geschieberückhaltedamm errichtet und Materialablagerungen in Bächen und Flüssen gebaggert um die Abflußverhältnisse wieder zu normalisieren. Man begann die aufgestauten Seen zu entwässern.

Nach mehr oder weniger regelmäßig wiederholten kleineren Ausbrüchen kam es dann am 19. März 1982 zu einer zweiten schweren Katastrophe. In der (2,3 km³ umfassenden) nach Norden offenen Ausbruchsnische des St. Helen-Berges (dem sog. "Amphitheater") hatte sich in der Zwischenzeit ein 200 Meter hoher Dom aufgebaut. Ein heißer Vulkan-Ausstoß von der Dom-Südflanke verursachte eine Schneelawine die vom Nordhang des Amphitheaters (Vol. 10⁶ - 10⁷) 8,5 Kilometer weit nach Norden stürzte (Fahrböschung 90°). Gleichzeitig bildete sich zwischen Dom und Amphitheaterhang ein See dessen Wassermassen (4.10⁶m³) zu beiden Seiten des Domes nach Norden ausbrachen. Der folgende Laharstrom verwüstete das Toutle-Tal zum zweiten Mal. Es kam zu neuerlichen Erosionen und Ablagerungen. Der am Ende der Lawinenablagerung errichtete Damm wurde an 2 Stellen durchbrochen. Der Durchfluß des Laharstromes erreichte zwar nicht jene Höhe des Jahres 1980, war aber trotzdem verheerend. Um unkontrollierte Seerausbrüche vorzubeugen ist man derzeit dabei, mit Stollen die Seespiegel abzusenken.

Mit der Überwachung der gesamten Vulkankette in Oregon und Washington ist das David A. Johnston Cascaden Vulkan Observatorium des US geologischen Dienstes in Vancouver, Washington, befaßt. In diesem Institut besteht auch eine, mit modernsten Hilfsmitteln ausgestattete gewässerkundliche Abteilung, welche alle den Berg entwässernden Gräben und Bäche hinsichtlich Erosionen, Abflüsse, Geschiebe und Feststoffe kontrolliert. Darüber hinaus besteht auch eine Zusammenarbeit insbesondere mit dem Geologischen Institut der Universität von Washington in Seattle und mit der Forstlichen Versuchsanstalt in Corvallis Oregon. Bachverbauungen und Flußregulierungen besorgt das US-Armee-Ingenieurkorps. Die am Mount St. Helens angestellten Untersuchungen und Verbauungen verdienen erhöhtes Interesse und es wird im folgenden weiterführende Literatur angegeben.



Der Mt.St.Helens und das verwüstete Gebiet vom
Goldwater-Rücken aus



SCHRIFTTUM

- Janda, R.J. & K.M. Scott & K.M. Nolan & H.A. Martinson (1981): Lahar movement, effects and deposits. In: Lipman, P.W. and Mullineaux, H.A. (eds). - The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington; US Geological Service Professional Paper 1250, p. 461-478.
- Swanson, F.J.: Ecological effects of the eruption of Mount St. Helens: an overview. Doc. 1551D, Disc. 0061D (11 pp).
- Voight, B. & R.J. Janda & H. Glicken & P.M. Douglass (1983): Nature and mechanics of Mount St. Helens rockslide-avalanche of 18 May 1980. Geotechnique, Vol.33, p. 243-273.
- Waite, R.B.jr. & T.C. Pierson & N.S. MacLeod & R.J. Janda & B. Voight & R.T. Holcomb: Eruption-triggered avalanche, Flood and Lahar at Mount St. Helens - Effects of Winter Snow-pack. Science, vol.221, p. 1394-1397.
- Sabo (Erosion Control) Division, Public Works Research Institute of Japan, 1983: Proceedings of the Symposium on Erosion Control in Volcanic Areas, July 6-9, 1982, at Seattle and Vancouver, Washington (USA). Techn.Memorandum of PWRI No. 1908; (377 p).

ZUR ANALYSE DER BERGSTURZMUREN AM HUASCARAN, PERU

Helmut J. Körner

Bayerisches Geologisches Landesamt, München

Gefahrenzonen von Bergstürzen und Lawinen grenzen Bereiche, die von Sturzmassen überfahren, erreicht und betroffen werden, von jenen ab, die vor solchen Einwirkungen sicher sind. "Gefahrenzonenplanung", d.h. die Festlegung der Gefahrenzonen mit ihren rechtswirksamen Eingriffen in den Grundbesitz, erfolgt aufgrund der Erfahrung. Der Erfahrungssammlung dienlich ist die Bemühung, möglichst viele Bergsturzereignisse beschreibend zu erfassen und zu analysieren. Diese Aufgabe stellt sich auch das Heft 6 der Reihe "Hochgebirgsforschung" (Patzelt 1983) hinsichtlich der außergewöhnlichen Bergsturzkatastrophen vom Huascaran in den Jahren 1962 und 1970.

Der Band ist dem Andenken des im Jahr 1979 verstorbenen Universitätsprofessors und langjährigen Alpenvereinsvorsitzenden Hans Kinzl, Innsbruck gewidmet, der mehrere Expeditionen mit bergsteigerischer und wissenschaftlicher Zielsetzung in die Cordillera Blanca Perus führte (Kinzl 1950), der die kartographischen Aufnahmen des Huascaran Massivs, des späteren Katastrophengebietes veranlaßte und der damit die Grundlage für die Bearbeitung der Bergsturzereignisse schuf.

Drei Kartenwerke (Hofmann: Nevado Huascaran, 1:25 000, Schneider: Gletschersturzmure vom 10.1.62, 1:15 000, Welsch: Bergsturzmure vom 31.5.1970, 1:25 000) sind als Erstveröffentlichungen in diesem Band enthalten und erläutert. Darüber hinaus enthält er neben zahlreichen Bilddokumenten eine Abhandlung von Stadelmann zur Dokumentation der Bergsturzereignisse, sowie einen Beitrag, in dem der Verfasser versucht, diese Bergsturzvorgänge zu analysieren. Dazu sollen hier einige erläuternde und ergänzende Bemerkungen angefügt und insbesondere auf zwischenzeitlich erschienene Literatur zum Thema eingegangen werden.

1.) Das Ereignis vom 31.5.1970 beschreibt Welsch (1984) mit den folgenden Worten: "Der Berg- und Gletschersturz vom Huascarán Nordgipfel (6654 m) nahm, ausgelöst durch seismische Erschütterungen, knapp unterhalb des Gipfels seinen Anfang. Eine riesige Schuttlawine, die sich durch Schmelzwasser in einen schnellfließenden Schlammstrom verwandelte, begrub die Stadt Yungay (2538 m) und einen Teil von Ranrahirca, das schon 1962 durch ein ähnliches Ereignis zur Hälfte zerstört worden war. Das Ereignis forderte mehr Tote als alle bisher bekannten Bergstürze. Von den 18000 Einwohnern Yungays überlebten nur 93 Erwachsene, die sich auf den 20 m hohen Friedhofshügel im Süden der Stadt retten konnten, und 200 Kinder, die gerade eine Zirkusvorstellung auf einem Fußballplatz nördlich der Stadt besuchten. Der Schlamm- und Schuttstrom erreichte auf seinem 15 km langen Weg Spitzengeschwindigkeiten bis 450 km/h, brandete über den Río Santa auf den gegenüberliegenden Hang der Cordillera Negra auf und vernichtete die halbe Ortschaft Matacoto. Der Fluß wurde aufgestaut und vermurte, als er nach 30 Minuten wieder ausbrach, das Santatal über weitere 15 km bis Caraz, wonach die Flutwelle bis zur Mündung noch viele Zerstörungen anrichtete."

Solch ein infernalisches Geschehen erscheint unfassbar; trotzdem müssen wir uns bemühen es wissenschaftlich zu verarbeiten.

2.) Dabei sind Fragen wie die folgenden zu beantworten:
 - Wie war und ist die Standsicherheit des Huascarán - Nordgipfelmassivs einzuschätzen? - Warum sind dort so große Massen in Bewegung geraten? - Kann sich ein solches Ereignis wiederholen? - Lassen sich die Bergsturzereignisse rechnerisch nachvollziehen? - Wenn ja, inwieweit waren sie dann voraussehbar? - Wie etwa wäre die Reichweite und die Berandung der Gefahrenzone festzulegen? - Wie läuft ein solches Ereignis ab? - Welche Geschwindigkeiten treten auf? - Welche Schutz-Maßnahmen wären möglich?

Die vom Verfasser gegebenen Antworten stehen zur Diskussion.

3.) Die mechanische Analyse des Lawinengeschehens folgt einem einfachen Prinzip. Man betrachtet dabei die Absturzmasse mit Schwerpunkt vor dem Anbruch in Punkt A (siehe Abb. 2), die über die Sturzbahn A'P T E' ihren Weg nimmt und nach dem Sturz am Hangfuß mit Schwerpunkt in E wieder zur Ruhe kommt. Die Verbindungsgerade der Schwerpunkte A u. E hat die Neigung α , bzw. das Gefälle

$$\tan \alpha = \frac{h}{r_E} = \frac{\text{Fallhöhe}}{\text{Reichweite}}$$

In geometrischer Hinsicht stellt dieses "Schwerpunktgefälle" die mittlere Neigung aller möglichen Linien dar, die vom Punkt A ausgehen und in E enden; physikalisch gesehen entspricht es dem (konstanten oder mittleren) Gleitreibungskoeffizienten zwischen dem Sturzkörper und der Gleitbahn.

Läßt man z.B. einen Schlitten über einen Hang abrutschen, dann kann man nach dem obigen Prinzip leicht und zuverlässig den Gleitreibungskoeffizienten dieser Gleitpaarung bestimmen; bzw. läßt sich, wenn der Reibungskoeffizient anderweitig bestimmt wurde, voraussagen, wo der Schlitten zum Stillstand kommen wird, wenn man ihn an einem bestimmten Punkt auf der gekrümmten Bahn starten läßt.

Für den Fall, daß der Gleitreibungskoeffizient im Verlauf der Bewegung konstant bleibt, beschreibt die geradlinige Verbindungslinie AE als "Energierlinie" auch den Bewegungsvorgang als solchen. Denn in jedem beliebigen Punkt P der Gleitbahn (Abb. 2) bestimmt dann der lotrechte Abstand ON zwischen dem Schwerpunktweg und der Geraden AE das Maß der Geschwindigkeit. Man nennt dieses Maß, d.h. die Strecke ON "Geschwindigkeitshöhe"

$$ON = h_v = \frac{v^2}{2g} \quad [m]$$

Woraus für die Geschwindigkeit v im Punkt P der Bahn folgt:

$$v = \sqrt{2gh_v} \quad [m/s]$$

Die Strecke $h_v = ON$ ist im Maßstab der Zeichnung abzugreifen (g = Erdbeschleunigung). Eventuelle Fehler bei der Bestimmung der Energiehöhe fallen nicht sehr ins Gewicht, weil h_v unter der Wurzel steht. In den Punkten A und E ist diese Geschwindigkeitshöhe gleich Null, was Bewegungsstillstand bedeutet.

Der lotrechte Abstand NM über P zwischen der Geraden AE und dem Niveau der Ausgangshöhe von A zeigt den Energieverlust an, der auf der Strecke von A nach P infolge Reibung, d.h. durch Umwandlung von Bewegungsenergie, hauptsächlich in Wärme, eingetreten und nicht mehr rückgewinnbar ist.

4.) Im konkreten Fall ergeben sich verschiedene Schwierigkeiten, die jedoch das Prinzip nicht aufheben. Zunächst einmal läßt sich in der Regel die Lage der Schwerpunkte schwerlich bestimmen, sowohl im nachhinein als auch und erst recht im voraus. Man betrachtet deshalb einfacher statt der Geraden AE jene Gerade, die den obersten Anrißpunkt A' mit dem äußersten Ende der Ablagerung E' verbindet. Heim (1932) bezeichnet die Gerade A'E' als "Fahrböschung"; Scheller (1970) nannte den Tangens ihres Neigungswinkel α'

$$\tan \alpha' = \text{Pauschalgefälle} \approx \tan \alpha$$

Dieses Pauschalgefälle ist der erste und wichtigste Bestimmungsfaktor eines jeden Lawenniederganges, weil Erfahrungswerte für das Pauschalgefälle - analog zum Schwerpunktgefälle - Anhaltspunkte für die Bestimmung der möglichen Reichweite und der auftretenden Geschwindigkeiten in einem zu untersuchenden Lawenstrich liefern. Solche Erfahrungswerte für α' bzw. $\tan \alpha'$ können der Abb. 3 entnommen werden. Nach Abb. 3c weisen die Mittelwerte und die besonders interessierenden Kleinstwerte die Zahlenwerte der nachfolgenden Tabelle auf.

	Pauschalgefälle $\tan \alpha'$		Neigung α' der Fahrböschung
Bergstürze	Mittel-	0,27	15°
	Min.-Werte	0,09	5
Eislawinen	Mittel-	0,55	29°
	Min.-Werte	0,3	17
Schneelaw.	Mittel-	0,55	29°
	Min.-Werte	0,3	17

Das Pauschalgefälle der Bergstürze und Lawinen hängt von den Eigenschaften der Sturzbahn (Bahnform, Rauigkeit), von der Art des Sturzmaterials (Fels, Eis, Schnee etc.) und vom Sturzvolumen ab. Die Abb. 3b zeigt, daß die Volumenabhängigkeit des Pauschalgefälles von Bergstürzen und Lawinen in einem Diagramm mit logarithmischen Koordinaten in erster Näherung durch eine Gerade dargestellt werden kann. Scheidegger (1974) nennt diese Gerade: "Vorhersagekurve". Alean (1984) hat in einer sehr lesenswerten Abhandlung über Eislawinen die Abhängigkeiten des Pauschalgefälles von den Eigenheiten der Sturzbahnen und vom Sturzvolumen (s. Abb. 3e) untersucht und bestätigt gefunden.

5.) Das Pauschalgefälle der beiden Bergstürze vom Huascaran (1962 und 1970) beträgt etwa 0,25 ($\alpha' = 14^\circ$, s. Abb. 4). Um diese Ereignisse als Punkte im Diagramm von Scheidegger eintragen zu können, muß man das jeweilige Volumen der Sturzmassen kennen. Dabei ist man auf Abschätzungen angewiesen, weil am Huascaran die Volumina aus Profilvergleichen der terrestrisch-photogrammetrisch aufgenommenen Karten nicht bestimmt werden konnten. Bei Prognosen über mögliche Reichweiten ist man ohnehin immer auf Abschätzungen des Sturzvolumens angewiesen.

Beim Ereignis von 1970 dürften größenordnungsmäßig $10 \cdot \text{Mio m}^3$ Eis und mindestens $30 \cdot \text{Mio m}^3$ ($78 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) Fels an

der Westwand des Huascaran-Nordgipfels abgestürzt sein. Die Eismenge kann sich um ca 15-Mio m³ durch Abschürfung von Firn und Schnee auf dem Gletscher unter der Westwand vergrößert haben. Infolge der beim Niedergang der Sturzmassen entstehenden Reibungswärme sollte sich aus dem Eis mindestens 3-Mio m³ Wasser gebildet haben. Das Sturzwerght des niedergehenden Gesteins (78-Mio Mp) muß während des ganzen Vorganges ziemlich konstant geblieben sein, d.h. daß nicht sehr viel mehr an Fremdmasse in die Bewegung einbezogen worden sein kann, als Sturzmassen bei der Talfahrt zurückgeblieben sind. - Beim Bergsturz von 1962 dürften ca 10 Mio m³ Eis und Gestein beteiligt gewesen sein (Patzelt 1983, 69). Im Diagramm Abb. 3b sind diese Bergsturzereignisse mit den Ziffern 34 und 35 bezeichnet. Diese Punkte liegen im Streubereich der Punkte bekannter Bergstürze, der bei der sehr unterschiedlichen Art der einzelnen Ereignisse ziemlich breit ausfällt.

6.) Die auffallende Abnahme des Pauschalgefälles bei zunehmenden Volumen schreibt Davies (1982) dem Umstand zu, daß die Bergsturzmassen bei ihrer Ablagerung hauptsächlich in Fließrichtung auseinanderlaufen, weil sie sich zumindest teilweise im "fluidisierten" Zustand befänden. Damit ist ein wichtiger Punkt angesprochen, auch wenn man einschränkend feststellen muß, daß die Ablagerungslänge sicherlich nicht nur vom Volumen, sondern auch von der Vorform und Neigung des Ablagerungsgebietes abhängt (s. Abele 1974, 28). Im übrigen muß sich eine Fluidisierung der Sturzmassen, wenn sie sich schon einstellt, auf das Gesamtgeschehen auswirken und nicht nur auf die Ablagerungslänge.

Von Fluidisierung spricht man, wenn sich eine körnigstückige Masse dadurch mehr oder weniger flüssigkeitsähnlich verhält, daß sich ihre auf innerer Reibung beruhende Festigkeit reduziert oder aufhebt. Die Fluidisierung von Bergsturz- und Lawinenmassen kommt zustande durch den Zerfall der Sturzmassen in zahllose Einzelstücke bis in Staub; durch die Auflockerung infolge Aufprall und Stoßwirkungen; durch die Kontakflächen- und Normaldruckreduzierung beim zeitweiligen "Durch-die-Luft-fliegen" und beim freien Fall, sowie schließlich und nicht zuletzt durch die Wirkungen des eventuell mitgeführten Wassers und der eingeschlossenen und mitgerissenen Luft. Dabei ist offenbar die fluidisierende Wirkung umso stärker, je mehr Energie sich austoben kann. Deshalb ver-schieben sich bei gleicher Fallhöhe in der Regel die Punkte E und E' der Abb. 2 umso weiter talaus, je größer die Sturzmassen sind (Heim 1982, 30).

Bei den Sturzmassen am Huascaran haben die 3 Phasen fest - flüssig - gasförmig auf intensivste Weise aufeinander eingewirkt. Man kann das an der Formen der Entmischung erkennen; denn bei der mechanischen Fluidisierung driften die großen Brocken in die Zonen der geringsten Scherverformung

(siehe Bagnold 1954, S. 62), d.h. beim Schwerestrom nach oben. Die im Sturzstrom eingefangene, in Fließrichtung, nach vorne, oben und außen expandierende Luft mit ihrer pneumatisch fluidisierenden Wirkung muß andererseits den feinen Gesteinsstaub und das in Tröpfchen zerspritzende Wasser mitreißen und das dürfte zu der im Sturzstrom von 1970 besonders starken Schlammanreicherung in der Stirnwelle, an der Oberfläche und am Rand des Sturzstromes geführt haben.

7.) Als weitere Wirkung der Fluidisierung kommt hinzu, daß die Reibungswiderstände von Bergsturz- und Lawinenmassen nicht konstant bleiben, sondern im Verlauf der Bewegung mehr oder minder stark geschwindigkeitsabhängig werden. Demzufolge verläuft die Energielinie dieser Vorgänge nicht mehr geradlinig, sondern durchhängend, wenn auch stets talwärts fallend. Die Energieverluste längs der Bahn werden dadurch größer; die Geschwindigkeiten der Sturzmassen erreichen nicht mehr die Spitzenwerte wie bei einer geradlinigen Energielinie, so daß der Geschwindigkeitsverlauf längs der Bahn im Durchschnitt gesehen gleichmäßiger wird. Das bestätigen alle Fälle, bei denen bisher die in der Natur auftretenden Geschwindigkeiten gemessen oder nachträglich bestimmt werden konnten (von den Anfangsgeschwindigkeiten abgesprengter Lawinen abgesehen).

Außer den mittleren Geschwindigkeiten, die sich aus der jeweiligen, in etwa bekannten Dauer des Geschehens (2 bis 3 Minuten beim Bergsturz von 1970; 5 bis 7 Minuten 1962) errechnen läßt, kann man unter günstigen Umständen auch Geschwindigkeiten an bestimmten Bahnpunkten nachträglich bestimmen, z.B.

- aus dem Krümmungsradius der Bahn, wenn die Massen schief in einen Hang einschließen und dann in die Falllinie einschwenken;
- aus der Wurfweite beim Überspringen von Hindernissen und von Spritzzonen;
- aus der Schiefstellung der Fließstromoberfläche in kanalisierten Bahnkurven und
- aus Aufbrandungshöhen an Gegenhängen.

Für den Huascarán-Bergsturz von 1970 war auf diese Weise eine Geschwindigkeitsbestimmung an 4 Bahnpunkten möglich. Die ermittelten Geschwindigkeitshöhen sind im Längsprofil der Abb. 4 aufgetragen; man sieht, daß die 4 Punkte zu einer Energielinie gehören, die erheblich unter der Fahrböschung bleibt. In Abb. 5 sind die ermittelten Geschwindigkeiten als Kreuze (a bis e) eingetragen; sie liegen der 3-Minuten-Laufzeitkurve am nächsten. Die theoretischen Laufzeitkurven der Abb. 5 wurden durch abschnittsweise Berechnung der instationären Vorgänge aufgrund des auf Voellmy (1955) zurückgehenden Zweikoeffizientenansatzes ermittelt (Körner 1976). Perla (1980) verbesserte dieses abschnittsweise Berechnungsverfahren

ren, u.a. durch Korrekturen für die Richtungsänderungen im Bahn­längsprofil.

Die Probleme bei der Messung von Lawinengeschwindigkeiten erörtert Zenke (1984) in seiner Dissertation.- Man darf auf die Meßergebnisse sehr gespannt sein, die Gubler (1981) an Schneelawinen durch Einsatz einer Mikrowellen-Meßtechnik (CW-Radar) erhalten wird.

8.) Eine direkte Beobachtung des i.a. unerwarteten und gewaltsamen Geschehens bei Bergstürzen und Lawinen ist erschwert; indirekte Bestimmungsmethoden sind weniger zuverlässig. Es liegt deshalb nahe, sowohl die theoretischen Ansätze zu studieren (z.B. Hopfinger 1983) und zu entwickeln (Hutter 1982) als auch die Möglichkeiten einer experimentellen Nachbildung von Bergsturzströmen im Labormodell abzuklären.

Zur Nachahmung der Vorgänge bei den Huascarán Bergstürzen wurden Modellversuche im Maßstab 1:6700 durchgeführt. Der Modellmaßstab ergab sich aus der Dicke der Styroporplatten (3 mm), aus denen die Höschichten ausgeschnitten wurden. Die ausgeschnittenen Platten wurden mit Ponal aufeinandergeklebt, im engeren Bergsturzbereich mit Moltofill verstrichen und durch Abschmiegeln geglättet. Zur Imitation der Bergsturzmassen wurde rundkörniger Sand von 0,1 bis 0,4 mm Korngröße verwendet. Beim o.g. Längsmaßstab entspricht das Stückgutgrößen von 0,7 bis 2,7 m, aus denen sich die Ablagerungen in der Hauptmasse zusammensetzen. Der Winkel der inneren Reibung ergab sich in Rahmenscherversuchen zu 37° ; als gleich groß erwies sich der Gleitreibungswinkel auf einer ebenmäßig gekrümmten Bahn gleicher Rauigkeit, wie die der Modelloberfläche. Das Fließverhalten des Modellsandes entsprach im Geschwindigkeitsbereich bis 2 m/s dem eines Schlittenmodells, d.h. es ergaben sich ziemlich gerade verlaufende Energielinien mit einer der inneren Reibung entsprechenden Neigung. Die Untersuchungsergebnisse von Hungr-Morgenstern (1984) bestätigen im wesentlichen diese Befunde.

Die Bewegungsvorgänge in Natur und Modell sind in erster Näherung dann ähnlich, wenn die Energielinien ähnlich verlaufen (Körner 1980, 505). Um die Energielinie des Modells der des Naturereignisses einigermaßen anzugleichen, wurde das Modell, wie in Abb. 6 dargestellt, in der Hauptfließrichtung um die Winkeldifferenz zwischen dem Gleitreibungswinkel des Modellsandes und dem Pauschalgefälle des Bergsturzes gekippt und der obere Sturzbereich der Huascarán-Westwand vom Modell ausgeschieden (Einzelheiten siehe bei Patzelt 1983, 81 ff.) Diese Verkipfung bringt natürlich eine Beeinträchtigung der Abbildegenauigkeit mit sich, weil dadurch die Fließrichtungskomponenten quer zur Verkipfung im Vergleich zur Hauptbewegungsrichtung

etwas unterdrückt werden.

Die im Modellversuch ausgemessene "Gefahrenzone Huascarán-Yungay" ist in Abb. 4 strichliert eingezeichnet. Sie stimmt - insbesondere im Raum Yungay - nicht völlig mit dem wirklichen Geschehen - überein. Aber sie zeigt als wichtiges Ergebnis der Modellversuche die potentielle Gefährdung aller betroffenen Siedlungen. Weiter stellte sich z.B. heraus, daß die Fließgeschwindigkeit und die Gefahr des Überschwappens über Leitdämme, wie über den ca 100 m hohen, seitlichen Rücken von Aira (siehe Abb. 4), vom Sturzstrom, d.h. von der Durchflußmenge pro Zeiteinheit abhängt, was im Grunde genommen nichts Neues ist.

Im übrigen erwies sich das Arbeiten am Modell in diesem und anderen Fällen als so lehrreich, daß man jedem, der sich mit Abhilfe- und Schutzmaßnahmen im Sturzbereich einer Lawine zu befassen hat, nur empfehlen kann, seine Probleme in geeigneten Teilabschnitten der Sturzbahn auch auf diese Weise zu studieren. Ist ein naturgetreues Modell als solches schon viel instruktiver als jede Zeichnung, so stellen sich bei Versuchen mit geeigneten Granulaten sehr rasch wichtige Erkenntnisse ein, z.B. daß man die Innenseiten von Leitdämmen steil stellen muß - wie in Bobbahnen, wenn sie nicht überfahren werden sollen. Modellversuche können unser Erfahrungswissen auf diesem der Naturbeobachtung so schwer zugänglichen Gebiet auf jeden Fall nur bereichern. Deshalb müssen ihre Möglichkeiten und Grenzen besser erforscht werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Vortrag berichtet von den großen Huascarán-Bergstürzmuren von 1962 und 1970. Er bringt erläuternde und ergänzende Bemerkungen zur Veröffentlichung des Verfassers in: Patzelt 1983. Auf zwischenzeitlich erschienene Literatur zum gleichen Themenkreis wird hingewiesen.

Das Prinzip der mechanischen Analyse von Bergstürzen und Lawinen wird erläutert und auf den konkreten Fall angewandt. Die Ereignisse werden in den Erfahrungszusammenhang zwischen Volumen und Pauschalgefälle gestellt. Ferner werden die Wirkungen einer Fluidisierung der Bergstürzmassen und die Methoden einer nachträglichen Geschwindigkeitsbestimmung besprochen. Modellversuche haben sich als geeignetes Mittel zur Untersuchung der großen, in der Natur schwerlich zu beobachtenden Bergstürzströme erwiesen.

Bergstürze, Lawinen, Pauschalgefälle, Fluidisierung, Modellversuche.

LITERATUR

- Abele, G., 1974: Bergstürze in den Alpen.- Wissenschaftl. Alpenvereinshefte, H. 25, München, 230 S.
- Alean, J.C., 1984: Untersuchungen über Entstehungsbedingungen und Reichweiten von Eislawinen.- Mitt. Versuchsanstalt Wasserbau, Hydrologie, Glaziologie, N° 74, ETH Zürich, 217 S.
- Bagnold, R.A., 1954: Experiment on a gravity-free dispersion of large solidspheres in a Newtonian fluid under shear.- Proc. Royal Soc. (London), Ser. A., 225:49-63.
- Davies, R.H., 1982: Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidisation.- Rock Mechanics, 15 S. 9-24
- Gubler, H.U., 1980: Proposal to use CW Doppler Radar to measure velocities of flowing snow avalanches.- Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Colorado, USA - EISLF, Davos, Interner Bericht Nr. 600
- Heim, A., 1882: Der Bergsturz von Elm.- Ztschr. dtsh. geol. Gesellsch. XXXIV:74-115.
- Heim, A., 1932: Bergsturz und Menschenleben.- Zürich, Fretz & Wasmuth, 218 S.
- Hopfinger, E.J., 1983: Snow avalanche motion and related phenomena.- Ann. Rev. Fluid. Mecha. 15, S. 47-76
- Hungr, O., and Morgenstern, N.R., 1984: Experiments on the flow behaviour of granular materials at high velocity in an open channel.- Géotechnique 34, S. 405-413
- Kinzl, H., 1950: Die Cordillera Blanca (Peru), das Arbeitsfeld dreier Alpenvereinsexpeditionen.- Jahrb. ÖAV. 75, 2. 37-48
- Körner, H.J., 1976: Reichweite und Geschwindigkeiten von Bergstürzen und Fließschneelawinen.- Rock Mechanics, 8:S. 225-256.
- Körner, H.J., 1980: The energy-line method in the mechanics of avalanches.- Journ. Glaciol., 26, 501-505
- Patzelt, G., (Ed) 1983: Die Berg- und Gletscherstürze vom Huascaran, Cordillera Blanca, Peru. Hochgebirgsforschung Heft 6, Innsbruck 110 S.

- Perla, R., Cheng, T.T. and McClung, M., 1980: A two parameter model of snow avalanche motion.- Journ. Glaciol., 26, S. 197-207.
- Scheidegger, A.E., 1973: On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides.- Rock Mechanics, 5:231-236.
- Scheiwiller, Th. und Hutter, K., 1982: Lawinendynamik. Mitt. Versuchsanstalt Wasserbau, Hydrologie, Glazialogie, N^o-58, ETH Zürich, 106 S.
- Scheller, E., 1970: Geophysikalische Untersuchungen zum Problem des Taminser Bergsturzes.- Diss. Nr. 4560, ETH Zürich
- Voellmy, A., 1955: Über die Zerstörungskraft von Lawinen.- Schweiz. Bauzeitung, 73:159-165, 212-217, 246-249, 280-285.
- Welsch, W., 1984: Bergstürze durch Erdbeben. Geowissenschaften in unserer Zeit, 2, S. 201- 207
- Zenke, B., 1984: Das Ermitteln von Lawinengeschwindigkeiten. Diss., Universität München, 121 S.

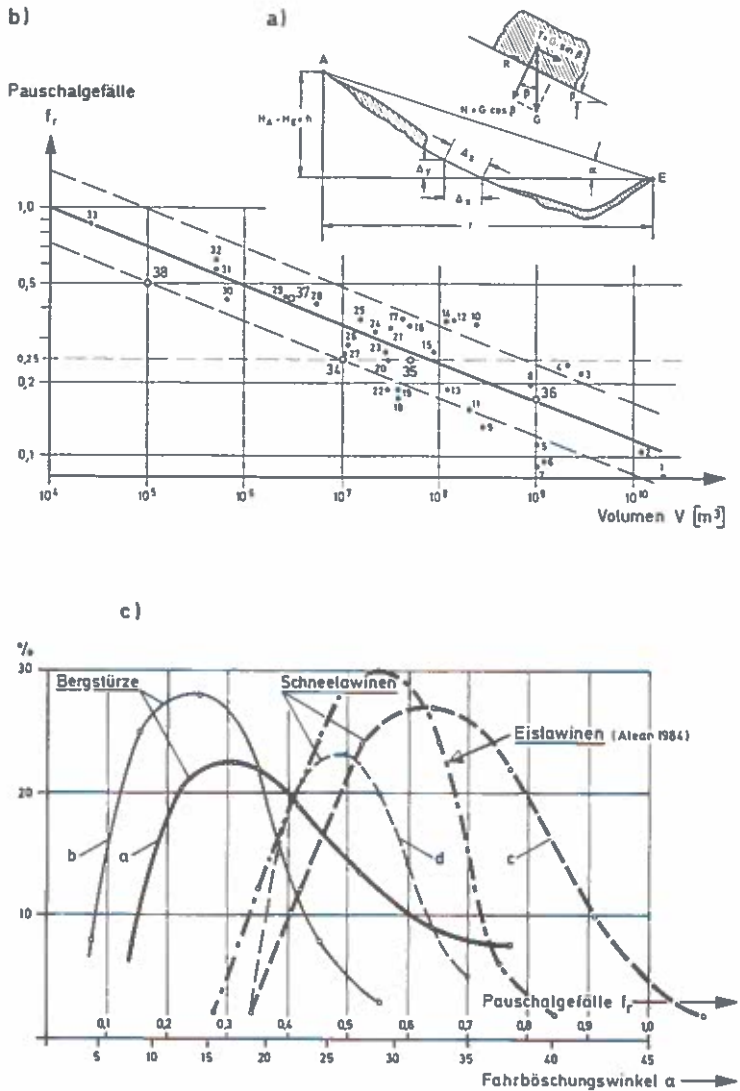


Abb. 3.) Pauschalgefälle.

Abhängigkeit vom Volumen und Häufigkeitsverteilungen.

a) Schemaprofil. Es bedeuten: A'E' = Fahrböschung; α = Neigungswinkel derselben; R = Reibungskraft in der Gleitfuge; N = Normalkomponente des Gleitkörpergewichtes G. - b) Zusammenhang zwischen Bergsturzvolumen und Pauschalgefälle, nach Scheidegger (1973): Vorhersagekurve. Jeder Punkt entspricht einem Bergsturzereignis. - c) Häufigkeitsverteilung des Pauschalgefälles von Bergstürzen und Lawinen. - a - 142 Bergstürze der Alpen (Abele 1974), b - 36 große Bergstürze der Erde (Scheidegger 1973), c - 423 Schneelawinen Norwegens (Lied 1979), d - 39 Schneelawinen

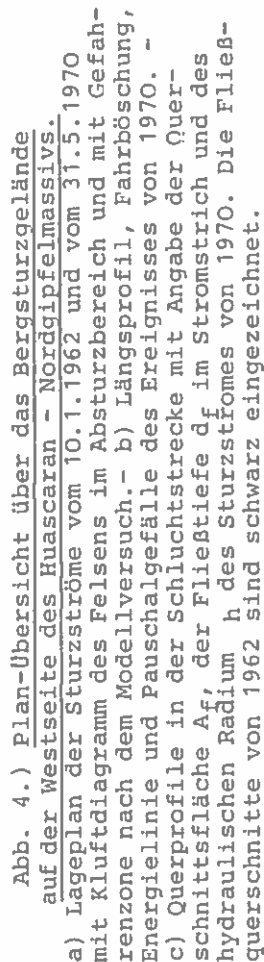


Abb. 4.) Plan-Übersicht über das Bergsturzgelände
auf der Westseite des Huascarán - Nordgipfelmassivs.

a) Lageplan der Sturzströme vom 10.1.1962 und vom 31.5.1970 mit Kluftdiagramm des Felsens im Absturzbereich und mit Gefahrenzone nach dem Modellversuch.- b) Längsprofil, Fahrböschung, Energielinie und Pauschalgefälle des Ereignisses von 1970.- c) Querprofile in der Schluchstrecke mit Angabe der Querschnittsfläche A_q , der Fließtiefe d_f im Stromstrich und des hydraulischen Radius h des Sturzstromes von 1970. Die Fließquerschnitte von 1962 sind schwarz eingezeichnet.

Fließ-
Geschwindigkeit
 v [m/s]

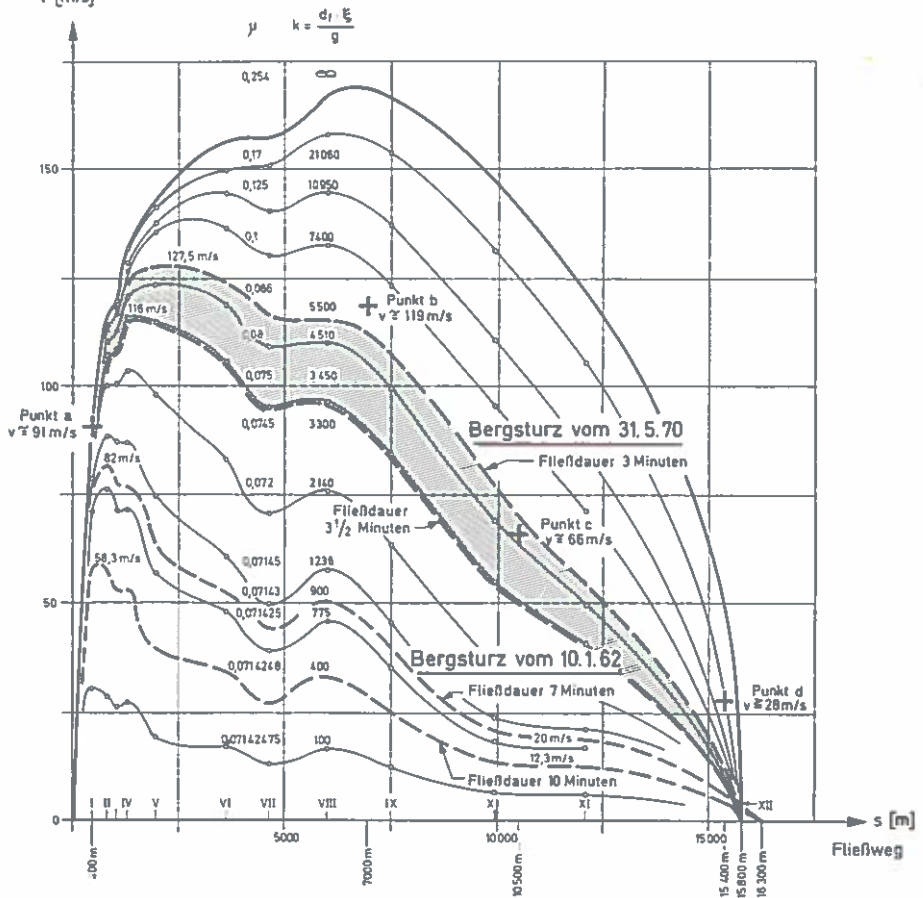


Abb. 5.) Geschwindigkeitsverteilung entlang der Sturzbahn bei den Bergstürzen von 1962 und 1970 errechnet nach Körner (1976). Die nachträglich bestimmten Geschwindigkeiten des Ereignisses von 1970 sind mit Kreuzen eingezeichnet.

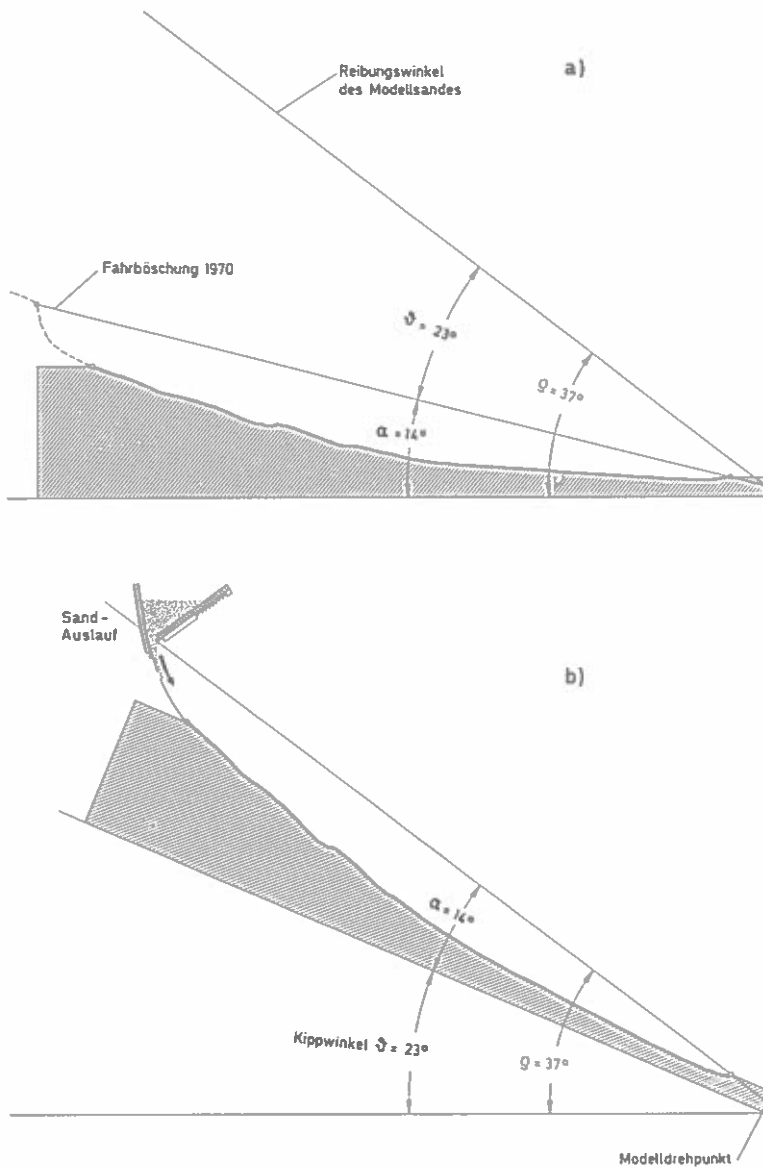


Abb. 6.) Kippen des Modells.-

a) Schnitt durch das Modell (schraffiert) in unverkippter Stellung. Es bedeuten: α = Neigungswinkel der Fahrböschung; ϱ = Gleitreibungswinkel des Sandes auf dem Modell; ϑ = erforderlicher Kippwinkel.- b) Schnitt durch das gekippte Modell mit Sandauslauf.

Aus dem Publikationsverzeichnis der Forstlichen Bundesversuchsanstalt

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

Heft Nr.

- 126 JELEM Helmut: "Waldgebiete in den österreichischen Südalpen", Wuchsräum 17,
(1979) Beilagen (Rolle)
Preis ö. S. 300,-
- 127 "Pests and Diseases / Krankheiten und Schädlinge / Maladies et Parasites",
(1979) International Poplar Commission (IPC/FAO)
XX. Meeting of the Working Group on Diseases
Preis ö. S. 150,-
- 128 GLATTES Friedl: "Dünnschichtchromatographische und mikrobiologische Unter-
(1979) suchungen über den Zusammenhang zwischen Düngung und Pilzwachstum am
Beispiel einiger Pappelklone"
Preis ö. S. 100,-
- 129 "Beiträge zur subalpinen Waldforschung"
(1980) 2. Folge
Preis ö. S. 200,-
- 130 "Zuwachs des Einzelbaumes und Bestandesentwicklung"
(1980) Gemeinsame Sitzung der Arbeitsgruppen S4.01-02 "Zuwachsbestimmung" und
S4.02-03 "Folgeinventuren", 10. - 14. September 1979 in Wien
Preis ö. S. 300,-
- 131 "Beiträge zur Rauchs Schadenssituation in Österreich"
(1980) IUFRO Fachgruppe S2.09-00
XI. Internationale Arbeitstagung forstlicher Rauchs Schadenssachverständiger-
Exkursion, 1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 300,-
- 132 JOHANN Klaus, POLLANSCHÜTZ Josef: "Der Einfluß der Standraumregulierung
(1980) auf den Betriebserfolg von Fichtenbetriebsklassen"
Preis ö. S. 150,-
- 133 RUF Gerhard: "Literatur zur Wildbach- und Lawinenverbauung 1974 - 1978"
(1980)
Preis ö. S. 120,-

Heft Nr.

- 134 NEUMANN Alfred † : "Die mitteleuropäischen Salix-Arten"
(1981)
Preis ö. S. 200,-
Taschenbuchausgabe Preis ö. S. 150,-
- 135 "Österreichisches Symposium Fernerkundung"
(1981) Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen
Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA) in Zusammenarbeit
mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 1. - 3. Oktober 1980 in Wien
Preis ö. S. 250,-
- 136 "Großdüngungsversuch Pinkafeld"
(1981) JOHANN Klaus: "Ertragskundliche Ergebnisse"
STEFAN Klaus: "Nadelanalytische Ergebnisse"
Preis ö. S. 150,-
- 137/I "Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen"
(1981) IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen, Tagungsbeiträge zur XI.
Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchsachverständiger,
1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 180,-
- 137/II "Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen"
(1981) IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen, Tagungsbeiträge zur XI.
Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchsachverständiger,
1. - 6. September 1980 in Graz, Österreich
Preis ö. S. 200,-
- 138 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (3)
(1981) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 200,-
- 139 "Zuwachskundliche Fragen in der Rauchsachschadensforschung"
(1981) IUFRO-Arbeitsgruppe S2.09-10 "Diagnose und Bewertung von
Zuwachsendänderungen", Beiträge zum XVII. IUFRO-Kongress
Preis ö. S. 100,-
- 140 "Standort: Klassifizierung-Analyse-Anthropogene Veränderungen"
(1981) Beiträge zur gemeinsamen Tagung der IUFRO-Arbeitsgruppen S1.02-06,
Standortklassifizierung, und S1.02-07, Quantitative Untersuchung von
Standortsfaktoren, 5. - 9. Mai 1980 in Wien, Österreich
Preis ö. S. 250,-

Heft Nr.

- 141 MÜLLER Ferdinand: "Bodenfeuchtheitsmessungen in den Donauauen des
(1981) Tullner Feldes mittels Neutronensonde"
Preis ö. S. 150,-
- 142/I "Dickenwachstum der Bäume"
(1981) Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der
Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9. - 12. September 1980
Preis ö. S. 250,-
- 142/II "Dickenwachstum der Bäume"
(1981) Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der
Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9. - 12. September 1980
Preis ö. S. 250,-
- 143 MILDNER Herbert, HASZPRUNAR Johann, SCHULTZE Ulrich: "Weginventur im
(1982) Rahmen der Österreichischen Forstinventur"
Preis ö. S. 150,-
- 144 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (4)
(1982) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 300,-
- 145 MARGL Hermann: "Zur Alters- und Abgangsgliederung von (Haar-)
(1982) Wildbeständen und deren naturgesetzlicher Zusammenhang mit dem Zuwachs und
dem Jagdprinzip"
Preis ö. S. 100,-
- 146 MARGL Hermann: "Die Abschüsse von Schalenwild, Hase und Fuchs in Beziehung
(1982) zu Wildstand und Lebensraum in den politischen Bezirken Österreichs"
Preis ö. S. 200,-
- 147 "Forstliche Wachstums- und Simulationsmodelle"
(1983) Tagung der IUFRO-Fachgruppe S4.01-00 Holzmessung, Zuwachs und Ertrag, vom
4. - 8. Oktober 1982 in Wien
Preis ö. S. 300,-
- 148 HOLZSCHUH Carolus: "Bemerkenswerte Käferfunde in Österreich" III
(1983) Preis ö. S. 100,-

Heft Nr.

- 149 SCHMUTZENHOFER Heinrich: "Über eine Massenvermehrung des Rotköpfigen
(1983) Tannentriebwicklers (Zeiraphera rufimitrana H.S.) im Alpenvorland nahe
Salzburg"
Preis ö. S. 150,-
- 150 SMIDT Stefan: "Untersuchungen über das Auftreten von Sauren Niederschlägen
(1983) in Österreich"
Preis ö. S. 150,-
- 151 "Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas"
(1983) Referate der IUFRO-Fachgruppe S6.07-00 Forstgeschichte, Tagung in Wien vom
20. - 24. September 1982
Preis ö. S. 150,-
- 152 STERBA Hubert: "Die Funktionsschemata der Sortentafeln für Fichte in
(1983) Österreich"
Preis ö. S. 100,-
- 153 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (5)
(1984) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 250,-
- 154/I "Österreichische Forstinventur 1971 - 1980, Zehnjahresergebnis"
(1985) Preis ö. S. 220,-
- 154/II "Österreichische Forstinventur 1971 - 1980, Inventurgespräch"
(1985) Preis ö. S. 100,-
- 155 Braun Rudolf: "Über die Bringungslage und den Werbungsaufwand im
(1985) österreichischen Wald"
Preis ö. S. 250,-
- 156 "Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung" (6)
(1985) IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen
Preis ö. S. 250,-

ANGEWANDTE PFLANZENSOZIOLOGIE

Heft Nr.

- XX
(1967) MARTIN-BOSSE Helke: "Schwarzföhrenwälder in Kärnten"
Preis ö. S. 125,-
- XXI
(1973) MARGL Hermann: "Waldgesellschaften und Krummholz auf Dolomit"
Preis ö. S. 60,-
- XXII
(1975) SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", I. Teil
Preis ö. S. 100,-
- XXIII
(1978) KRONFUSS Herbert, STERN Roland: "Strahlung und Vegetation"
Preis ö. S. 200,-
- XXIV
(1979) SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", II. Teil
Preis ö. S. 100,-
- XXV
(1980) MÜLLER H. N.: "Jahrringwachstum und Klimafaktoren"
Preis ö. S. 100,-
- XXVI
(1981) "Alpine Vegetationskartographie"
Preis ö. S. 300,-
- XXVII
(1983) SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", III. Teil
Preis ö. S. 200,-
- XXVIII
(1984) SCHIECHTL Hugo Meinhard, STERN Roland: "Die Zirbe (Pinus Cembra L.) in den Ostalpen", IV. Teil
Preis ö. S. 200,-

Bezugsquelle

Österreichischer Agrarverlag

