

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT
WIEN**

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

159. Heft

1988

1986

**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*

(7)

Fachgruppe	IUFRO Subject Group S1.04-00	Group sectoriel
------------	------------------------------------	-----------------

**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
Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, 1141 Wien**

Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-0928-8

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

INHALT - CONTENT - SOMMAIRE

	Seite/Page
Vorwort	7
Preface	11
Préface	14
Liste der im Referateband des 18. IUFRO-Weltkongresses 1986, Division 1, Vol. 1, bereits publizierten Beiträge (List of papers published within the proceedings of Division 1, Vol. 1, of the 18th IUFRO-World-Congress)	18

I. WILDBACHEROSION

MARUI, H.: Erosion und Massenbewegungen in Nepal	21
HIURA, H.: Investigation on the distribution and the morpho- logical characteristics of the surface slide	33
GASPAR, R. & A. APOSTOL: Méthode aproximative d'évaluation du transport annuel d'alluvions dans un petit bassin versant torrentiel	49
KRONFELLNER-KRAUS, G.: New results and experiences in the quantitative estimation of torrents	69
Neue Ergebnisse und Erfahrungen zur quantitativen Ein- schätzung von Wildbächen - Kurzfassung	84

II. EROSION UND PFLANZENDECKE

IWAMOTO, M. & K. ABE: Effects of tree root network on slope stability	91
TSUKAMOTO, Y. & H. MINEMATSU: Evaluation of the effect of lateral roots on slope stability	105

SUYAMA, M.: Experimental study on biotechnical slope stability by plant root systems	117
SUYAMA, M.: Fracture toughness test of wooden materials for erosion control	129
OMURA, H. & Y. MARUMO: An experimental study of the fence effects of protection forest on the interception of shallow mass movement	139
OMURA, H.: Registance index of various forest in the gamma distribution model applied to forecast rapid shallow landslide	149
IWAMOTO, M. & Y. OOZEKI & K. ABE: Some functions of vegetation cover on soil conservation in subalpine forest of Japan	161
JEDLITSCHKA, M.: Der Einfluß der Vegetationsdecke auf die Hangstabilität im Flysch am Beispiel Gschliefgraben, Gmunden	173

III. PFLANZENDECKE - WASSERQUALITÄT UND -QUANTITÄT

SAMPL, H.: Der Einfluß von Bodennutzung, Kulturart und Abfluß auf die Wasserqualität von Vorflutern	189
MERWALD, I.: Die hydrologischen Grundlagen für eine ökologische Fließgewässergestaltung	203
TRACI, C. & R. GASPAR & S. A. MUNTEANTU: Aspects concernant l'effet des travaux d'aménagement de certains petits bassins hydrographiques torrentiels de Roumanie	217
DAVID, J.S. & M.O. HENRIQUES & Z.C. REGO: Short term responses of streamflow following clearcutting in Eucalyptus globulus stands in central Portugal	225
JARABAC, M. & A. CHLEBEK: The effect of forests on the hydrological budget	239
ZEDLACHER, D.: Hydrologische Untersuchungen im "Triebenbach" - Steiermark, Österreich (Generelles Projekt 1984 - Zusammenfassung/Summary)	253

IV. EIS, SCHNEE UND LAWINEN

HOPF, J.: Erosion by snow and avalanches	267
TAIRA, H.: The role of snow in coniverous stem bend formation	275
KOBAYASHI, K. & M.EGUHI & Y.ASAI & CH.SHIMOMURA & T.YASUE: Recent surface-layer avalanche disasters on Maseguchi Hamlet, Japan und countermeasure planning	285
SCHAFFHAUSER, H.: Report on avalanche events in the winter half-year 1985/86	299
HÖLLER, P.: A method to calculate snow-depth in dependence on sea-level	309
AMBACH, W. & H. EISNER: Ein nichtlineares Fließgesetz für temperierten Firn mit deviatorischen und isotropen Termen	315

V. WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG

FIEBIGER, G.: Bedload Management on torrent control by functional check dams	325
KRONFELLNER-KRAUS, G.: Offene und verformbare Wildbach- sperren aus Stahl	333
DRAGOSITS, G.: The practice of the foundation by blast bolts used in avalanche control	343

VI. INTEGRIERTE MASSNAHMEN

ÜBLAGGER, G.: Die Beurteilung des Ökosystems Wildbach	349
HATTINGER, H.: Proposals for an integrated protection against torrents	363
RACHOY, W.: Waldbehandlung in Wildbach- und Lawinengebieten	375
ÜBLAGGER, H.: Umweltverträglichkeitsprüfung am Beispiel von Maßnahmen in der Dürren Aurach	383

VII. ANHANG

KRONFELLNER-KRAUS, G. & G. RUF & H. SCHAFFHAUSER: Excursion guide for the Schmittenbach at Zell/See, region Mittelpinzgau, Salzburg country.....	397
--	-----

V O R W O R T

Auf dem Arbeitsgebiet der IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 "Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen" gab es im Jahre 1986 mehrere Veranstaltungen. Der vorliegende Mitteilungsband enthält die bisher noch nicht publizierten Beiträge der in Jugoslawien und Österreich organisierten Tagungen. Die Programme dieser Tagungen ergänzten sich gegenseitig, doch gab es zwangsläufig auch Überlappungen. Es erschien daher zweckmäßig die zur Publikation vorgelegten Referate nach fachlichen Gesichtspunkten in folgenden Kapiteln zu ordnen:

- I. Probleme der Wildbacherosion
- II. Zusammenhänge zwischen Erosion und Pflanzendecke
- III. Pflanzendecke - Wasserqualität und -quantität
- IV. Eis, Schnee und Lawinen
- V. Neue Methoden der Verbauungstechnik
- VI. Integrale Gesichtspunkte und Maßnahmen
- VII. Anhang

Die so geordneten Berichte entstammen folgenden Tagungen:

Beim 18. IUFRO-Welt-Kongress in Laibach, Jugoslawien, vom 8. bis 13. September 1986 fanden am 10. September zwei Fachgruppensitzungen statt. Etwa fünfzig Teilnehmer aus elf Staaten der Erde (Argentinien, Deutschland, Italien, Japan, Jugoslawien, Neuseeland, Österreich, Phillipinen, Schweden, Schweiz und USA) diskutierten zehn über Einladungen verfaßte (invited papers) und ebenso viele freiwillig beigebrachte Referate (voluntary papers und posters). Die "invited papers" lagen beim Kongress bereits gedruckt vor, und zwar im Referateband I der IUFRO-Abteilung 1. Titel und Autoren dieser Hauptreferate sind in der angeschlossenen Liste angeführt. Im vorliegenden Heft sind neun "voluntary papers" enthalten, die hauptsächlich Probleme der Wildbacherosion (Abschnitt I), der Erosion und Pflanzendecke (Abschnitt II), sowie Schneeschäden und Lawinen (Abschnitt III) behandeln. Außerdem scheint hier auch die englische Version des "invited

papers" des Berichterstatters zum Thema der Wildbacherosion (I) mit einer zusätzlichen deutschen Kurzfassung auf. Im Anschluß an die Kongresswoche in Laibach vermittelte eine einwöchige Studienreise vom 14. bis 22. September 1986 einen interessanten Überblick über spezielle Wildbach- und Lawinenprobleme sowie diesbezügliche Maßnahmen und Forschungen in fünf Teilstaaten Jugoslawiens.

Im Rahmen der 15. Tagung der Arbeitsgruppe (WP) für die pflegliche Behandlung von Gebirgseinzugsgebieten (MW) der Europäischen Forstkommission (EFC) der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) der Vereinten Nationen (UNO) fand am 24. September in Innsbruck auch ein spezielles gemeinsames FAO/IUFRO-Symposium über den "Einfluß verschiedener Pflanzendecken auf Erosion, Wasserqualität und -quantität" statt. Die acht Beiträge zu diesem Symposium scheinen hier in den Abschnitten II und III auf.

An der oben bereits erwähnten 15. Tagung der FAO/EFC/MW-Arbeitsgruppe in Innsbruck vom 23. bis 27. September 1986 nahmen 67 Vertreter aus 19. Ländern der Erde teil, und zwar zehn Mitgliedsstaaten der EFC (Deutschland, Frankreich, Israel, Italien, Norwegen, Österreich, Portugal, Spanien, Schweiz, Jugoslawien), aus neun überseeischen Ländern (Äthiopien, Chile, Kap Verde, Kolumbien, Iran, Japan, Marokko, Nepal, Venezuela), sowie von Internationalen Organisationen (CEPAL, FAO, IUFRO). In dieser mehr praktisch orientierten Veranstaltung wurden in acht Themengruppen fünfzig Referate behandelt. Eine Zusammenfassung dieser Referate scheint im Schlußbericht der Tagung auf (Final Report of the 15th Session of the Working Party on the Management of Mountain Watersheds, Innsbruck, Austria, by FAO/EFC Rom 1987). Im vorliegenden Mitteilungsband sind zwölf Beiträge der österreichischen Teilnehmer als Vertreter des Gastgeberlandes vollinhaltlich abgedruckt. Sie betreffen hauptsächlich die Abschnitte IV, V und VI über Schnee und Lawinen, Verbauungstechnik und integrale Maßnahmen. Außerdem wurde im Anhang (VII) der Exkursionsführer für den Schmitten-

bach aufgenommen. Das Einzugsgebiet und die Meßeinrichtungen dieses Baches wurden bei der, der Tagung folgenden, einwöchigen Studienreise durch Österreich am 30. September 1986 eingehend besichtigt.

Schließlich ist die vierte ostalpin-regionale, gemeinsame IUERO/ÖGG Arbeitssitzung über "Lawinen und andere Massenbewegungen" zu erwähnen, die am 25. April 1986 in Salzburg stattfand. Fünfzehn Teilnehmer aus Deutschland (Bayern) und Österreich, Mitglieder des Arbeitskreises für Eis, Schnee und Lawinen der "Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik" (ÖGG, eine Zweigorganisation der "Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik") und der IUERO-Fachgruppe S1.04-00, besprachen aktuelle Publikationen, Forschungen und Fallstudien von welchen Berichten hier derjenige über ein Fließgesetz für temperierten Firn im Abschnitt IV aufscheint.

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. Die gegenständliche Publikation soll dazu beitragen durch Vermittlung von Arbeitsergebnissen den Informationsfluß zu beschleunigen und damit möglichst auch die Wirksamkeit der Wildbacherosions- und Lawinenforschung zu steigern. Neue Probleme mögen zu Antworten oder zu weiteren Forschungen anregen.

Der Dank gilt daher allen die an diesem Prozess mitgewirkt haben, den einzelnen Referenten, allen Organisatoren, Dolmetschern und Helfern und insbesondere den jeweiligen Gastgeber, - in Jugoslawien allen voran Herrn Prof. Dr. Lazarevic, Belgrad,- in Italien dem FAO-

Sekretariat in Rom, - in Österreich der Direktion der
Tauernkraftwerke AG, Salzburg, sowie dem Bundesministerium
für Land- und Forstwirtschaft in Wien, und für die Druck-
legung dieses Heftes insbesondere der Direktion der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt mit allen befaßten Mit-
arbeitern.

Gottfried Kronfellner-Kraus
Vorsitzender der FAO/EFC/MW-Arbeitsgruppe
Stellvertretender Leiter der IUFRO-Fachgruppe

P R E F A C E

During 1986 there were several meetings in the field of the IUFRO-Subject group S1.04-00 "Prevention and Control of Torrent Erosion, Floods and Mud Flows, Snow Damage and Avalanches". This booklet contains mainly the hitherto unpublished papers of the meetings organized in Yugoslavia and in Austria. The programmes of these meetings were complementary but partly - overlapping. Therefore, it seems expedient to categorize all the reports presented according to the following main topics:

- I. Problems of torrential erosion
- II. Interrelationships between erosion and vegetation cover
- III. Vegetation cover, water quality and quantity
- IV. Ice, snow and avalanches
- V. New methods of control works
- VI. Integrated viewpoints, measures and necessary steps
- VII. Appendix

The reports on these topics originate from the following meetings:

At the 18th IUFRO World-Congress in Ljubljana, Yugoslavia, from September 8th to 13th, 1986, two sessions of the subject group took place on the 10th September. Approx. fifty participants from eleven countries (Argentina, Austria, Germany, Italy, Japan, New Zealand, Phillipines, Sweden, Switzerland, USA and Yugoslavia) discussed ten "invited papers" which have already been published within the Congress Proceedings in Volume I of IUFRO-Division 1. The titles and the names of the authors of these "invited papers" are listed following this preface. In this booklet nine voluntary papers appear dealing mainly with problems of torrent erosion, erosion and vegetation cover and avalanches (chapters I, II and IV). An English version of my invited paper dealing with torrent erosion is also included in chapter I (together with an additional extended abstract in German). Following the congress week in

Ljubljana, a study tour from September 14th to 22nd, 1986 delivered an interesting synopsis on the special problems of torrent and avalanche control and watershed management, as well as on research in this field within five provinces of Yugoslavia.

A joint FAO/IUFRO Symposium on the "Influence of Different Kinds of Vegetation Cover on Erosion, Water Quality and Quantity" took place on September 24th in Innsbruck, Austria, during the 15th Session of the Working Party (WP) for the Management of Mountain Watersheds (MW) of the European Forestry Commission (EFC) of the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (UN). The eight papers of this symposium dealing with the protective effects and influences of vegetation cover on erosion, water quality and quantity are printed here in chapters II and III of this booklet.

The FAO/EFC/MW-Working Party's Session in Innsbruck, Austria, mentioned above, took place from September 23rd to 27th, 1986. Sixty-seven participants represented 19 Countries, ten member states of EFC (Austria, Germany, France, Israel, Italy, Norway, Portugal, Spain, Switzerland and Yugoslavia), nine transoceanic states (Cape Verde, Chile, Columbia, Ethiopia, Iran, Japan, Marocco, Nepal, Venezuela) as well as International Organizations (CEPAL, FAO, IUFRO). About fifty papers have been presented on eight main topics within this more practically oriented session. A summary of these papers appears in the final report of the 15th Session by the secretary of the EFC/MW-Working Party of FAO in Rome. Twelve complete papers by Austrian participants are published in this booklet as a contribution by the host country, mainly dealing with problems of snow and avalanches, control techniques and integrated measures (chapters IV, V and VI). Additionally, the excursion guide of Schmittenbach (Schmittenbrook) is also printed as an appendix. The drainage basin of this brook functions as an experimental watershed and was visited on September 30th during the study tour leading

through Austria from West to East within the week following up the congress week in Innsbruck.

Finally, the fourth East-Alpine joint IUFRO/ÖGG-Workshop on "Avalanches and other Mass Movements" which took place in Salzburg, Austria, on April 25th, 1986 may be mentioned. The fifteen participants from Germany (Bavaria) and Austria, members of the Austrian Society of Geomechanics (ÖGG), an organisation of the International Society of Rock Mechanics (ISRM), and of the IUFRO-Subject group discussed current publications, research and case studies. The one paper dealing with a flow law of firm is also included in chapter IV of this booklet.

The various texts in this booklet have been taken from the respective authors without modification as far as possible (although this has meant a certain lack of uniformity). The contributions themselves are essentially original works. This publication may be seen as a contribution to accelerate the exchange of information in order to increase the efficiency of our research. New problems may stimulate answers of further research activities for right solutions.

Many thanks go to all who have cooperated in this process, to all authors of papers, the organizers, interpreters and all staff members, and especially to the hosts, - in Yugoslavia mainly Prof. Dr. Lazarevic, Belgrade, - in Italy to the Secretary of FAO in Rome, - and in Austria to the Management of the Tauernkraftwerke AG, Salzburg, to the Federal Ministry of Agriculture and Forestry and to the management of the Federal Forest Research Organization of Vienna as well as to all staff members concerned with the printing of this booklet.

G. Kronfellner - Kraus
Chairman of FAO/EFC/MW-WP and
Deputy leader of IUFRO's Subject Group

P r é f a c e

Pendant l'année 1986, il y a eu plusieurs réunions dans le champ de travail du groupe spécial S1.04-00 "Prévention et contrôle de l'érosion par les torrents, des crues et laves de boue, des dégâts par la neige et des avalanches". La présente brochure de communications contient les exposés pas encore publiés des réunions organisées en Yougoslavie et en Autriche. Les programmes de ces réunions étaient complémentaires, mais évidemment il y avait aussi des chevauchements. Alors, il paraissait expédient de grouper par matières les rapports présentés pour être publiés, dans les chapitres suivants:

- I. Problèmes de l'érosion par les torrents
- II. Rapports entre l'érosion et la végétation
- III. Végétation - qualité et quantité de l'eau
- IV. La glace, la neige et les avalanches
- V. Nouvelles méthodes dans la construction de défenses
- VI. Aspects intégrés et mesures
- VII. Supplément

Les rapports ci-dessus groupés viennent des réunions suivantes:

Dans le 18e Congrès Mondial IUFRO du 8 au 13 septembre 1986 à Ljubljana, Yougoslavie, deux sessions des groupes spéciaux avaient lieu le 10 septembre. Environ cinquante participants de onze pays (Allemagne, Argentine, Autriche, Etats-Unis, Italie, Japon, Nouvelle-Zélande, Philippines, Suède, Suisse et Yougoslavie) discutaient sur dix exposés rédigés sur invitation (rapports invités) et sur le même nombre d'exposés présentés volontairement (rapports et posters volontaires). Les "rapports invités" étaient déjà imprimés à la disposition du Congrès dans le tome I de la section IUFRO 1. Les titres et les auteurs de ces rapports principaux sont indiqués dans la liste

ci-jointe. La présente brochure contient neuf "rapports volontaires" qui traitent principalement des problèmes de l'érosion par les torrents (chapitre I), de l'érosion et la végétation (chapitre II), ainsi que des dégâts par la neige et les avalanches (chapitre III). Additionnellement il y a là aussi la version anglaise du "rapport invité" du rapporteur sur le thème de l'érosion par les torrents (I) avec un résumé en allemand. A la suite de la semaine du Congrès de Ljubljana, un voyage d'études dans la semaine du 14 au 22 septembre 1986 donnait une vue d'ensemble très intéressante sur les problèmes spéciaux du contrôle des torrents et des avalanches, ainsi que sur les mesures et recherches y relatives dans cinq Etats de la République Fédérale de Yougoslavie.

Dans le cadre de la 15e session du groupe de travail (WP) pour le contrôle des bassins hydrologiques montagneux (MW) de la Commission Forestière Européenne (CFE) de l'organisation de l'alimentation et de l'agriculture (FAO) des Nations Unies (ONU), le 24 septembre avait lieu à Innsbruck, Autriche, aussi un symposium commun spécial FAO/IUFRO sur "L'influence de différents types de végétation sur l'érosion, la qualité et la quantité de l'eau". Les huit contributions de ce symposium se trouvent ici dans les chapitres II et III.

En somme, 67 représentants de 19 pays ont participé dans la 15e session de la FAO/CFE déjà mentionnée et qui a eu lieu à Innsbruck, du 23 au 27 septembre 1986. C'étaient les dix pays membres de la CFE (Allemagne, Autriche, Espagne, France, Israël, Italie, Norvège, Portugal, Suisse, Yougoslavie), neuf pays d'outre-mer (Cap-Vert, Chili, Colombie, Ethiopie, Iran, Japon, Maroc, Népal, Vénézuéla), ainsi que des organisations internationales (CEPAL, FAO, IUFRO). Dans cette conférence d'orientation plutôt pratique, on a présenté cinquante rapports dans huit groupes thématiques. Le résumé de ces exposés est contenu dans le rapport final

de la conférence (Rapport final de la 15e session du groupe de travail pour le contrôle des bassins hydrologiques montagneux à Innsbruck, Autriche, édité par FAO/CFE à Rome en 1987). La présente brochure contient douze contributions des participants autrichiens comme représentants du pays invitant, imprimées en intégral. Ces contributions concernent principalement les chapitres IV, V et VI sur la neige et les avalanches, les travaux de contrôle et les mesures intégrales. Enfin, le supplément (VII) contient aussi un guide d'excursion pour le ruisseau Schmittentbach. Le bassin hydrologique et les installations de mesurage de ce ruisseau ont été soigneusement observés dans la semaine de voyage d'études par l'Autriche, à continuation de la session, le 30 septembre 1986.

Enfin, il faut mentionner la quatrième session de travail commune IUFRO/ÖGG de la région des Alpes Orientales qui avait lieu à Salzbourg, Autriche, le 25 avril 1986 sur "Avalanches et autres mouvements de masses". Quinze participants d'Allemagne (Bavière) et de l'Autriche, des membres du groupe de travail pour la glace, la neige et les avalanches de la "Société Autrichienne de Géomécanique (ÖGG, une branche de la "Société internationale de mécanique rocheuse") et du groupe spécial IUFRO S1.04-00 discutaient des publications actuelles, des recherches et des investigations spéciales, des rapports dont celui sur la loi d'écoulement pour les névés sous l'influence de la température est contenu dans le chapitre IV.

Les différents exposés dans cette brochure ont été insérés, en changeant le moins possible les textes des auteurs, bien que cela comporte des concessions quant à l'uniformité de l'ouvrage. Nous y reproduisons essentiellement les travaux originaux intégraux. Cette publication contribuera à l'accélération du courant de l'information, en diffusant les résultats des travaux,

en augmentant tout le possible l'efficacité des recherches sur l'érosion par les torrents et les avalanches. De nouveaux problèmes demanderont une réponse et devront inspirer de nouvelles recherches.

Nous remercions donc tous ceux qui ont contribué à ce procès, les différents conférenciers, toutes les organisations, les interprètes, tous ceux qui nous ont aidé et surtout les organisations invitantes, en Yougoslavie surtout M. le professeur Dr. Lazarevic, Belgrade, en Italie le secrétariat FAO à Rome, en Autriche la direction des usines hydroélectriques Tauernkraftwerke AG, Salzbourg, ainsi que le Ministère Fédéral de l'Agriculture et de l'Exploitation Forestière à Vienne, et de l'impression de cette brochure, nous remercions surtout la direction du Centre Fédéral des Recherches Forestières avec tout son personnel qui y a prêté son concours.

Gottfried Kronfellner-Kraus
Président du groupe de travail FAO/CFE/MW
Vice-directeur du groupe spécial IUFRO

LISTE DER IM REFERATEBAND DES 18. IUFRO-WELTKONGRESSES 1986,
DIVISION 1, VOL. 1, BEREITS PUBLIZIERTEN BEITRÄGE
S1.04 - 00

Protection against Erosion, Floods and
Avalanches of Debris or Snow

Seite/Page:

- 165-177: KRONFELLNER-KRAUS, G.: Neue Ergebnisse und Erfahrungen zur Quantitativen Einschätzung von Wildbächen.
- 178-189: MEGAHAN, W. F.: Recent studies on erosion and its control on forest lands in the United States.
- 190-198: ISHIBASHI, H.: Erosion control works in the volcanic zone.
- 199-208: KOTOULAS, D.: Contribution to erosion and torrent control in Mediterranean area with examples from Greece.
- 209-216: NITTA, R.: Current approaches to snow tolerant forests in Japan.
- 217-226: O'LOUGHLIN, C. & Z. XINBAO: The influence of fast-growing conifer plantations on shallow landsliding and earthflow movement in New Zealand steep lands.
- 227-238: SASSA, K.: The mechanism of debris flows and the forest effect on their prevention.
- 239-249: RICE, R.M. & J. LEWIS: Identifying unstable sites on logging roads.
- 250-260: DJOROVIC, M. & G. MACAN: Some results on runoff studies in small hilly-mountainous watersheds, in the Republic of Serbia, Yugoslavia.
- 261-272: IWAMOTO, M.: Effect of forest conservation project in smoke damaged land, Ashio district in Japan.

I . W I L D B A C H E R O S I O N

EROSION UND MASSENBEWEGUNG IN NEPAL

von

Hideaki Marui

Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung

Universität für Bodenkultur in Wien

Zusammenfassung

Im Hügelland von Nepal ereignen sich Erosionen und Massenbewegungen sehr häufig und heftig, in verschiedenen Formen und Ausmaßen. Die Verringerung der Schäden durch derartige Phänomene ist eine dringliche Notwendigkeit. Erosion und Massenbewegung sind eigentlich in ihrer Mechanik voneinander verschieden, dennoch beschleunigen sich beide Vorgänge oft gegenseitig. Es ist notwendig, daß der gegenwärtige Zustand, die Hauptfaktoren und die Mechanik der einzelnen Vorgänge richtig erklärt werden, um entsprechende Sanierungsmaßnahmen zu planen.

Obwohl es keinen Zweifel darüber gibt, daß die Hauptursachen für Erosion und Massenbewegung in erster Linie auf ungünstige geologische Verhältnisse und extrem hohe Niederschlagsmengen zurückzuführen sind, gibt es oft solche Fälle, daß künstliche Faktoren, wie unrichtige Bodennutzung oder unsachgemäße Bauarbeiten die Erosionen und Massenbewegungen verstärken. Besonders in Entwicklungsländern ist eine Vorbeugung von Schäden durch Erosion und Massenbewegung wichtiger als eine Restaurierung nach Katastrophen. Der Ausgleich zwischen landwirtschaftlicher bzw. industrieller Entwicklung und der Drosselung der Erosion und Massenbewegung, ist eine dringende Aufgabe in der Bewirtschaftung des Einzugsgebietes im Hügelland.

1. Einleitung

Der Autor hat sich von Dez. 1984 bis Feb. 1985, etwa zwei Monate, in Nepal im Rahmen des "Watershed Management and Conservation Education Project" bei der FAO, an Untersuchungen über Massenbewegungen betätigt. Die Ergebnisse der Untersuchungen stellen weiteren Projekten eine Grundlage zur Verfügung.

Dieser Bericht beabsichtigt, eine Übersicht des Sachverhaltes der Erosionen und Massenbewegungen darzulegen und einen Grundgedanken für Gegenmaßnahmen darzustellen.

2. Natürliche und soziale Gegebenheiten von Nepal

2.1. Landschaftsökologische Verhältnisse im Allgemeinen

Nepal liegt südlich des Himalaya-Gebirges, als langgestrecktes Rechteck mit ca. 141.000km². Es liegt zwischen dem 80 und 85 Längengrad, sowie zwischen dem 26 und 30 nördlichen Breitengrad, (entspricht also ungefähr demjenigen Ägyptens bzw. der tropisch-subtropisch Zone).

Die großen Höhenunterschiede zeigen die ausgeprägten, klimatischen Kontraste Nepals. Auf engem Raum befinden sich alle Klimatypen der Erde; von tropischen Urwäldern bis zu arktischen Wüsten des Hochgebirges.

Die Teilung des Jahres in eine Trocken und eine Regenperiode, ist auch ein besonderes Merkmal. Die Monsunzeit dauert normalerweise vom Juni bis Ende September, in dieser Zeit konzentrieren sich 80% des jährlichen Niederschlags. Der jährliche Niederschlag verteilt sich von, weniger als 250mm in Mustang-Gebiet im Zentral-Himalaya, bis zu mehr als 4000mm, in Lumle in der Nähe von Pokhara.

Die derzeitige Bevölkerung beträgt rund 16 Millionen. Ungefähr 48% der gesamten Einwohner leben im Hügelland, 44% in der Terai-Ebene und 8% im Gebirge.

2.2. Landschaftsökologische Zonen

Nepal ist im Süden flach und im Norden gebirgig, das Klima ist tropisch bis alpin. Obwohl das Land an der schmalsten Erstreckung in Nord-Süd-Richtung, nur 145km breit ist, besteht das Land aus einigen deutlich unterscheidbar-charakteristischen Zonen. Es wird in folgende landschaftsökologische Zonen geteilt: (nach B.D. Shrestha(1980) oder T. Hagen(1980)):

1. Inner Himalaya
2. Hoch Himalaya
3. Mittelland
4. Mahabharat-Lekh
5. Siwaliks
6. Terai

Der Himalaya ist selbstverständlich das höchste und steilste Gebirge der Erde, seine Entstehung ist jung, seine Absoluthöhe nimmt immer noch zu. Es gibt zwei große Verwerfungen in Nepal, den "Main-Central-Thrust", der an der Grenze zwischen dem Hoch Himalaya und dem Mittelland liegt, sowie die "Main-Boundary-Thrust" an der Grenze zwischen Mahabharat-Lekh und Siwaliks.

Entlang dieser beiden Verwerfungen ereignen sich besonders viele Massenbewegungen. Der Hoch Himalaya besteht aus Paläozoikum und metamorphen Gesteinen (Gneis, Schiefer). Das Gebiet zwischen beiden Verwerfungen besteht aus metamorphen Gesteinen, Paläozoikum, Mesozoikum und Tertiär; Siwalik besteht aus Molasse.

Abb. 1 zeigt landschaftsökologische Zonen auf einer Querschnittansicht von Nepal. Abb. 2 zeigt eine geologische Übersichtskarte.

2.3. Sozio-ökonomische Verhältnisse

Eigentlich ist das Problem "Erosions-Kontrolle" nicht nur ein technisches Problem, sondern auch ein sozio-ökonomisches. Diese Tatsache ist in Entwicklungsländer wie Nepal, besonders deutlich, zu erkennen.

1. Ein Großteil der Bevölkerung lebt im Hügelland.

Nepal ist ein Gebirgsland und etwa 75% des Landes besteht aus Gebirge und Hügelland. Der im Mittelgebirge lebende Großteil der Bevölkerung lebt hauptsächlich von der Landwirtschaft.

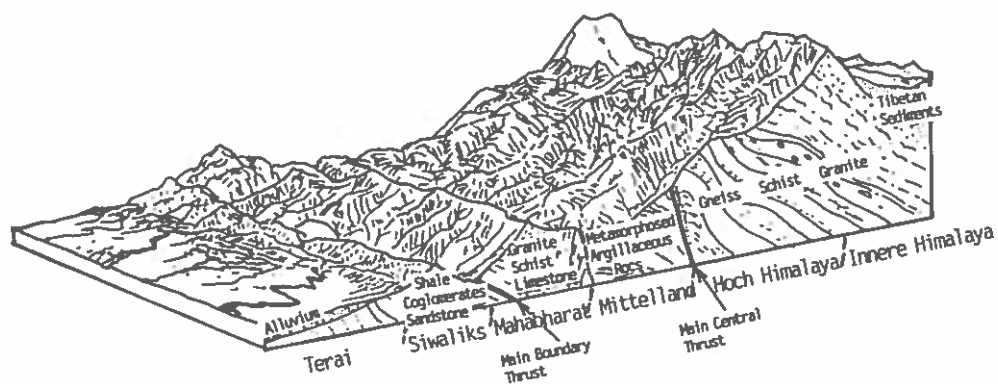


Abb. 1: Landschaftsökologische Zonen
(nach Shrestha, B.D., 1980)

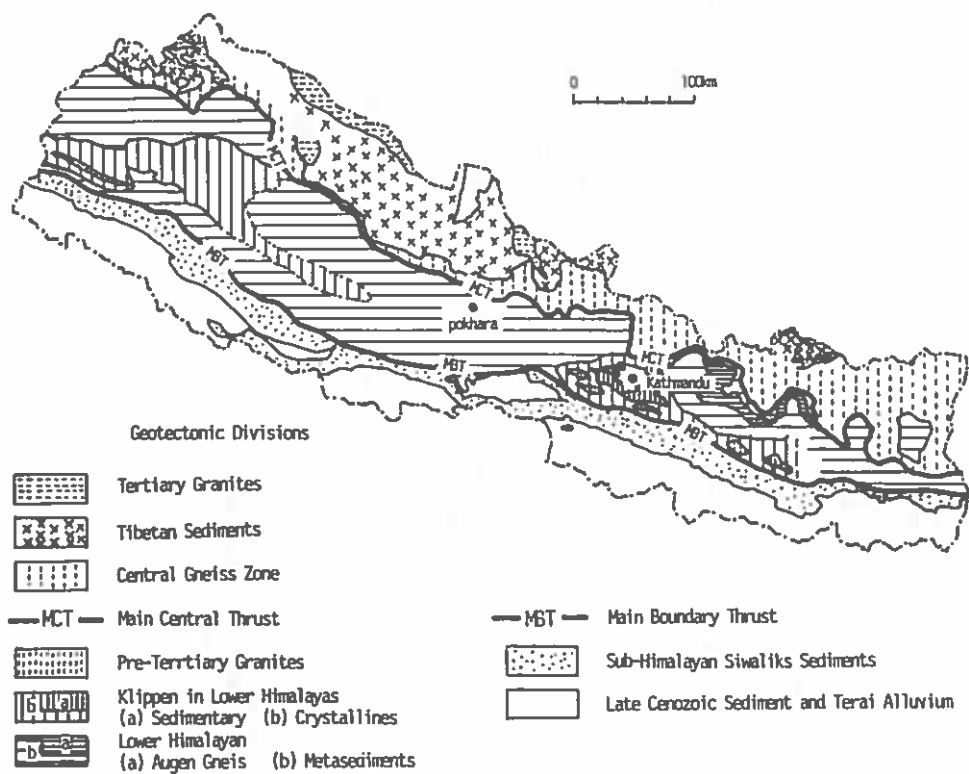


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte
(nach Shrestha, P.L., 1982)

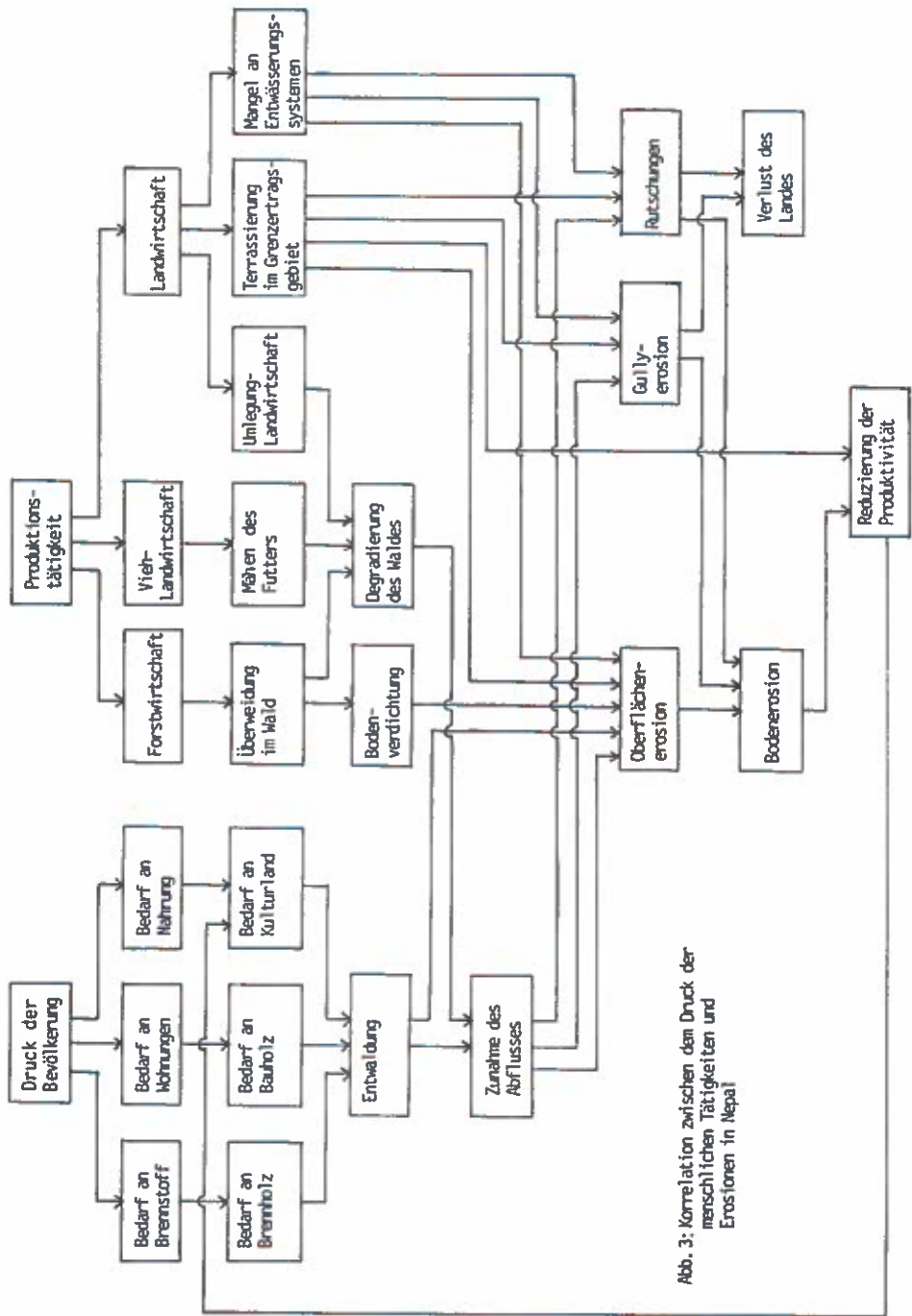


Abb. 3: Korrelation zwischen dem Druck der menschlichen Tätigkeiten und Erosionen in Nepal

2. Starke Bevölkerungszunahme.

Schon 1973 wurde festgestellt, daß die Bevölkerung jährlich um 2,4% zunimmt. Das führte zur Abholzung der Wälder. Diese Tendenz hält weiter an. Die laufende Zunahme der Bevölkerung verursacht folgenden Prozeß:

Zunahme der Bevölkerung - Mangel an Nahrung - Vergrößerung des Kulturlandes - Entwaldung - Schäden.

Aufgrund dieser Entwicklung werden auch Grenzertragsgebiete (weniger gute Böden) kultiviert.

Abb. 3 stellt die Korrelation zwischen dem Druck der menschlichen Tätigkeiten und Erosionen, schematisch dar.

2.4. Struktur der Landwirtschaft im Hügelland

Es muß zuerst auf die Art der großräumigen Terrassierung auf steilen Hängen hingewiesen werden. Es gibt zwei Kategorien von Terrassen, nämlich bewässerte Terrassen mit horizontaler Oberfläche, sowie unbewässerte Terrassen mit geneigten Oberflächen. Auf den bewässerten Terrassen wird Reis während der Regenzeit und Weizen während der Trockenzeit, gepflanzt. Die künstlich bewässerte Landwirtschaft im Unteren Einzugsgebiet der Bäche ist die häufigste Form. Auf den unbewässerten Terrassen besteht das Hauptgetreide aus Korn, Hirse und Buchweizen. Die unbewässerte Landwirtschaft befindet sich hauptsächlich in den oberen Einzugsgebieten der Bäche.

Während der Regenzeit leidet die Oberfläche der unbewässerten Terrassen unter starker Oberflächenerosion, aufgrund einer gewissen Neigung und Steilheit der ursprünglichen Böschung der Hügel. Es muß darauf hingewiesen werden, daß es bei beiden Terrassensystemen überhaupt keine Entwässerungssysteme gibt, um überflüssiges Niederschlagswasser unschädlich abzuführen.

Weiteres soll dem Aspekt, der Beziehungen zwischen Land- und Viehwirtschaft, mehr Beachtung geschenkt werden. Im Hügelland in Nepal, ist das Vieh maßgeblich an der intensiven Form der Landwirtschaft beteiligt, da es eine große Rolle bei der Unterstützung des Ackerbaues, als Lieferant von Dunghaufen, Brennstoff und als wesentliche Quelle, für die Ernährung der Bauern spielt. Infolge des Mangels an Futter frißt das Vieh an Bäumen und schädigt diese. Bei der Überweidung durch das Vieh wird der Baumbestand, die Vegetationsdecke zerstört, als auch der Oberflächenboden zertrampelt. Im Hügelland treffen Landwirtschaft, Viehwirtschaft und Wald organisch aufeinander.

2.5. Bedürfnis der Entwicklung der Industrie

Heutzutage ist die Entwicklung der Industrie in Nepal ein dringendes nationales Bedürfnis. Gemäß diesem Bedürfnisse werden Viele Entwicklungsprojekte durchgeführt (z.B. Straßenbau, Wasserkraftwerksbau), die Geschwindigkeit der Entwicklungstätigkeiten wird beschleunigt. Dies vergrößert das Potential der durch Menschen verursachten Erosionen und Massenbewegungen. Straßen, die durch Hügelland unsachgemäß gebaut werden, verursachen Erosionen und Rutschungen. Auch große Talsperren werden gebaut. Sie erhöhen das Potential der Rutschungen, weil die geologische Verhältnisse des Standortes in den meisten Fällen sehr schlecht sind. Es soll betont werden, daß alle Entwicklungstätigkeiten im Hügelland zwangsläufig, mehr oder weniger, zur Zerstörung der Umwelt führen.

3. Sachverhalt der Erosionen und Massenbewegungen

Fast alle Erosionstypen und der Massenbewegungen ereignen sich in Nepal bedingt durch die Kompliziertheit und Vielfältigkeit der landschaftsökologischen Verhältnisse (geomorphologische, geologische, klimatische usw.).

Typen, die tatsächlich vorkommen, sind:

Erosion: Tiefenerosion, Lateralerosion, Oberflächenerosion

Massenbewegung: Felssturz, Bergsturz, Rotationsrutschungen (Fels-, Boden-), Translationsrutschungen (Fels-, Boden-), Murgang, oberflächennahe Anbrüche und auch Komplex-Typen.

Auch die Dimensionen der Massenbewegungen sind sehr verschieden. Sie gehen vom oberflächennahen Anbruch mit 10^2 m^3 Ausmaß bis zu gigantischen Rutschungen mit 10^6 m^3 Ausmaß, oder noch mehr.

Unter dem Gesichtspunkt der Vorbeugung gegen Katastrophen sind die Mittel-land-Zone und Mahabharat-Lekh-Zone sehr wichtig; Dies, wegen des häufigen Auftretens von Massenbewegungen und relativ dichter Bevölkerung. Die schädlichsten Vorgänge sind hier Rutschungen, Murgänge und oberflächennahe Anbrüche. In Siwalik werden oberflächennahe Anbrüche häufig beobachtet. Das Hauptproblem in dieser Zone ist jedoch die Oberflächenerosion. Dies hängt vom schlechten Waldzustand ab.

Abb. 4 zeigt Perspektiven entlang der "Main-Boundary-Thrust." Abb. 5 zeigt eine Fernansicht in Siwalik.

4. Wichtige Probleme

4.1. Terrassierung in großen Dimensionen und Erosion bzw. Massenbewegung

Das Hügelland, das etwa 2/3 der gesamten Landfläche Nepals bedeckt, ist zu einem großen Teil, bis in die Grenzertragsgebiete, durch Terrassierung kultiviert. An der Oberfläche der unbewässerten Terrassen, die stark geneigt sind, fließt das Niederschlagswasser sofort ab und erodiert bei starkem Niederschlag den Boden enorm. Im Gegensatz dazu, bleibt das Niederschlagswasser eine gewisse Zeit an der Oberfläche der bewässerten Terrasse liegen. Für die Erosion ist es zwar positiv, daß auf der Terrasse stets Wasser gespeichert wird, andererseits ist die Versickerung eben dieses gespeicherten Wassers im Falle der Rutschung, negativ.

Soweit nach Inspektionen des Zustandes, der in großen Dimension terrasierten Böschungen in einigen wichtigen Einzugsgebieten, bewertet werden kann, gibt es wenige Rutschungen, die durch Versickerung des Wassers in bewässerten Terrassen verursacht werden. In den meisten Fällen ist die Terrassierung selbst keine unmittelbare Ursache für Rutschungen. Das Problem in terrasierten Böschungen ist nicht die Existenz der Terrasse selbst, sondern die Tatsache, daß die Terrassen überhaupt kein Entwässerungssystem haben. Dies ist die Hauptursache der schweren Erosionen und dadurch verursachten Rutschungen, in terrasierten Gebieten.

Der Prozeß der Erosionen und Rutschungen kann wie folgt erklärt werden:

1. Wegen vollständigen Mangels an Bewässerungskanälen, während der Regenzeit im Sommer, fließt das Niederschlagswasser direkt, an der Oberfläche der Terrassen, ab.
2. Infolgedessen konzentriert sich das, an der Oberfläche fließende Wasser, nach den mikro-geomorphologischen Verhältnissen, in Gullys oder in topographischen Mulden und verursacht die Vergrößerung des Gully bzw. Entstehung eines neuen Gully's.

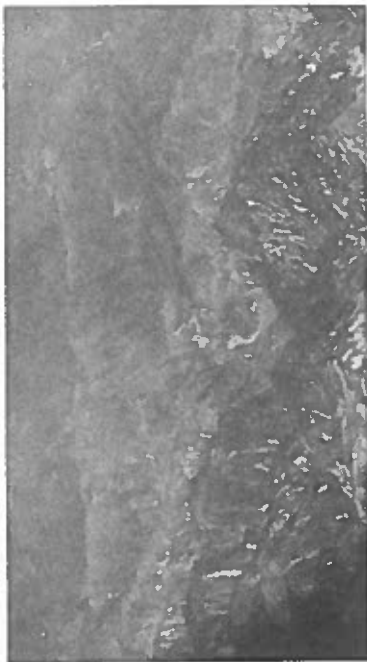


Abb. 4: Perspektiven vom Flugzeug aus. Das Flugzeug fliegt etwa entlang der "Main-Boundary-Thrust". Auf steilen Hängen ereignen sich zahlreiche größere Rutschungen und auch kleinere Anbrüche. Das Schuttmaterial wird von vielen solchen Rutsch- und Anbruchflächen, in riesigen Mengen zum Vorfluter geliefert. Auch auf die Bodennutzung und den Waldzustand muß das Augenmerk gerichtet werden. Auf den Hügeln ist der Wald in sehr schlechtem Zustand, die Waldflächen sind gering.



Abb. 5: Oberflächenerosion und oberflächennahe Anbrüche in Siwalik. Derzeit(1984) ist die Waldfläche von Nepal 4.1 Millionen ha bzw. 29.1% der gesamten Landfläche. Im Vergleich mit 1975 ist die Waldfläche um 17.6% verringert.

3. Anschließend werden die Seitenhänge des Gullys instabil, der Fuß der Seitenhänge wird durch die Eintiefung des Gullys, stetig korrodiert.
4. Kleine Anbrüche der Seitenhänge im Gully dehnen sich, bis zu terrassierten Böschungen, weiter aus.

Abb. 6 zeigt ein Beispiel der Erosion und Terrassierung in großen Ausmaß.

Abb. 7 zeigt ein Beispiel eines künstlichen Anbruches an einer terrassierten Böschung.

4.2. Einfluß des Straßenbau

Die Straßen im Hügelland, die durch topographisch oder geographisch ungünstige Zonen durchführen, haben das Potential, Erosionen oder Anbrüche zu verursachen. Solche Beispiele sind zu zahlreich, um einzeln aufgeführt zu werden. Als konkrete Ursache für diesen Zustand kann man folgende Gründe aufzählen:

1. Anschnitt der gefährlichen Böschungen und Liegenlassen, ohne geeignete Schutzmaßnahme.
2. Sorglose Deponie des herausgeschnittenen Bodens an den talseitigen Böschungen.
3. Unpassende Entwässerung. Zu geringe Kapazität der Entwässerungskanäle. Strukturelle Unzulänglichkeiten der Ausmündungen der Entwässerungskanäle.

Auf der Abb. 6 kann man die durch Straßenbau entstandenen Anbrüche gut sehen. Abb. 8 zeigt ein Beispiel des, durch unpassende Entwässerung, verursachten Anbruches.

4.3. Durch Talsperrenbau verursachte Rutschungen

In letzter Zeit ereignen sich beträchtlich viele Rutschungen, die durch die Wirkung des gespeicherten Wassers bei Talsperren verursacht werden. Dies ist ein großes soziales Problem geworden. Ein drastisches Beispiel dafür ist die enorme Rutschung des "Vajont-Tals".

Es gibt zwei Fälle von Ereignissen, zum einen die Rutschungen, die sich bei erstmaliger Speicherung des Wassers in Stauseen ereignen, zum anderen die Rutschungen, die durch das rasche Absinken des Wasserspiegels verursacht werden.

Im letzten Fall spielt der verbliebene Porenwasserdruck in der Böschung, der durch rasches Absinken des Wasserspiegels verursacht wird, eine entscheidende Rolle.

Im ersten Fall werden im allgemeinen folgende Punkte als Ursachen betrachtet:

1. Zuerst ereignet sich eine kleine Rutschung, in unter Wasser gesetzten Böschungen, die dann eine größere Rutschung dahinter, auslöst.
2. Bei der Überschwemmung einer Böschung, die bisher nie überschwemmt war, es dringt das Wasser zur abgerutschten Bodenmasse durch, es nimmt die Scherfestigkeit der Gleitfläche ab.
3. Durch die zusätzliche Belastung mit gespeichertem Wasser, ergibt sich eine Verspannung in beträchtlichen Maße.

Abb. 9. zeigte eine große Rutschung, die sich unmittelbar am Speicherwasser eines Kraftwerkes ereignet hat.

5. Grundgedanke für Gegenmaßnahmen

1. Der Prozeß der Durchführung von Gegenmaßnahmen besteht aus drei Stufen. Die "Erfassung", "Planung" und "Durchführung". Die "Erfassungsstufe", in der Erosions- oder Massenbewegungsvorgänge untersucht und ihre Mechanik analysiert werden sollen, ist eine wichtige Voraussetzung für die Durchführung von Gegenmaßnahmen.



Abb. 6: Erosion und Terrassierung in großen Ausmaß. Dieser Ort heißt "Naubise" und liegt etwa 20km westlich von Kathmandu. Man kann deutlich sehen, daß die Gully-Erosion durch die Konzentration des Oberflächenwasser verursacht worden ist. Die durch Straßenbau entstandenen Anbrüche sind gut zu sehen.

Abb. 7: Künstlicher Anbruch an einer terrassierten Böschung. (Laurik-Utsitkhola in Phewatal)

Auf der Rippe befinden sich bewässerten Terrassen, die als Reisfelder genutzt werden. Es gibt überhaupt kein Entwässerungssystem. In diesem Fall ist die Hauptursache deutlich eine falsche Drainage des überflüssigen Wassers der bewässerten Terrasse. Eine andere Ursache ist gleichzeitig eine Lateralerosion des Baches. Infolge der Erosion durch das überflüssigen Wasser werden die Seitenhänge des Baches instabil und rutschen ab.

Für die Sanierung dieser Anbrüche sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

- 1) Geeignete Entwässerungskanäle am Terrassenhang.
- 2) Eine Konsolidierungssperre aus Drahtschotter oder trockener Steinmauer knapp unterhalb des Anbruches.
- 3) Eine Stützmauer am Fuß des Anbruches aus Drahtschotter.





Abb. 8: Oberflächennaher Anbruch, der durch unsachgemäßen Straßenbau verursacht wird. (im "Kakani"-Einzugsgebiet)
Der talseitige Hang ist durch unsachgemäße Entwässerung erodiert, der Hangboden dadurch teilweise abgerutscht.
Es ist ein Hauptproblem, daß es keine genügende Absprache zwischen den zuständigen Organisationen, der Abteilung für Straßenbau und Abteilung für Erosions-Kontrolle, gibt.



Abb. 9: Große Rutschung, die sich unmittelbar am Speicher des Kraftwerkes ereignet hat. (im "Kulekhani"-Einzugsgebiet)
Das Rutschung hat etwa folgende Ausmaße:
Breite: 170m, Länge: 350m, Volumen: 1.2 bis 1.5 Millionen m^3
Tiefe der Gleitfläche: 20-30m
Am Rand des Rutschgebietes liegt der Kraftwerkseinlauf. Daher sind vollständige Gegenmaßnahmen unbedingt nötig. Nachdem zahlreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, sind folgende Gegenmaßnahmen ergriffen worden.
1) Verankerung 2) Abschneiden 3) Entwässerung

Es fehlt im gegenwärtigen Zustand Nepals, an erforderlichen Unterlagen, basierend auf Felduntersuchungen. Das ist auf den Mangel an Experten und einer zuständigen Abteilung in der Verwaltung zurückzuführen. Die Ausbildung der Experten ist eine vordringliche Aufgabe, besonders im Hinblick auf Massenbewegungen.

2. Die Gegenmaßnahmen erfolgen in zwei Richtungen, nämlich "Vorbeugungsmaßnahmen" und "Restaurierungsmaßnahmen". Es versteht sich von selbst, daß eine Vorbeugung vor Katastrophen besser ist als eine Restaurierung nach Katastrophen. Es ist sehr schwierig, plötzliche Massenbewegungsvorgänge, in großem Ausmaß vorzubeugen, vor allem jene, die von extrem ungünstigen natürlichen Gegebenheiten abstammen. Es ist jedoch möglich, einer Katastrophe, die künstlich verursacht wurde, vorzubeugen. In diesen Sinne müssen alle Entwicklungstätigkeiten (wie Straßenbau oder Talsperrenbau) unter besonder Berücksichtigung der Umweltbeschädigung durchgeführt werden. Der engere Kontakt zwischen der, für Erosions-Kontrolle zuständigen Abteilung und der für Entwicklungstätigkeit zuständigen Abteilung muß hergestellt werden.

3. Gegenmaßnahmen sind nach Art und Weise folgendermaßen zu klassifizieren:

1. Bautechnische Maßnahmen.
2. Forstlich- biologische Maßnahmen.
3. Änderung der Bodennutzung sowie Umstellungsmaßnahmen der Bewirtschaftung.
4. Warnung und Evakuierung.

Auf jeden Fall ist es wichtig, Grenzen und Möglichkeiten der einzelnen Maßnahmen richtig zu bestimmen. Außerdem ist die richtige Kombination der Gegenmaßnahmen unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Zustandes von Nepal, einzusetzen.

Bespielsweise sind folgende Maßnahmen dringend:

- 1) Änderung der Bodennutzung im Grenzertragsgebiet (vom Kulturland zum Wald).
- 2) Änderung der Form der Terrasse (von der geneigten zur horizontalen, Terrasse).
- 3) Errichtung von Entwässerungskanalssystemen auf terrassierten Böschungen.
- 4) Begrünung und Aufforstung gegen Oberflächenerosion.

Literatur

- Hagen, T., 1980: Nepal-Königreich am Himalaya. Kümmerly+Frey, Geographischer Verlag, Bern.
- Marui, H., 1985: Landslide Prevention and Control, Consultant Report, DP/NEP/80/029, FAO/UNDP/HMG.
- Shresta, B.D., 1980: A Reconnaissance Inventory of the Major Ecological Land Units and their Watershed Condition in Nepal, Project Field Document, WP/17, NEP/74/020, FAO/UNDP/HMG.
- Shresta, P.L., 1982: Geotectonic Divisions & Mineral Deposits of Nepal, Mineral Exploration Development Board, Kathmandu.

INVESTIGATION
ON THE DISTRIBUTION
AND THE MORPHOLOGICAL
CHARACTERISTICS
OF
THE SURFACE SLIDE

By

Hiromasa HIURA
S1.04-00

Dept. of Forestry, Fac. of Agriculture,
Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan
Hangi-cho 1, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto, Japan, 606

SUMMARY

Sediment yield produced by frequent surface slides on the mountain slopes of granitic rocks become as dangerous as those produced by gigantic landslides or large scale slope failures, because of the high frequency of occurrence in a basin in spite of the dimensions.

After the investigation of the yearly fluctuation of the number of occurrences by the interpretation of the aerial photographs, the author has recognized that the occurrence of surface slides in the future could be estimated by the Weibull Distribution Function, and has also clarified the topographical characteristics of the collapsed slopes.

INTRODUCTION

In this study, the author treats landslides which occur frequently on the mountain slopes of weathered granitic rocks. The possibility of the occurrence of slides is not limited only to granitic rock mountains, but also occurs in mountains of any geology. The mechanism of the occurrence has been fairly well investigated up to now and the most effective guiding factor is also revealed to be the heavy rain of typhoons or of frontal storms. The dimension of this type of land-

slide is usually small but the number of the occurrences is large. It is generally recognized that most of them occur by the sliding of the surface layer of the mountain slope, so this type of landslide is often called "surface slide". This terminology is used hereafter.

This study treats first, the estimation of the number of occurrences of surface slides in the future by the investigation of the yearly fluctuation of the number; and second, the clarification of the topographical characteristics of the longitudinal profile of the collapsed slopes.

1. Outline of the survey area

1-1 Tsuchiyabara district

The survey area is located in the uppermost region of the Tsuchiyabara River which is one of the three branches of the Shorenji River, which is one of the main branches of Kizu River. The area is of about 9.4km^2 ("a" in Fig.1). The geology of Tsuchiyabara River basin is weathered biotite-granite. Here, in September in 1959, the typhoon "Isewan" attacked this district causing great damage. Followed by typhoon "Dainimuroto" (in 1961) and typhoon No.24 in 1965, many surface slides (Photograph) have occurred and produced enormous sediment yield due to the heavy rain on those occasions.



Photograph Showing 9 landslides in an area 300m wide

1-2 Minamiyamashiro district

The survey area is located in the southern part of Kyoto Prefecture and is in the upper region of Watsuka River which is one branch of Kizu River. Here, the uppermost region of Watsuka River and eight of its branches, Ikenouchi R., Sunakodani R., Hudo R., Kurokawa R., Hyozenji R., Nishitani R., Minamidani R. and Zensakudani R. were surveyed. The summed area of these river basin is 16.3km^2 ("b" in Fig.1). The geology is weathered biotite-granite. This district was attacked by the frontal storm of the rainy season in 1953 and many surface slides occurred called the "Minamiyamashiro Disaster".

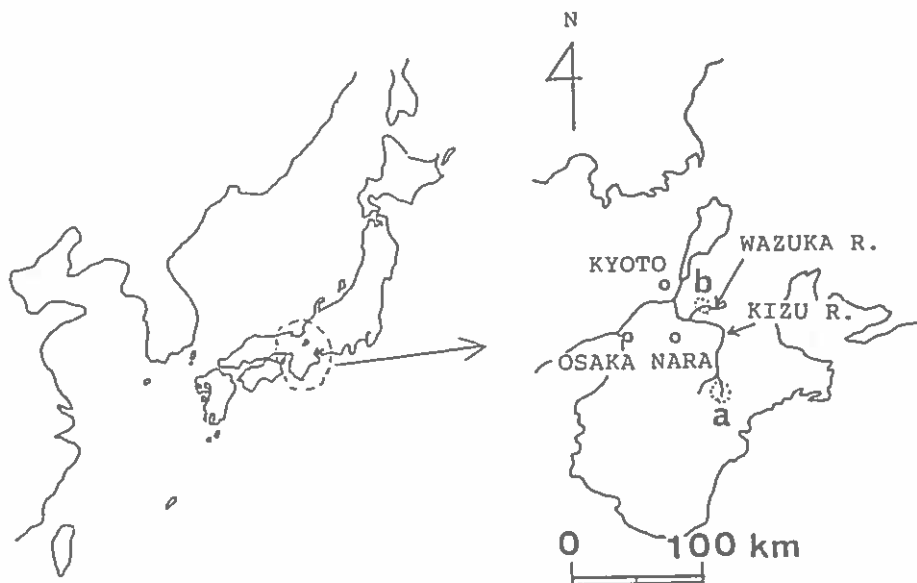


Figure 1 Location of the study area

2. Yearly transition of the number of the surface slide

The aerial photographs were used for the investigation of the yearly transition of the number of the surface slides. The photographs used were of the Tsuchiyabara district, taken three times in 1966, 1971 and 1976, and of the Minamiyama-shiro district, taken four times in 1954, 1963, 1971 and 1983. Interpreted surface slides were traced onto the topographical maps. To investigate the transition of the number, histograms of the number of the slides were used, whereby firstly meshes of arbitrary dimension were drawn on the maps and secondly the number of slides in those meshes were counted to make the histograms of every mesh.

Fig.2(1), Fig.2(2) and Fig.2(3) are the histograms of the Tsuchiyabara district and the size of meshes are 300m, 150m and 75m. By the comparative investigation of the histograms, the most suitable mesh size for the expression of the transition of the number of the slide was selected. In any mesh size, the tendency of the transition of the number was expressed characteristically respectively. In the case of 300m mesh, as the mesh size is relatively larger and encloses a fairly vast area, this size could give the overall tendency of the transition of whole survey area; as shown in Fig.2(1), meshes containing about ten slides are dominant and the meshes without slides decrease yearly, so as a whole, the increase of the number of slides in a basin could be estimated.

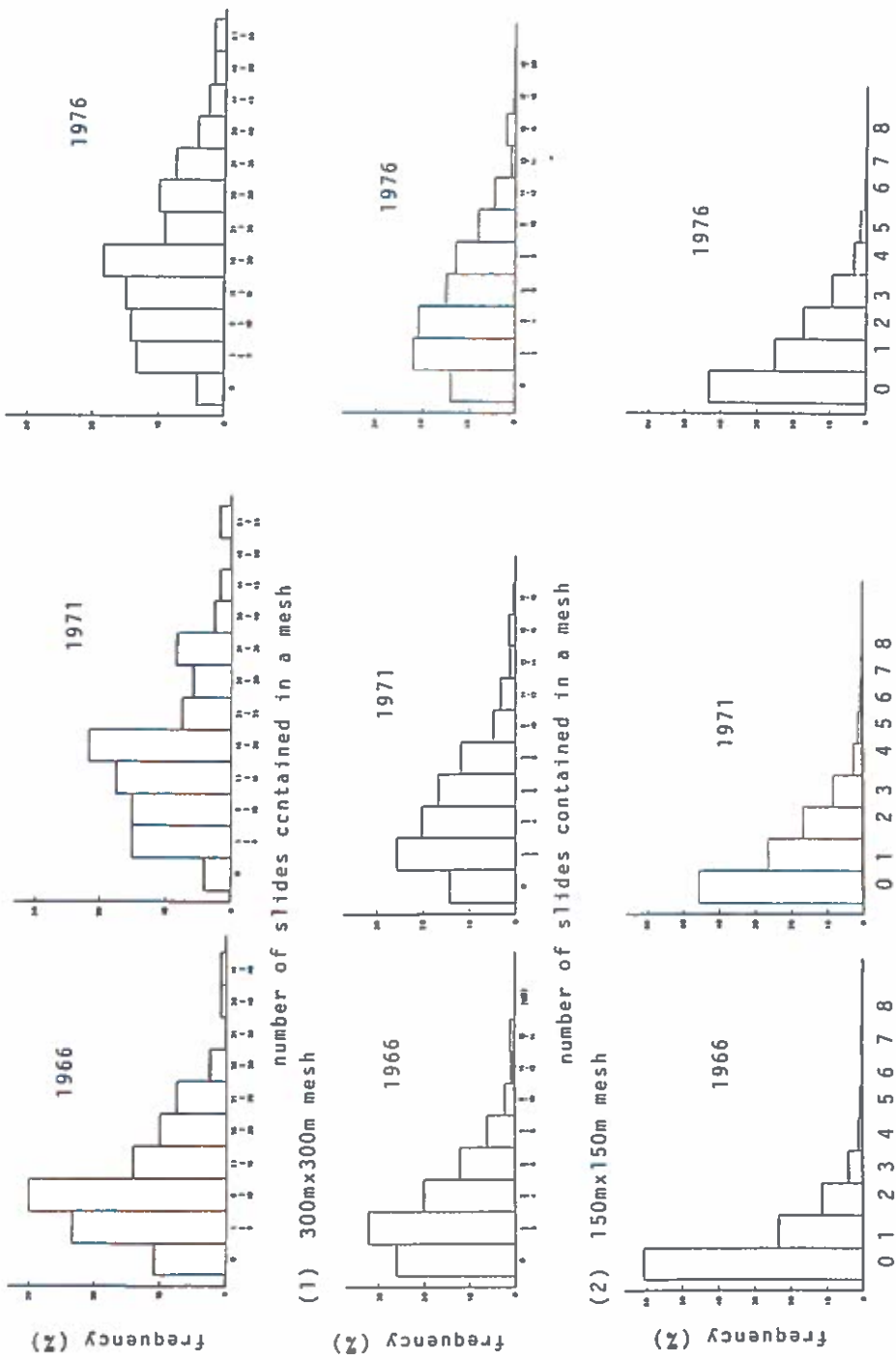


Figure 2 Yearly fluctuations of histograms for each mesh size

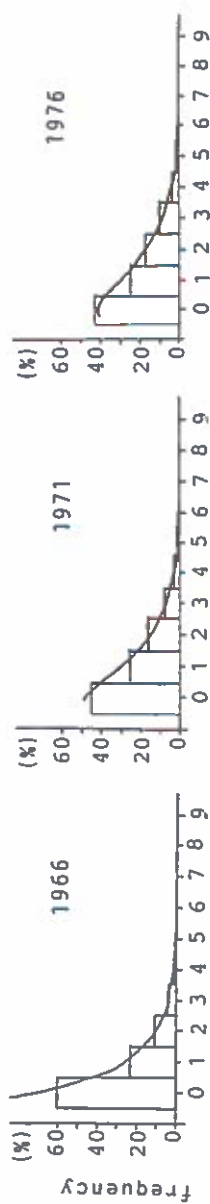
Table 1 Yearly fluctuation of the number of surface slides

(1) Tsuchiyabara district

Year	number of slides in one mesh	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	total number of slides	density of slides (number/km ²)
1966	number of meshes	1008	385	188	64	17	11	2	3	0	0	1109	117.5
	frequency of mesh(Z)	60.1	22.9	11.2	3.8	1.0	0.7	0.1	0.2	0.0	0.0		
	Weibull value(Z)	59.6	25.8	9.7	3.6	1.4	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0		
1971	number of mesh	756	435	273	135	4	21	10	4	2	1	1768	187.3
	frequency of mesh(Z)	45.1	25.9	16.3	8.1	2.4	1.3	0.6	0.2	0.1	0.1		
	Weibull value(Z)	47.9	29.3	14.9	7.0	3.1	1.3	0.6	0.2	0.1	0.0		
1976	number of mesh	719	416	286	156	55	28	10	5	2	1	1936	205.1
	frequency of mesh(Z)	42.9	24.8	17.0	9.3	3.3	1.7	0.6	0.3	0.1	0.1		
	Weibull value(Z)	41.2	29.3	16.3	8.1	3.7	1.6	0.7	0.3	0.1	0.0		

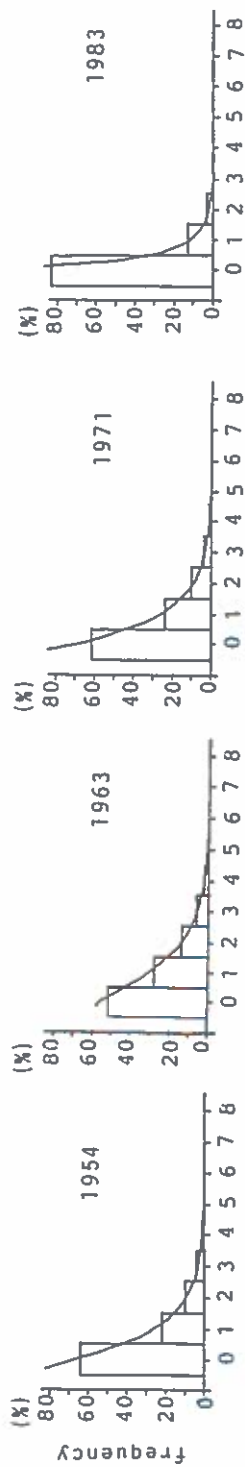
(2) Minamiyamashiro district

Year	number of slides in one mesh	0	1	2	3	4	5	6	7	8	total number of slides	density of slides (number/km ²)
1954	number of meshes	1838	614	282	118	36	6	2	1	0	1725	105.9
	frequency of mesh(Z)	63.4	21.2	9.7	4.1	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0		
	Weibull value(Z)	66.7	25.9	9.2	3.2	1.1	0.4	0.1	0.0	0.0		
1963	number of mesh	1473	786	386	174	51	14	11	1	1	2435	149.4
	frequency of mesh(Z)	50.9	27.1	13.3	6.0	1.8	0.5	0.4	0.0	0.0		
	Weibull value(Z)	54.9	29.7	13.0	5.1	1.9	0.7	0.2	0.1	0.0		
1971	number of mesh	1780	686	292	101	23	11	3	1	0	1745	107.1
	frequency of mesh(Z)	61.4	23.7	10.1	3.5	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0		
	Weibull value(Z)	71.1	26.2	9.1	3.1	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0		
1983	number of mesh	2427	361	85	16	5	3	0	0	0	614	37.7
	frequency of mesh(Z)	83.8	12.5	2.9	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0		
	Weibull value(Z)	136.9	12.1	2.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0		



number of slide contained in a mesh

(1) Tsuchiyabara district



number of slide contained in a mesh

(2) Minamiyamashiro district

Figure 3 Histograms of the number of slides and Weibull distribution curves

Subsequently, in the case of 150m and 75m meshes, the transition of the number of meshes with no slides becomes clear and especially for 75m mesh, as the real dimension of the mesh is comparable to zero-order basin which is one order lower basin in the order analysis of a basin. The author has investigated the occurrence of surface slides in relation to the location or the dimension of the zero-order basin. According to the author's estimation, the surface slides were revealed to have a mean scale of about 240m and has recognized that one slide occurs in zero-order basin correspondingly, and the area ratio of one slide to zero-order basin is revealed to be about 0.1(1). So, the decrease of meshes with no slide could be considered as the fall of non-collapsed slope. Fig.2(3) are the histograms of 75m mesh, here, meshes of no slide decrease as follows; in 1966, a little more than 60%, in 1976, 45% and in 1976, 43%. And, as the meshes having one slide show almost no transition and as the total number of meshes in the survey area is constant, the increase of the meshes with more than two slides can be estimated. So, in the subsequent part, investigations concerning the occurrence of surface slides, the results of the interpretation using 75m meshes were adopted.

3. Distribution Function and Transition Model

Here, in order to express the tendency of the transition of the number of slides, the Weibull Distribution Function was used. This is one of the statistic density functions and originally derived to be adapted to the experimental data and because of its easiness and conformity, it has come to be used frequently. The formula of this function is expressed below;

$$f(x) = m \alpha^{-m} (x - \tau)^{m-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x - \tau}{\alpha} \right)^m \right\}$$

Curves drawn with histograms in Fig.3 are the Weibull Distribution curves and show good conformity with the histogram. There are three parameters which should be regressed using the given data. They are called the location parameter: τ , the scale parameter: α and the shape parameter: m respectively. From Table 1, indicating the interpreted number of surface slides, Table 2, indicating the yearly fluctuations of three parameters, Figure 3 which are the histograms of the number of slides and Figure 4 which are the diagrams of yearly fluctuations of each parameter of distribution function for two survey areas. The following things were recognized;

(i) Tsuchiyabara district: The number of slides increases yearly and the tendency goes down from 1971 to 1976 whereby the decrease of the number of the meshes with zero slide is shown clearly in the change of histograms. And the scale parameter: α and shape parameter: m increase and on the contrary the location parameter: τ decreases for ten years

and the tendency of the change goes down in the later five years.

(ii) Minamiyamashiro district: For about ten years after the disaster, the number of slides increased and after that decreased for twenty years. These tendencies are also seen in the fluctuations of three parameters as follows; for the first ten years after the disaster, α and m increase and γ decreases, and for the subsequent twenty years, these tendencies go contrary; α , m decrease and γ increases and the tendency goes up from 1971 to 1983.

As a result, when the number of the surface slides increase, α and m increase, but γ decreases. So, it can be said that the values of three parameters fluctuate in accordance with the transition of the slide numbers.

As mentioned above, the state of the distribution of the surface slide of a basin at an arbitrary time can be expressed by three parameters of the Weibull Distribution Function. And in order to make clear the reason for the different tendency of the increase and decrease of the number of slides which occur in the basin of the same geology, the restoration works and the conditions after the disaster of these two survey areas were considered.

In the case of the Tsuchiyabara district, the district was designated to be transferred to the direct control of the Ministry of Construction Works in 1964. And after that, construction works, mostly the sediment control dam works have been executed. But restoration works such as vegetation works against devastated mountain slopes have not been executed actively. On the other hand, in the case of the Minamiyamashiro district, soon after the disaster, restoration works(mainly reafforestation) against the devastated mountain slopes were actively begun by the Agriculture and Forestry Division of Kyoto Prefecture and have been continued till now.

The author describes hereafter the state of the increase and decrease of surface slides in relation to the execution of restoration works using the fluctuations of three parameters of the Weibull Distribution Function;

i) As for the occurrence of surface slides, it can be seen through the results of the interpretation of the aerial photographs that surface slides occur every year, but it seems to be natural to think that the total number of slides which will occur converge to a certain number, otherwise, all slopes of the mountain must be wholly devastated. As indicated in Table 2 and in Figure 4 for the results of the Tsuchiyabara district, the degree of the change of the number of slides and parameters go down in the later five years(from 1971 to 1976).

ii) Comparing the degree of the changes of the number of slides and of three parameters of the former five years of the Tsuchiyabara district and first ten years of the Minamiyamashiro district, the difference of the increase of the number of slides and the changes of three parameters after the disaster can be recognized. This seems to be the effect

Table 2 Yearly fluctuation of Weibull parameters

(1) Tsuchiyabara district

Year	Location: γ	Parameter	
		Scale: α	Shape: m
1966	-0.353	1.011	0.994
1971	-0.441	1.573	1.155
1976	-0.528	1.802	1.240

(2) Minamiyamashiro district

Year	Location: γ	Parameter	
		Scale: α	Shape: m
1954	-0.412	1.030	1.059
1963	-0.437	1.346	1.162
1971	-0.368	0.983	1.039
1983	-0.182	0.324	0.732

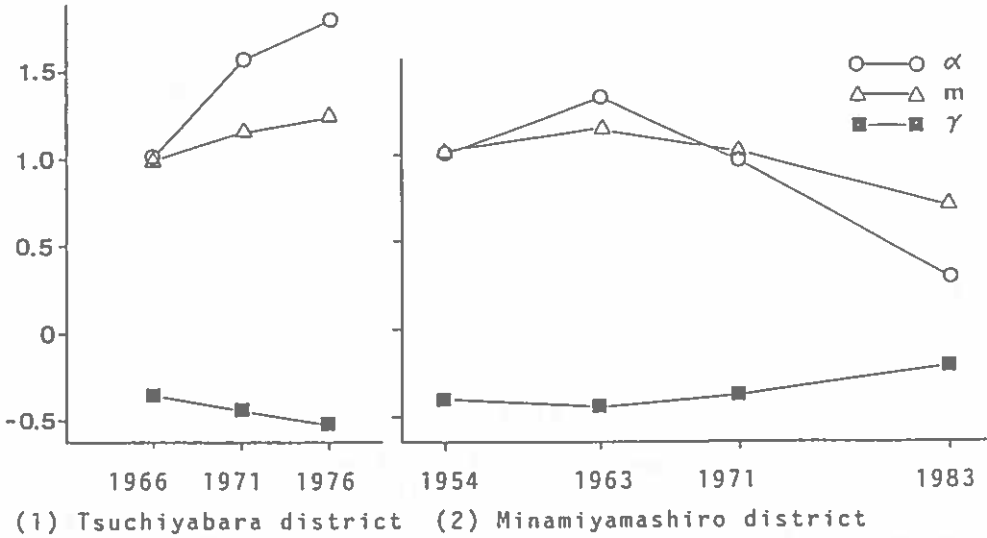


Figure 4 Yearly fluctuation of Weibull parameters

of the restoration works that have been undertaken at the Minamiyamashiro district soon after the disaster.

iii) And in 1963, the tendency of the increase and decrease of three parameters begin to go contrary, this is due to the effect of the restoration works coming out. So, it seems that the effect of the restoration works need ten years or so to be recognized visually.

4. Morphological characteristics of surface slide

Here, the author has treated the section of the land numerically considering it as one cycle of a cyclic phenomena and analysing it by use of the Fourier Transform. Fifty one collapsed slopes in the mountain of the Tsuchiyabara district were chosen arbitrary and a topographical survey of their longitudinal profiles was executed. The profiles were analysed by common use sine-cosine development of the Fourier Transform.

The formula below is the sine-cosine development of the Fourier Transform.:

$$x(m) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} \left(a_k \cos \frac{2\pi k}{N} m + b_k \sin \frac{2\pi k}{N} m \right) + \frac{a_{N/2}}{2} \cos \pi m$$

Here,

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos \frac{2\pi mn}{N} \quad \left(0 \leq m \leq \frac{N}{2} \right)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin \frac{2\pi mn}{N} \quad \left(1 \leq m \leq \frac{N}{2} - 1 \right)$$

The formula

$$a_k \cos \frac{2\pi k}{N} m + b_k \sin \frac{2\pi k}{N} m = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \sin \left(\frac{2\pi k}{N} m + \varphi_k \right)$$

is k-th order component of the high frequency and its strength is expressed as $c = a + b$

Fig.5(1), Fig.5(2) and Fig.5(3) are the histograms of the coefficients of cosine components, that of sine components and k-th order strength of the high frequency respectively.

Among the coefficients of cosine components, the component of the most concentrated value is A(6) and A(3), A(2) and A(1) follow, here, the mean value and the most frequent value of A(6) component are A(6)=0.753 and 0.750. For sine components, B(5) is the most concentrated component and B(4) and B(3) follow and the mean value and the most frequent values are B(5)=0.365 and 0.250. Finally, for the k-th order strength, C(5) is the most concentrated component and C(4) and C(3) follow, here, the mean value and the most frequent value of C(5) are C(5)=2.65 and 2.50.

Subsequently, considering the length of the slide to be the dependent variable which represents the scale of the surface slide and above mentioned three components to be the independent variables, the regression analysis was performed. In Table 3, three components, length(measured along slope)

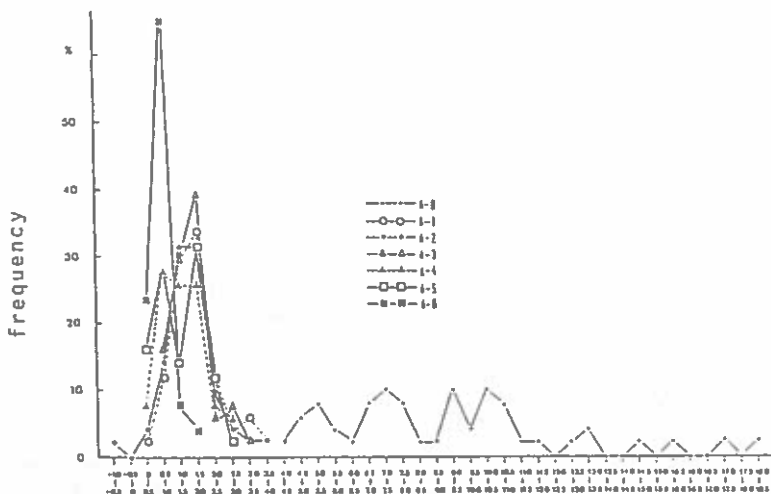


Figure 5(1) Histogram of coefficients of cosine components of Fourier sine-cosine development

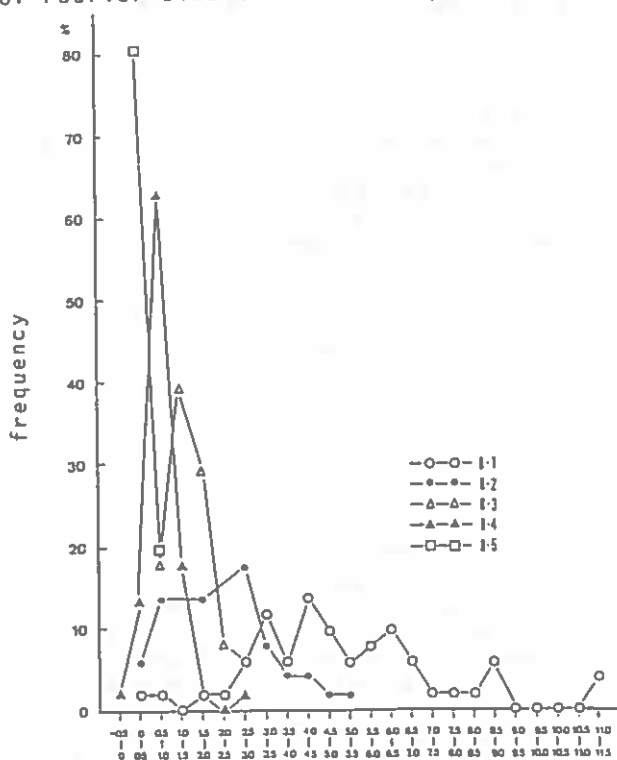


Figure 5(2) Histogram of coefficients of sine components of Fourier sine-cosine development

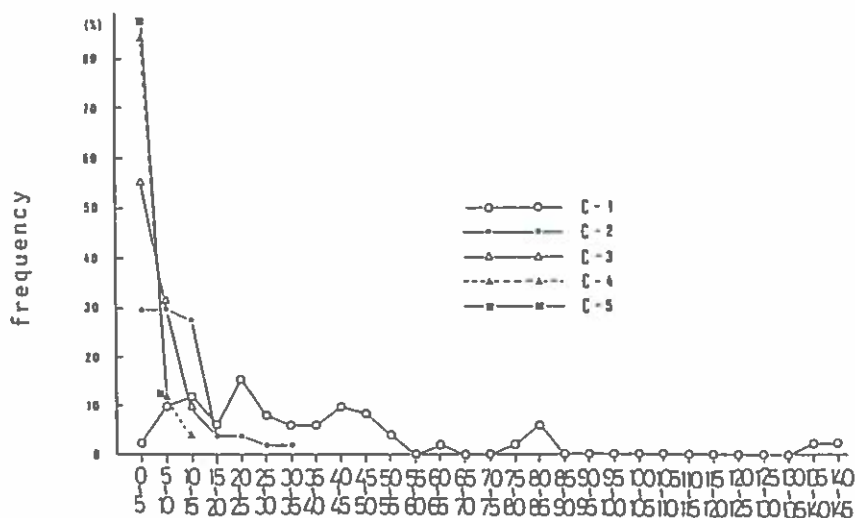


Figure 5(3) Histogram of k-th order strength of the high frequency

and the gradient of the slope are indicated. As a result, all of three parameters were revealed to be significant against the scale of surface slide and the regression formula to estimate the length was derived below;

$$L = 14.90 \times A(6) + 14.68 \times B(5) + 15.4 \times C(5) + 3.91 \quad (\text{m})$$

In this case, the coefficient of double correlation is 0.985. By this formula, two estimated values were calculated.

(1) Length using mean values of three parameters;

$$L = 61.30 \text{ m}$$

(2) Length using the most frequent values of three parameters;

$$L = 57.26 \text{ m}$$

4.2 Typical configuration of a collapsed slope

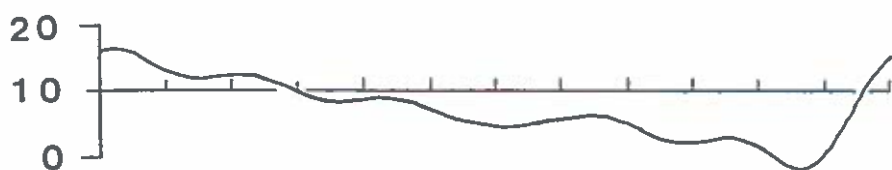
In Table 4, the most frequent values of cosine and sine parameters are indicated. By these values, the configuration of a collapsed slope was composed. Consequently, this shows the typical slope which could be seen in the Tsuchiyabara district. Fig.6(1), Fig.6(2) and Fig.6(3) are the longitudinal configuration drawn by the inverse Fourier Transform respectively. Fig.6(1) is composed of all components of frequency and shows the common configuration of collapsed slope. Fig.6(2) is composed of the components of lower frequency and gives rough configuration without fine relieves. So, from Fig.6(2), it is recognized that the rough configuration of the collapsed slope could be drawn by one cycle sine fun-

Table 3 Factors concerning the scale of surface slide

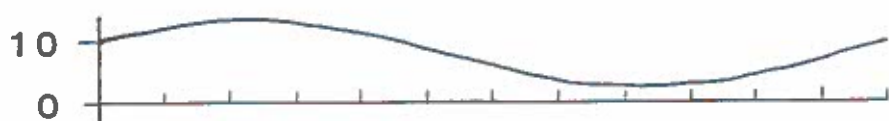
No.	A(6)	B(5)	C(5)	Length(m)	Gradient of slope(°)
1	0.831	0.346	2.98	28.2	38
2	1.190	0.647	6.44	40.3	38
3	0.667	0.354	1.64	20.3	29
4	1.505	0.754	8.81	59.0	40
5	0.774	0.408	3.16	25.0	50
6	0.889	0.391	3.18	24.8	45
7	0.566	0.307	1.57	17.5	50
8	1.190	0.583	5.66	37.2	38
9	0.480	0.252	1.00	16.3	46
10	0.903	0.449	3.81	28.6	37
11	0.466	0.197	0.94	14.7	44
12	0.631	0.158	0.38	19.4	43
13	0.760	0.367	2.66	25.8	44
14	0.702	0.492	2.59	30.9	46
15	0.430	0.153	0.62	12.5	40
16	0.817	0.278	3.15	22.5	51
17	0.667	0.333	1.86	22.1	44
18	0.473	0.195	1.13	14.1	50
19	0.810	0.384	2.49	20.7	45
20	0.817	0.369	2.80	24.1	44
21	0.803	0.307	3.53	30.1	42
22	1.591	0.639	9.53	48.0	52
23	1.204	0.633	6.00	36.5	42
24	1.190	0.588	5.99	38.1	39
25	0.552	0.315	1.23	17.0	50
26	0.831	0.469	3.46	26.9	44
27	0.846	0.567	2.89	33.3	35
28	0.831	0.333	2.53	24.5	39
29	0.459	0.234	1.03	18.5	40
30	1.046	0.566	4.79	37.9	38
31	0.903	0.430	2.69	30.2	38
32	0.860	0.404	3.27	33.8	38
33	0.688	0.330	1.74	23.7	40
34	0.903	0.404	3.77	29.0	49
35	0.365	0.210	0.55	13.5	43
36	0.409	0.258	0.87	14.5	42
37	0.315	0.212	0.49	12.1	43
38	0.631	0.272	1.50	19.5	43
39	0.595	0.330	1.66	18.4	46
40	0.874	0.458	2.71	24.5	45
41	0.709	0.294	1.67	20.5	43
42	0.989	0.390	3.84	29.0	44
43	0.459	0.229	0.88	15.8	39
44	0.631	0.408	1.92	21.5	43
45	0.437	0.164	0.83	14.0	40
46	0.674	0.249	1.82	22.0	37
47	0.380	0.223	0.67	13.4	42
48	0.552	0.281	1.20	17.1	42
49	0.831	0.514	2.89	22.4	49
50	0.588	0.344	1.09	21.6	40
51	0.681	0.169	1.39	21.7	39
Average	0.753	0.366	2.65	24.6	

Table 4 The most frequent values of the components of
Fourier sine-cosine development

cosine component		sine component	
A(0)	7.25		
A(1)	1.75	B(1)	4.75
A(2)	1.25	B(2)	2.75
A(3)	1.75	B(3)	1.25
A(4)	0.75	B(4)	0.75
A(5)	1.75	B(5)	0.25
A(6)	0.75		



(1) All components of frequency



(2) Lower frequency components



(3) Higher frequency components

Figure 6 Composed configuration of a collapsed slope

ction. And Fig.6(3) is composed of the components of higher frequency and gives the configuration only with fine relieves and shows that six regular waves having approximately the same amplitude appear in one cycle. Subsequently, as shown on Figure 4.1, longitudinal profile is firstly drawn with one cycle sine curve and the regular fine waves with little amplitude are laid on it. Thus, as mentioned above, the characteristics of the longitudinal configuration of the collapsed slope in the Tsuchiyabara district were clarified by use of the Fourier Transform.

CONCLUSION

As investigated hitherto, firstly the transition of the number of existing surface slides was revealed to be interpreted by the yearly fluctuation of the parameters of the Weibull Distribution Function and a successful example of the restoration works by means of reafforestation was cited. Secondly, the characteristics of the longitudinal configuration of the collapsed slopes were clarified by the Fourier Transform analysis.

REFERENCE

- (1) Hiromasa HIURA : Studies of the Occurrence of the Surface Slide and the Estimation of Sediment Yield, Bull. of the Kyoto Pref. Univ. Forest No.29, pp.1-57 1985

MÉTHODE APPROXIMATIVE
D'ÉVALUATION DU TRANSPORT
ANNUEL D'ALLUVIONS DANS
UN PETIT BASSIN VERSANT
TORRENTIEL x)

Dr.ing.Radu GASPAR et ing.Alex.APOSTOL
L'institut de Recherches et d'Aménagements
forestières,Bucarest

ABSTRACT

The mean annual volume of alluvia carried from a small catchment is obtained by adding the volume of alluvia carried from the slopes by surface runoff (W_{av}) with that from the river beds and banks of the drainage network (W_{aa}) carried by streamflow.

W_{av} is obtained by means of a relation similar with the universal soil loss equation (U.S.L.E. [5]), where instead of E.I.(energy - times - intensity) it is used H (the mean annual precipitation layer), and W_{aa} by means of a formula taking into account the mean annual precipitation layer, runoff coefficient, length, width, slope and erodability of channel network and afferent banks as well as alluvia granulometry. "The specific erosion" in real conditions has been calculated by using "the specific erosion standard", estimated in all kind of soils (on the slope, on the torrent's bed and its banks). The gat value of the specific erosion multiplied with the sub-unit.coefficient of the "alluvia's effluence" is equal with the annual alluvia's transport. The method is applied in studies and torrent control plans in Romania. It was tested in 9 pilot catchements, and deviations ranged within the limits $\pm 25\%$ with a mean error of $\sim 11\%$. The method is applied under the following conditions: catchment area $< 20 \text{ km}^2$, catchment mean slope $> 10\%$; mean precipitations: 600 - 1200 mm.

x)

La dernière variante (1984 - 1985); variantes
antérieures: 1964 - 1967, 1979 - 1982

1. INTRODUCTION

"La méthode d'évaluation du transport moyen annuel d'alluvions" s'applique en Roumanie dans les études et les projets de correction des torrents élaborés par l'Institut de Recherches et d'Aménagements Forestières, à partir de 1964 (la première variante de la méthode, [2]) jusqu'à présent, dans les conditions suivantes:

- a. La surface du bassin-versant^{x)} ≤ 2000 ha
- b. Les précipitations moyennes annuelles, $H = 600 - 1200$ mm (minimum $2/3$ sous forme de pluie)
- c. L'utilisation des terrains: en principal des forêts et des prés (la surface des terrains arables sous 40% de la surface totale).
- d. La pente moyenne des versants du B.H. $> 1\%$.

Par cette méthode on évalue séparément le transport d'alluvions qui proviennent des versants, en utilisant une relation de calcul semblable à la "équation universelle de l'érosion du sol" (U.S.L.E. [5]), et séparément, le transport d'alluvions provenant du lit et des berges afférents au réseau hydrographique. Le "point de départ" c'est la capacité des diverses terrains du B.H., de fournir des alluvions, respectivement de "l'érosion spécifique" en conditions déterminées (étalons); d'ici on passe à l'érosion spécifique dans les conditions du B.V. étudié, et en fin, au transport des alluvions dans l'exutoire du B.V. en utilisant un coefficient sousunitaire "d'effluence des alluvions". Pour connaître "l'érosion spécifique" des diverses terrains du B.V., on separe les terrains situés sur les versants de ceux qui appartiennent au réseau hydrographique et on étudie ces terrains comme "sources d'alluvions".

2. LA SEPARATION DES TERRAINS DU B.V.

Tous les terrains en pente d'un B.V. constituent virtuellement "des sources d'alluvions". Ces terrains se divisent en deux groupes:

- I. Les terrains situés sur les versants
- II. Les terrains constitués par les lits et les berges afférents au réseau hydrographique (permanent au temporaire), ci-inclus les plus petits ramifications.

En principe, le premier groupe comprend les terrains qui sont soumis à l'écoulement diffus des eaux pendant les pluies importantes, et le deuxième groupe, les terrains qui se trouvent directement ou indirectement sous l'influence de l'écoulement concentré des eaux (qui a lieu dans le réseau

^{x)} En ce qui suit, B.V.

hydrographique pendant les crues). Les terrains qui se trouvent sur les versants affectés par des glissements actifs dont le front atteint le réseau hydrographique, étant ainsi, dans cette zone, sous l'influence des courants d'eau, sont inclus partiellement dans le groupe I (respectivement les terrains en glissement qui se trouvent en amont de la ligne approximative des bords du réseau hydrographique), et partiellement, dans le groupe II (respectivement le front des terrains en glissement qui forment les berges proprement dites de la rivière). Dans le même temps, les berges situées au dessus des hautes terrasses et des lits majeurs, qui ne sont mouillées à la base par le courant d'eau même pendant les crues exceptionnelles, sont inclus dans le groupe I de terrains.

La surface cumulée des deux groupes doit être égale à la surface du B.V.

3. L'ÉTUDE DES TERRAINS SITUÉS SUR LES VERSANTS

Les terrains du premier groupe, en fonction de leur utilisation, de la nature et de la structure de la végétation, du phénomène de dénudation dominant (érosion ou glissement de terre) etc., se divisent en 28 catégories (tableau 1). À chaque catégorie de terrains correspond un potentiel de rétention des précipitations, pendant une pluie de longue durée, et une érosion spécifique, en conditions étalon. Ces terrains sont plus ou moins érosibles, en fonction des caractéristiques de l'horizon supérieur du sol ou de substratum, qui se trouve à la surface du terrain, par suite à l'évolution normale ou à l'érosion accélérée du sol, ce qui se reflète dans le coefficient d'érosivité de ces terrains, K , qui est précisé dans le tableau 2, d'après la nomogramme de WISCHMEIER [5].

Pour préciser "les catégories de terrains" et quel est l'horizon supérieur du sol, on étudie les aménagements forestiers et d'autres études du B.V., et on fait une descente sur terrain avec le plan du B.V. à une échelle convenable (1/2000 - 1/10000). On utilise le tableau auxiliaire 4, et pour chaque catégorie de terrains inscrite dans ce tableau, on précise: l'érosion spécifique étalon q_v , et le potentiel de rétention, Z_x , conformément au tableau 1, la surface, s , la pente moyenne, i_v , et la longueur moyenne des versants, l . La valeur de ce dernier paramètre, dans un B.V. qui a une surface S (ha) et une longueur totale du réseau hydrographique R (km), a l'expression:

$$l = 5,5 \cdot S : R$$

Dans le cas d'un secteur de B.V., la valeur approximative de la longueur moyenne des versants peut être déterminée en fonction de la surface du secteur, s (Ha), de la longueur du réseau hydrographique intérieur, r_1 (km), et extérieur (qui a un seul versant dans le secteur de B.V.), r_2 (km)

à l'aide de la formule:

$$l = 10.s : (1,8 r_1 + r_2) \quad (2)$$

Dans le même tableau on inscrit aussi la texture du sol, l'horizon supérieur et le coefficient d'érosivité K.

4. L'ÉTUDE DES TERRAINS LIMITROPHES AU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Les terrains limitrophes au réseau hydrographique ont été classifiés en 15 catégories dans le tableau 3, où sont précisés aussi, en fonction de la stabilité, la consistance, la cohésion et la consolidation des ces terrains, les coefficients d'érosivité, C. Pour préciser dans le B.V. étudié les catégories de terrains, il est nécessaire de parcourir et de mesurer expéditivement ces terrains sur place. Pour réaliser systématiquement cette opération on dresse un schéma du réseau hydrographique qui est numéroté d'après le système de classification décimale, le thalweg principal visant le no.1, etc. Chaque ramification hydrographique est partagée en secteurs ayant une longueur de 20 ... 50 m, et on note dans un carnet de terrain rédigé d'après le modèle du tableau 6, la largeur du lit et des berges et la surface des celles-ci en projection horizontale et d'après le talus (en plan incliné). On centralise tous ces données dans le tableau 6 et on fait les calculs spécifiés dans ce tableau.

5. LE CALCUL DU VOLUME MOYEN-ANNUEL D'ALLUVIONS PROVENANT DES VERSANTS

Le volume moyen-annuel d'alluvions résulte de l'érosion des versants par l'écoulement diffus et transporté par l'exutoire du B.V., peut être évalué, en conditions étalon ($H = 800$ mm; $K = 0,23$; $l = 200$ m; $i_v = 0,30$) à l'aide de la formule:

$$W_{av} = \left(\frac{H}{800}\right)^{0,5} \cdot \varphi_v \cdot \sum s \cdot q_v \cdot \frac{K}{0,23} \cdot \left(\frac{l_1}{200}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{i_v \cdot l}{0,30}\right)^{1,4} \quad (3)$$

Si on remplace φ_v , le "coefficient d'effluence" des alluvions provenant de versants, par l'expression:

$$\varphi_v = 1,10 \cdot \left(\frac{1}{L_a}\right)^{0,05} \cdot \left(\frac{1}{l}\right)^{0,02} \cdot i_v^{0,1} \cdot i_{ax}^{0,01} \leq 1,0 \quad (4)$$

et si on utilise au lieu de " l ", l'expression équivalente (1), et si on opère des simplifications, la formule (3) peut être rédigée sous les formes et dans les conditions suivantes:

a) La longueur (l_1) et la pente (i_{v1}) des versants se différencient en fonction de chaque catégorie (i) de terrains:

$$W_{av} = 0,07.H^{0,5} \left(\frac{1}{L_a}\right)^{0,05} \left(\frac{R}{S}\right)^{0,02} i_v^{0,1} i_{ax}^{0,01} \sum s.q_v.K.l_1^{0,5} i_{v1}^{1,4} \quad (5)$$

b) La longueur moyenne des versants est unique dans le B.V. mais la pente moyenne se différencie en fonction de chaque catégorie de terrains:

$$W_{av} = 0,17.H^{0,5} \left(\frac{1}{L_a}\right)^{0,05} \left(\frac{R}{S}\right)^{0,48} i_v^{0,1} i_{ax}^{0,01} \sum s.q_v.K.i_{v,1}^{1,4} \quad (6)$$

c) La longueur et la pente moyennes des versants sont uniques dans le B.V.:

$$W_{av} = 0,17.H^{0,5} \left(\frac{1}{L_a}\right)^{0,05} \left(\frac{R}{S}\right)^{0,48} i_v^{1,5} i_{ax}^{0,01} \sum s.q_v.K \quad (7)$$

Toutes les données de base et les résultats des calculs s'introduisent systématiquement dans le tableau 6.

6. LE CALCUL DU VOLUME MOYEN-ANNUEL D'ALLUVIONS PROVENANT DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le volume moyen-annuel d'alluvions résulte de l'érosion des lits et des berges et transporté par l'exutoire du B.V. peut être évalué à l'aide de la formule:

$$W_{aa} = \left(\frac{H}{S_{00}}\right)^{0,5} \left(\frac{S}{S_{00}}\right)^{0,125} \cdot \varphi_r \cdot f \sum L.q_a \cdot C \cdot \left(\frac{i_a}{i_s}\right)^{0,5} \quad (8)$$

Si on remplace φ_r , le coefficient d'effluence des alluvions qui proviennent du réseau hydrographique par l'expression:

$$\varphi_r = 1,10 \cdot \left(\frac{1}{L_a}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{i_{ax}}{i_v}\right)^{0,15} \quad (9)$$

et si on opère des simplifications, la formule (9) devienne:

$$W_{aa} = 0,0175 \cdot H^{0,5} \cdot S^{0,125} \cdot \left(\frac{1}{L_a} \right)^{0,1} \cdot \left(\frac{1}{i_v} \right)^{0,15} \cdot f \cdot L \cdot q_a \cdot C \cdot \left(\frac{1}{i_s} \right)^{0,5} \quad (10)$$

Les données du "carnet de terrain" se centralisent dans le tableau 6. Les calculs se réalisent aussi dans ce tableau, séparément pour chaque ramification, ou pour un groupe de ramifications. Dans ce dernier cas, dans la colonne finale du tableau 6 s'inscrivent les valeurs moyennes des paramètres (Z , d_m , etc.). La pente moyenne d'un groupe de ramifications (i_a) peut être déterminée approximativement (dans ce cas) par la formule:

$$i_a = \left(\sum L^2 \cdot i_a \right) : \left(\sum L^2 \right) \quad (11)$$

7. LE TRANSPORT TOTAL D'ALLUVIONS. LA VÉRIFICATION DE LA METHODE

Pour obtenir le volume total moyen annuel d'alluvions transporté par l'exutoire d'un B.V. (W_a) on cumule le volume d'alluvions fournis par les versants (W_{av}) avec le volume fournis par les lits et les berges afférents au réseau hydrographique (W_{aa}):

$$W_a = W_{av} + W_{aa} \quad (12)$$

On peut passer de volume, W_a (m^3/an), à la masse d'alluvions, G (t/m^3), à l'aide de la formule:

$$G_a = \rho \cdot W_a \quad (13)$$

où ρ est la densité apparente d'alluvions dans les atterrissements des barrages de correction des torrents ($\rho = 1,5 \text{ t/m}^3$).

La dernière variante de la méthode (1984-1985) a été vérifiée dans 9 bassin-pilot; les résultats obtenus par cette méthode diffèrent de ceux mesurés avec maximum $\pm 25\%$, l'erreur moyenne pondérée en fonction de la surface des B.V. étant de $- 11\%$.

8. NOTATIONS

B = la largeur "de calcul" du lit et des berges d'un secteur

d'un ramification ou du réseau hydrographique:

$$B = 0,5(S_a + S_t) : L; B \text{ et } L \text{ en m; } S_a \text{ et } S_t \text{ en m}^2$$

C = le coefficient d'érosivité des terrains qui constituent le lit et les berges (tableau 1)

$\bar{C}$ = la valeur moyenne de C (tableau 6)

$d_m = \phi$ = le diamètre moyen des alluvions (figure 1)

$$d_m = 0,1 \sum d_i, \text{ où } i = 5, 15, \dots, 85, 95$$

$d_5, d_{15} \dots$ = le diamètre des alluvions qui correspond sur la courbe granulométrique à 5%, 15% ... de la pesanteur de l'épreuve

f = coefficient en fonction de la classe texturale du substratum (tableau 5)

H = la hauteur moyenne annuelle des précipitations (mm)

i_a = la pente moyenne d'une ramification hydrographique ou d'un secteur de réseau hydrographique

i_{ax} = la pente moyenne du thalweg principal

i_v = la pente moyenne des versants d'un B.V.

$i_{v,i}$ = la pente moyenne des versants du secteur no i d'un B.V.

K = le coefficient d'érosivité des terrains situés sur les versants du B.V. (tableau 2)

l = la longueur moyenne des versants d'un B.V. (m)

l_i = la longueur moyenne des versants inclus dans le secteur no i d'un B.V. (m)

L_a = la longueur du thalweg principal (km)

L_s = la longueur d'une ramification hydrographique entre le front d'un glissement et l'origine du thalweg (km)

q_a = l'érosion spécifique des terrains situés sur les lits et sur les berges du réseau hydrographique (en conditions étalon, (figure 1) ($m^3/km.an$)

q_v = l'érosion spécifique des terrains situés sur les versants (en conditions étalon, tableau 1) ($m^3/ha.an$)

r_1, r_2 = la longueur du réseau hydrographique intérieur et respectivement extérieur d'un secteur de B.V. (km).

R = la longueur totale du réseau hydrographique (km)

s = la surface d'une catégorie de terrains, etc (ha)

s_a = la surface horizontale du lit (m^2)

s_m = la surface horizontale des berges (m^2)

s_t = la surface d'après le talus des berges (m^2)

S = la surface du B.V. (ha)

$$S_a = s_a + s_m$$

$$S_t = s_a + s_t$$

W_a = le volume moyen annuel total d'alluvions qui passent par l'exutoire du B.V. (m^3/an)

W_{aa} = le volume moyen annuel d'alluvions fournis par les lits et les berges, qui sont transportées par l'exutoire du B.V. (m^3/an)

W_{av} = le volume moyen annuel d'alluvions fournis par les versants, qui sont transportées par l'exutoire du B.V. (m^3/an)

Z = le potentiel de retention des précipitations pendant une pluie de longue durée, moyenne sur B.V. (mm) (fig.1)

$$Z = (\sum s \cdot Z_x) : \sum s$$

Z_x = le potentiel de retention des précipitations pendant une pluie de longue durée spécifique pour une catégorie de terrains (tableau 1) (mm)

$\phi_{r,v}$ = le coefficient d'effluence des alluvions fournis par le réseau hydrographique et respectivement par les versants (le rapport sousunitaire entre le transport d'alluvions mesuré dans l'exutoire du B.V. et l'érosion spécifique "sur place" des terrains)

9. BIBLIOGRAPHIE

1. DJOROVIC, M., 1974: Experimental determination of the intensity of water erosion of the territory of SR SERBIJA, YUGOSLAVIA, EFC-FAO, Ankara.
2. GASPAR, R., APOSTOL, A., 1964, 1967: Procedeu de evaluare a transportului mediu anual de aluviuni. In: "Normativ pentru proiectarea lucrărilor de corectare a torenților și de ameliorare silvică a terenurilor erodate" Ministerul Economiei Forestiere, București.
3. GASPAR, R., și colab., 1982: Cercetări hidrologice în bazine hidrografice torențiale mici, parțial împădurite. Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, București
4. MOTOC, M., STANESCU, P., și colab., 1979: Metode de estimare a eroziunii totale și a eroziunii efluente pe bazine hidrografice mici, Institutul de Cercetări pentru pedologie și agrochimie, București.
5. WISCHMEIER, W.H., and SMITH, D.D., 1978: Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning U.S. Departament of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.

EXEMPLE DE CALCUL
DU TRANSPORT MOYEN ANNUEL D'ALLUVIONS DANS LE B.V. "X"

1. Données initiales

$S = 365,78$ ha
 $S_v = 347,40$ ha (la superficie des versants)
 $S_a = S - S_v = 18,38$ ha (la superficie des lits et des berges)
 Substratum: limon-sableux ($f = 1,08$, tableau 5)
 $H = 650$ mm $L_a = 3,10$ km $i_{ax} = 0,10$
 $R = 15,94$ km $i_v = 0,38$ $d_m = \phi = 2,2$ cm

2. La rédaction des tableaux 4 et 6

Les catégories de terrains situées sur les versants sont intégrées en deux sousgroupes (A et B) dans le tableau 4 où sont inscrits les principaux paramètres des ces terrains (s, i_v, l, K, q_v, Z) et aussi la valeur resultante:

$$\sum s \cdot q_v \cdot k \cdot l^{0,5} \cdot i_{vi}^{1,4} = 123,85 \text{ (pour le sousgroupe A) et } 245,83 \text{ (pour le sousgroupe B)}$$

Les ramifications du réseau hydrographique et les terrains afferents qui correspondent aux sousgroupes A et B du tableau 4 forment les sousgroupes a et b dans le tableau 6 où sont calculés aussi les paramètres spécifiques ($L, B, q_a, \bar{C}$) et la valeur resultante, $L \cdot q_a \cdot \bar{C} \cdot (i_a/i_s)^{0,5} = 1363$ dans le premier cas et 2747 dans le deuxième cas.

3. Le calcul des volumes : W_{av} , W_{aa} et W_a

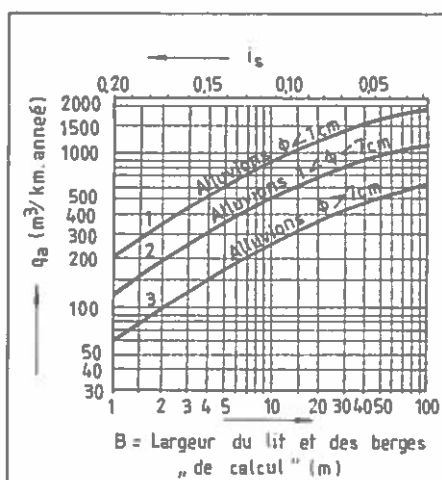
Le volume W_{av} , des alluvions fournis par les versants, peut être calculé à l'aide de la formule (5):

$$\begin{aligned}
 W_{av} = & 0,07 \cdot 650^{0,5} \cdot \left(\frac{1}{3,1}\right)^{0,05} \left(\frac{15,94}{365,78}\right)^{0,02} \cdot 0,38^{0,1} \cdot 0,10^{0,01} (123,85 + \\
 & + 245,83) = 1,405 (369,68) = 519 \text{ m}^3/\text{an.}
 \end{aligned}$$

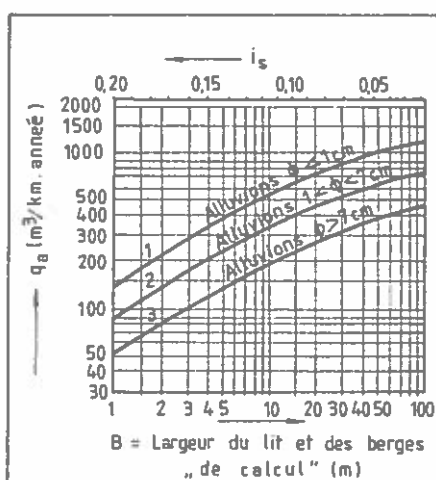
Le volume W_{aa} , des alluvions fournis par le réseau hydrographique, peut être calculé à l'aide de la formule (10):

$$\begin{aligned}
 W_{aa} = & 0,0175 \cdot 650^{0,5} \cdot 365,78^{0,125} \left(\frac{1}{3,1}\right)^{0,1} \left(\frac{0,10}{0,38}\right)^{0,15} \cdot 1,08 (1363 + \\
 & + 2747) = 0,737 (4110) = 3029 \text{ m}^3/\text{an.}
 \end{aligned}$$

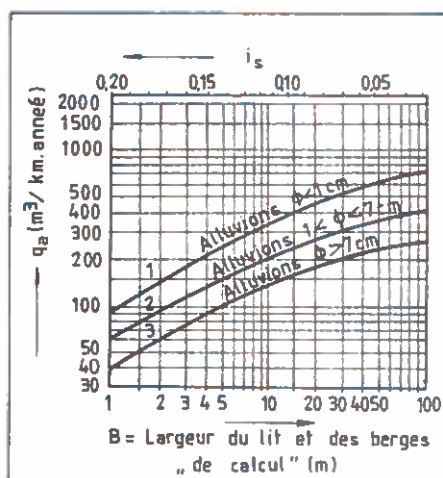
Le transport total, $W_a = W_{av} + W_{aa} = 519 + 3029 = 3548 \text{ m}^3/\text{an}$



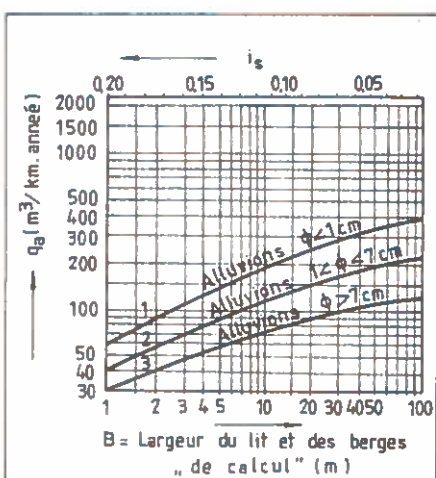
a) Potentiel de rétention dans le cas des pluies de longue durée $Z = 2,5\text{mm}$



b) Potentiel de rétention dans le cas des pluies de longue durée $Z = 7,5\text{mm}$



c) Potentiel de rétention dans le cas des pluies de longue durée $Z = 12,5\text{mm}$



d) Potentiel de rétention dans le cas des pluies de longue durée $Z = 17,5\text{mm}$

FIG. 1 Les diagrammes de l'indice d'érosion spécifique moyenne du lit et des berges afférents au réseau hydrographique, q_a ($\text{m}^3/\text{km. année}$) pour le diamètre moyen des alluvions ($\phi = d_m$)

TABLEAU 1

1. L'ÉROSION SPÉCIFIQUE DES TERRAINS SITUÉS SUR LES PENTES DU BASSIN-VERSANT (q_v) GÉNÉRÉE PAR L'ÉCOULEMENT DIFFUS DE L'EAU, DANS LES CONDITIONS SUIVANTES: précipitations = 800 mm/an (minimum 2/3 sous forme de pluie); la pente du terrain = 30%; la longueur des versants = 200 m; sol limoneux modéré érodé ($K=0,23$) dans la zone forestière de Roumanie.

2. LE POTENTIEL DE RÉTENTION (Z_*) pendant les pluies de longue durée.

I. EROSION SUR LES PENTES STABLES

Nr.	CATÉGORIES DE TERRAINS	q_v	Z_*
		m ³ /ha . an	mm
1.	Terrain nu (sans végétation), inproductif	45,0	1
2.	Terrain arable, maïs en rotation avec blé et légumineuses, sur la pente	20,0	3
3.	Terrain arable, blé en rotation avec légumineuses et maïs, sur la pente	12,0	3
4.	Ensemble des terrains arables, prairies, chalets, routes (20 % constructions)	10,0	4
5.	Vignoble sur terrain arable	30,0	3
6.	Vignoble sur des terrasses (talus aval innerbé)	7,0	5
7.	Verger sur terrain arable	25,0	4
8.	Verger sur des terrasses (talus aval innerbé)	6,0	5
9.	Pré très dégradé (densité des herbes: 0,3-0,4) sur sol érodé et compact, avec ruptures. Fréquentes sentiers	15,0	3
10.	Pré dégradé (densité des herbes: 0,5-0,6) sur sol érodé et compact. Rares sentiers	6,5	3
11.	Pré de qualité moyenne (densité des herbes 0,7)	1,2	4
12.	Pré de bonne qualité; prairie avec pâturage périodique (densité des herbes minimum 0,8)	0,5	5
13.	Prairie de très bonne qualité; densité des herbes > 0,9	0,2	6
14.	Terrain forestier où la forêt a été récemment exploitée, couvert avec des jeunes plantules (semis, plantation) et des herbes	2,0	7
15.	Forêt perchis (diam. entre 5 et 10 cm); densité = 0,6; des herbes sur le rest de la surface. Litière 2 cm	0,8	8

TABLEAU 1 (suite)				
NR.	CATÉGORIES DE TERRAINS	q_v	Z_*	
		$m^3 / ha \cdot an$	mm	
16.	Idem, la densité = 0,8	0,4	12	
17.	Idem, la densité = 1,0	0,2	14	
18.	Forêt : Diamètre des arbres > 20 cm. Densité = 0,6. Litière : 3 cm. Semis, herbes	0,5	12	
19.	Idem, la densité des arbres = 0,8	0,2	15	
20.	Idem, la densité des arbres = 1,0	0,1	17	
21.	Terrain rocheux, très peux désagrégé	0,02	1	
22.	Terrain rocheux, désagrégé	0,05	1	
II. TERRAINS SANS ÉROSION				
23.	Terrains horizontales	0,0	2	
III. GLISSEMENTS DE TERRAINS				
NR.	LES CARACTÉRISTIQUES DU GLISSEMENT	Terrain nu	Prés	Forêt
		ou arable	perman.	
		$q_v (m^3 / ha \cdot an)$		
24.	Glissement consistante en prismes - avec une surface de $100 m^2$	8,0	6,0	4,0
25.	Idem, la surface des prismes : $10 m^2$	12,0	10,0	8,0
26.	Glissement plastique	100,0	75,0	60,0
IV. SENTIERS ET ROUTES EN TERRE SANS CONSOLIDATION				
NR.	CARACTÉRISTIQUES	q_v		
		$m^3 / ha \cdot an$		
27.	Sentieres et routes en terre	100		
28.	Routes improvisées (chantier, transport du bois)	150		
NOTES :				
1. La surface assemblée de catégories 1...23 doit être égale avec la surface des versants (F_v) 2. Dans le cas des catégories mixtes de terrains on interpole dans le tableau 1 3. À une épaisseur d'un cm de la litière correspond 0,6-1,0mm rétention (Z_*) 4. Pour les terrains en glissement actif on additionne aux valeurs q_v spécifiées dans le groupement III, les valeurs données dans le groupement I				

TABLEAU 2

LES VALEURS DU COEFFICIENT K D'ÉROSIVITÉ DES TERRAINS SITUÉS SUR LES PENTES, ÉTABLIS AVEC LA NOMOGRAMME DU WISCHMEIER EN FONCTION DES CERTAINES VALEURS ADOPTÉES POUR LA GRANULOMÉTRIE, L'HUMUS, LA STRUCTURE ET LA PERMÉABILITÉ DU HORIZON DE SOL QUI SE TROUVE À LA SURFACE DU TERRAIN DANS LA ZONE FORESTIÈRE (pour d'autres valeurs on recommande la nomogramme de Wischmeier)

Nr.	Classe texturale du sol (argile, silt, sable, %)	Horizon du sol (substrat) qui est à la surface du terrain							
		A	A'	A'/C	E	A'/B	B	E/B	C
1.	Sable coherent (s) (5, 10, 85)	0,21	0,24	0,31	0,32	0,29	0,34	0,33	0,37
2.	Sable limoneux (sl) (10, 15, 75)	0,15	0,21	0,29	0,29	0,26	0,31	0,30	0,36
3.	Limon sableux (ls) (15, 25, 60)	0,17	0,20	0,30	0,26	0,27	0,34	0,30	0,39
4.	Limon (l) (25, 30, 45)	0,18	0,23	0,32	0,26	0,29	0,35	0,30	0,40
5.	Limon argileux (la) (36, 29, 35)	0,15	0,20	0,28	0,26	0,26	0,32	0,29	0,35
6.	Argile limoneuse (al) (50, 25, 25)	0,15	0,19	0,24	0,24	0,24	0,27	0,26	0,29
7.	Argile (a) (60, 25, 15)	0,14	0,18	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,25

* On a considéré que 35% du sable est très fin ($d_m < 0,1 \text{ mm}$)

1. NOTATIONS :

A = horizon d'accumulation de la matière organique (humus)

B = horizon d'accumulation de l'argile (sous A ou sous E)

C = horizon minéral, à la base du profil du sol constitué de matériaux qui ne sont pas consolidés

E = horizon d'accumulation relatif du quartz et d'autres minéraux sous forme de sable et poussière (sous A)

A'/C, A'/B, E/B = des horizons intermédiaires

A' = le rest d'horizon A à cause de l'érosion ($A < 15 \text{ cm}$)

2. VALEURES ADOPTÉES

2.1 Le contenu de humus: 3% en A; 2% en A'; 1% en E; 0,5% en B

2.2 La structure du sol (code Wischmeier), en ordres pour les 7 positions:
A = 3,2,1,1,2,3,3; A' = 3,2,1,2,3,3,3; E = 4,3,2,2,3,4,4; B = 4,3,3,3,4,4,4; C = 4,4,4,4,4,4,4

2.3 La perméabilité (code Wischmeier): A = 1,1,2,3,3,4,5; A' = 1,1,2,3,4,5,5;
E = 1,2,2,3,4,5,5; B = 2,2,3,4,5,6,6; C = 2,2,3,4,5,6,6

TABLEAU 3

Le coefficient d'érosivité des terrains situés
sur les lits et sur les berges du réseau hydrographique (C)

NR.	CATÉGORIES DE TERRAINS (lit et berges)	C
1.	Terrain couvert des constructions (barrages, canaux)	0,00
2.	Roches dures (basalt, granit, calcaire, serpentine, gneiss, diorite, andesite, etc.) peu désagrégés	0,02
3.	Idem, relativement désagrégés	0,08
4.	Roches tendres, relativement désagrégés (calcaires friables, micachistes, flysch compact, grès mou, etc.)	0,15
5.	Depôts de grosses pierres et de blocs de pierre :	
	a. Le cas du débit maximum annuel	0,20
	b. Le cas du débit qui a la fréquence 1/100	0,50
6.	Flysch fragmenté ; dépôts de grosses pierres, gravier et sable ; argile compacte (érosion modérée)	0,50
7.	Depôts nus de sable et gravier ; argiles avec une consistance moyenne (érosion forte)	0,70
8.	Depôts nus de sable et limon ; argiles molles (érosion très forte)	1,30
9.	Depôts nus de matériaux friables (sable ; limon sableux ; sable, gravier, cailloux, galets ; etc.) en berges hautes (h ≥ 3,0 m) qui s'écroulent	1,80
10.	Dépôts d'alluvions (lit et berges) consolidés par végétation forestière dense (0,7 - 1,0) :	
	a. Le cas du débit maximum annuel	0,10
	b. Le cas du débit qui a la fréquence 1/100	0,20
11.	Idem, végétation forestière moins dense (0,4 - 0,6) :	
	a. Le cas du débit maximum annuel	0,30
	b. Le cas du débit qui a la fréquence 1/100	0,40
12.	Idem, herbes pérennes très denses (0,8 - 1,0) :	
	a. Le cas du débit maximum annuel	0,20
	b. Le cas du débit qui a la fréquence 1/100	0,60
13.	Idem, herbes pérennes moins denses (0,5 - 0,7) :	
	a. Le cas du débit maximum annuel	0,50
	b. Le cas du débit qui a la fréquence 1/100	0,80
14.	Berges en glissement, ou le front d'un glissement consistant du versant (i _a = la pente de la ramification hidro. et L _o (km) - la distance jusqu'à l'origine de celle - ci) : $C = 1,50 + 4 \cdot i_a + 0,5 \cdot \sqrt{L_o}$	C > 1,5
15.	Idem, glissement plastique : $C = 2,00 + 4 \cdot i_a + 0,5 \cdot \sqrt{L_o}$	C > 2,0

TABLEAU 4
(auxiliaire)

La centralisation des données concernant les terrains situés sur les pentes et leurs paramètres caractéristiques

La catégorie de terrain (conf. au tableau 1)			s	s · Z *	i _v	l	Le sol (conf. au tableau 2)			s · q _v · K · i _v ^{0,5 · 1,4}
N° catg.	q _v	Z *					texture	horizon super	K	s · q _v · K · i _v ^{1,4}
—	m ³ /ha.an	mm	ha	ha · mm	—	m	—	—	—	—
T O T A L					—	—	—	—	—	

NOTE :

Dans la dernière colonne on effectue les calculs d'après une des trois expressions en fonction de la formule (5), (6) ou (7) utilisée pour W_{av}

TABLEAU 5

Le paramètre f, en fonction du coefficient d'écoulement (moyen annuel, pendant les crues, dans les conditions étalon) et de l'érosivité du substratum

No.	R O C H E M È R E	f
1.	Sable	1,25
2.	Sable limoneux	1,16
3.	Limon sableux ; dépôts très peu cimentés de sable et gravier	1,08
4.	Limon	1,00
5.	Limon argileux	0,93
6.	Argile limoneuse	0,84
7.	Argile lourde	0,75

TABLEAU 6 (auxiliaire)

Le calcul des valeurs moyennes du coefficient d'érosivité, C , et de la largeur de calcul, B , du lit et des berges

No. ramific. hydrograph. (secteur)						T O T A L	
Longueur, L (km)						($\sum L = R$)	
Différence de niveau, ΔH (m)						-	
Inclination, $i_a = \Delta H / L \cdot 1000$						-	
Surface lit, s_a (m ²)						($\sum s_a$)	
Surf. horizont. berges, s_m (m ²)						($\sum s_m$)	
Surf. inclinée berges, s_f (m ²)						($\sum s_f$)	
Surf. lit + berg. horiz., S_a (m ²)						($\sum S_a = \sum s_a + \sum s_m$)	
Surf. lit + berg. incl., S_f (m ²)						($\sum S_f = \sum s_a + \sum s_f$)	
No.	Categ. terrain (tabl. 3)	C	La répartition de la surface S_f en surf. élément. /categ. ter.			$\sum s$	$C \cdot \sum s$
1.	Constructions	0,00					
2.	Roches dures peu désag.	0,02					
3.	Idem, relativ. désag.	0,08					
4.	Roches tendres désag.	0,15					
5.	Grosses pierres et blocs	0,20					
6.	Flysch fragment, gravier etc.	0,50					
7.	Sable et gravier, argile	0,70					
8.	Sable, limon, argile molle	1,30					
9.	Berges qui s'écroulent	1,80					
10a.	Alluvions végét. forest. 0,7-1,0	0,10					
11a.	Idem, consist. 0,4 - 0,6	0,30					
12a.	Herbes perennes 0,8 - 1,0	0,20					
13a.	Idem, densité 0,5 - 0,7	0,50					
14.	Berges en glissem. consist. $C = 1,50 + 4 \cdot i_a + 0,5 \cdot \sqrt{L_0}$	$s \rightarrow$					-
		$c \rightarrow$				-	-
15.	Berges en glissem. plast. $C = 2,00 + 4 \cdot i_a + 0,5 \cdot \sqrt{L_0}$	$s \rightarrow$				-	-
		$c \rightarrow$				-	-
T O T A L ($\sum S_f$)						($\sum S_f$)	($\sum C \cdot \sum s$)
Z (conf. au tabl. 4)						*)	
$d_m = \phi$						*)	
$B = 0,5 \cdot (S_a + S_f) : L$						*)	
$i_s = f(B)$, conf. fig.1						*)	
$q_a = f(Z, B, d_m)$, conf. fig. 1						*)	
$\bar{C} = (\sum C \cdot s) : (\sum S_f)$						*)	
$L \cdot \bar{C} \cdot q_a \cdot (i_a / i_s)^{0,5}$							($\sum$)
*) Les valeurs moyennes des paramètres (si le calcul se réalise pour un groupe de ramifications)							

EXEMPLE DE CALCUL

TABLEAU 4

La catégorie de terrain (tabl.1)			s	s · Z _φ	i _v	l	Le sol (tabl. 2)			s · q _v · K · l ^{0,5} · i _v ^{1,4}
N.° catg.	q _v	Z _φ					texture	horizon super	K	
—	m ³ ha.an	mm	ha	ha.mm	—	m	—	—	—	—

LE SOUS - GROUPE A : sol limoneux ; r₁ = 3,0 km ; r₂ = 0,7 km

2	20,0	3,0	8,0	24,0	0,20	94	l	A'/B	0,29	47,26
2	20,0	3,0	4,0	12,0	0,20	94	l	A'	0,23	18,74
3	12,0	3,0	3,7	11,1	0,20	94	l	A'	0,23	10,40
4	10,0	4,0	20,0	80,0	0,20	94	l	A	0,18	36,67
4	10,0	4,0	4,6	18,4	0,20	94	l	A	0,23	10,78
TOTAL			40,3	145,5	—	—	—	—	—	123,85

$$l_1 = 10 \cdot 40,3 (3,0 \cdot 1,2 + 0,7) = 93,7 \approx 9,4 \text{ m}$$

$$Z_1 = 145,5 : 40,3 = 3,61 \text{ mm}$$

LE SOUSGROUPE B : sol limoneux ; r₁ = 12,24 km ; r₂ = 0,7 km

10	6,5	3,0	3,0	9,0	0,40	200	l	A'/B	0,29	22,17
10	6,5	3,0	2,0	6,0	0,40	200	l	B	0,35	17,84
11	1,2	4,0	17,2	68,8	0,40	200	l	A'/B	0,29	23,47
12	0,5	9,0	16,0	80,0	0,40	200	l	A'	0,23	7,21
13	0,2	6,0	8,9	53,4	0,40	200	l	A	0,18	1,26
14	2,0	7,0	47,6	333,2	0,40	200	l	A	0,23	85,85
14	2,0	7,0	25,0	175,0	0,40	200	l	A'/B	0,29	56,85
18	0,5	12,0	4,4	52,8	0,40	200	l	B	0,29	2,50
19	0,2	15,0	80,0	1200,0	0,40	200	l	A	0,18	11,29
19	0,2	15,0	64,5	967,5	0,40	200	l	A	0,29	14,67
20	0,1	17,0	38,5	654,5	0,40	200	l	A	0,18	2,72
TOTAL			307,1	3600,2	—	—	—	—	—	245,83

$$l_2 = 10 \cdot 307,1 : (12,24 \cdot 1,2 + 0,7) = 199,57 \approx 200 \text{ m}$$

$$Z_2 = 3600,2 : 307,1 = 11,72 \text{ mm}$$

EXEMPLE DE CALCUL

TABLEAU 6

SOUS GROUPE		a				b					
N° ram.	—	1.1	1.1.1.	Les autres	TOTAL	1	1.2	Les autres	TOTAL		
L	Km	0,800	0,250	rami- fica- tions	3350 *	3100	0850	rami- fica- tions	12590 **		
ΔH	m	200	75		—	280	170		—		
$i_a = \Delta H / 1000L$	—	0,25	0,30		0,22 ***	0,09	0,20		0,12 ***		
s_a	m ²	2400	500		11100	19000	2000		73400		
s_m	"	4800	1000		18500	15000	1800		80800		
s_t	"	9600	1500		26640	25000	2500		94500		
S_a	"	7200	1500		29600	34000	3800		154200		
S_t	"	12000	2000		37740	44000	4500		167900		
Catg. ter.	C	Surf. élément.s (Tot. s = St)			$\Sigma s = St$	$C \cdot \Sigma s$	Surf. élément.s (Tot. s = St)			$\Sigma s = St$	$C \cdot \Sigma s$
1	0,00	—	—		—	—	1000	—	4000	—	
2	0,02	—	—		—	—	—	—	—	—	
3	0,08	—	—		—	—	—	—	—	—	
4	0,15	—	—		—	—	—	—	—	—	
5	0,20	—	—		—	—	—	—	—	—	
6	0,50	—	—		—	—	—	—	32500	16250	
7	0,70	3000	1000		7500	5250	17200	—	58500	40950	
8	1,30	—	—		—	—	—	—	—	—	
9	1,80	—	600		3200	5760	5100	—	12500	22500	
10	0,10	2000	—		5200	520	8200	2000	8500	850	
11	0,30	5000	—		8400	2520	—	1000	15000	4500	
12	0,20	—	—		4800	960	1100	1500	5200	1040	
13	0,50	—	—		6240	3120	8100	—	17300	8650	
14	s	2000	400		2400	6952	3300	—	14400	36000	
	c	2,90	2,88		—	—	2,57	—	—	—	
15	s	—	—		—	—	—	—	—	—	
	c	—	—		—	—	—	—	—	—	
TOTAL ΣSt		12000	2000		37740	25082	44000	4500	167900	130740	
Z (tabl. 4)						3,61					11,72
$d_m = \phi$						22 mm					22 mm
$B = \frac{1}{2}(S_a + S_t) : L$						9,1					13,2
$i_s = f(B)$, fig. 1						0,12					0,105
q_a , fig. 1						452					262
$\bar{C} = \Sigma C \cdot s : \Sigma st$						0,665					0,799
$L \cdot q_a \cdot \bar{C} \cdot (i_a / i_s)^{0,5}$						1363					2747

*) $r_1 + 0,5 r_2$

***) $\bar{I}_a = \Sigma (i \cdot L^2) : \Sigma L^2$

RESUME

On détermine le volume du transport moyen annuel d'alluvions dans un petit bassin-versant, W_a , en cumulant le volume d'alluvions fournis par les versants, et transporté par l'écoulement (diffus) de surface (W_{av}), avec le volume d'alluvions fournis par les lits et les berges afférents (W_{aa}), et transporté par l'écoulement qui a lieu dans le réseau hydrographique.

On calcule W_{av} à l'aide d'une formule similaire à l'équation universelle de l'érosion du sol (U.S.L.E. [5]), où le facteur E.I. (energy-times-intensity) est remplacé par la hauteur annuelle des précipitations. A son tour, W_{aa} , peut être calculé à l'aide d'une formule, en fonction de la hauteur annuelle des précipitations, le coefficient d'écoulement, la longueur, la largeur, la pente, l'érosivité des lits et des berges et la granulométrie des alluvions.

Afin de déterminer "l'érosion spécifique" dans un cas réel, on utilise "l'érosion spécifique standard" estimée dans diverses catégories de terrains situés sur les versants et respectivement sur les lits et les berges. Enfin, pour déterminer "le transport d'alluvions", on multiplie l'érosion spécifique réelle avec un coefficient sous-unitaire "d'effluence d'alluvions".

La méthode s'applique dans les études et les projets de correction des torrents de Roumanie. Elle a été vérifiée dans 9 bassins-versants pilotes les erreurs maximales sont de $\pm 25\%$, l'erreur moyenne étant de -11% .

La méthode peut être appliquée dans les conditions suivantes: la surface du B.V. $\leq 20 \text{ km}^2$; la pente $> 10\%$; les précipitations moyennes annuelles: 600 - 1200 mm.

NEW RESULTS AND EXPERIENCES
IN THE QUANTITATIVE
ESTIMATION OF TORRENTS

by

Gottfried Kronfellner-Kraus
Institute for Torrent Research
Federal Forest Research Station of Vienna
Austria

FOREWORD

While the knowledge of torrent erosion is qualitatively very advanced and also the methods of torrent control are well known, in the quantitative estimation of torrents there are still great uncertainties. The reason for this is the wildness of the brooks, as the variations of water and bed-load transport often influenced by random causes are the larger and the more difficult to determine the smaller and steeper the corresponding drainage basins are. In spite of the wildness, however, quantitative indications are urgently needed, as they are the basis of any project work and of any planning of danger zones in the mountainous region. Furthermore quantitative knowledge is needed also for evaluating variations in the drainage basin of torrents. Questions regarding the foreseeable effect of new sport facilities (ski runs), hydroelectric plants (dammed areas and brook diversions), or sealings of the landscape (new settlements and infrastructures), and also of the imminent wood decay, and to a large extent of any construction work, require quantitative analyses enabling correct ecological decisions.

This paper was presented in German at the 18th IUFRO-World Congress in Ljubljana in September 1986. The "fundamentals" have been published earlier, but are republished in order to make this paper complete for those who do not have the former publication.

For many years there have been different methods of answering these different questions. Initially these methods were taken from neighbouring sciences. Later on, however, by further investigations and in the course of practical application, they were developed to forecast methods for torrents. The form of their presentation today ranges from the simplest formulas up to highly sophisticated mathematical models (FBVA 1985, Ikeya 1979, ISEDD 1985, Van Dine 1985). Nevertheless, it is still difficult to transfer the different methods from the fields for which they have been developed, to other ones.

In other publications the author has already reported in detail regarding an universal formula structure for the characterization of torrents. This formula for the possible extreme sediment transport of torrents is based on the results of exact measurements in the so-called sample drainage basins regarding the different erosion phenomena, as well as on historical events and the investigation of catastrophes in Austria for eleven years 1972 to 1982 (Kronfellner-Kraus 1981, 1985). Since that time further important experiences have been collected and it is interesting to note that these observations have been made in border areas where until now the available data have enabled only the provisional determination of the zonal limits. The proposed method of calculating extreme sediment transports of torrents has received a wide attention in the latest literature and practice (Eisbacher & Clague 1984, ISEDD 1985, Zedlacher 1986, Zollinger 1986). Therefore, it seems convenient not only to examine the applicability and the validity ranges of the formula on the base of the experiences made in these last years, but also to discuss them in more detail by means of the latest literature.

FUNDAMENTALS

The bed-load and sediment transport in torrents is quite different from that in rivers. The transport capacity of a river can be nearly exactly calculated by means of the annual duration curves which compare water levels (respect. their corresponding discharges) and the occurrence-frequency and duration curve of the bed load transport (bed load function). In small torrents measurements are practically impossible (due to coarse bed load, rock-and-mud flows, etc.). In small and steep drainage basins, the fluctuation of water volume is increasing. In the steep upper reaches, the erosion and transport capacity of the water is generally prevailing and the torrent gullies are continuously being eroded. Only the biggest boulders are retained, thus forming the known "pavements" or "cover layers". At the normally low water volumes the bed-load transport can come to a complete stand-

still during several years. During heavy rains, however, many times new sediment impacts are released from grooves and gullies, from lateral slope slidings and debris avalanches, instable lateral gullies etc. These masses of debris in the water-ways are transported either immediately or gradually after a temporary jamming followed by dam breach. The increased dragging force of these avalanches is generally strong enough to break up the cover layers which have been stable until then to release additional torrent erosions. Abnormal rains and floods therefore can suddenly release sediment transport in torrents amounting to ten and even one hundred thousand times the average rate for many years. Under "normal" conditions, torrential floods relatively seldom cause massive sediment transports. Any (natural or artificial) detrimental modifications in the drainage basins and in the rivers themselves (slumps, large wood clearings, slope cuts, etc.), however, can suddenly release the feared torrent activity, because in this case also lower and therefore more frequent floods arise at shorter intervals as dangerous debris-mud-rock-flows. While atmospheric precipitations and floods from smaller drainage basins can be evaluated rather by statistical means, for erosion and sediment transport relatively longer observation times and additional investigations are necessary. In torrents, along with flood discharges and flood volumes, first of all possible erosion phenomena and possible volumes of extreme sediment transport are to be estimated. For this purpose different approximation methods and rules of thumb have been introduced in theory and practice. These rules must take into account extreme circumstances which arise in nature. For this reason, they have more or less limited regional field of validity. For the different torrents, the known method of erosion depths and periods, equally applied in geomorphology and hydrology, will always have to be studied. The bed-load and suspended-matter transports observed are in a certain relation to the corresponding drainage basin areas and erosion depths. By taking the average of the different erosion depths in different parts of the basin, the sediment transports for specific drainage basins can be calculated. A part of the eroded material is generally washed away by medium level waters without any damage. Other parts can be accumulated over many years until the moment when they are also carried away by heavy floods. Therefore, also the locally prevailing erosion and transport periods must be considered in the formula (Weber 1984, Kronfellner-Kraus 1975, 1982). In case of modifications in the torrential drainage basin (creation of reservoirs where suspended matters are sedimented, which beforehand were washed away without damage, or water diversion, etc.) the transport and sedimentation conditions in the drainage basin itself as well as on the alluvial fan and of the drainage ditch are to be considered separately (Haiden 1935).

Torrent-sediment volumes also have a close relationship to the flood volume. In extreme cases (rock-and-mud-flow) the sediment volume coincides with the flood volume. For this reason, flood volume formulas can also be used for estimating sediment transport volumes (Müller 1960, Kreps

1962). All authors take this relationship somewhat into account when looking from the actual to the future development of a river.

According to L. Hoffmann (1970) the width of the stream bed can be considered in relation to the size of the drainage basin and the water volume, and therefore also as the basis for estimating the bed-load transport. He is using the brook width and other parameter which can be measured in nature (gradient, sizes of bed-load, characteristics of drainage basin) for calculating the bed-load transport during given flood-runoff periods. According to Hoffmann, the total sediment transport (of mud-rock-flow) is several times that of the bed load transport and empirically a multiplication factor between 5 and 15 has to be considered. This formula applies first of all to the streams in Styria which generally have regular beds and relatively high water level.

Hampel (1977, 1980) considers the actual alluvial-fan formation in order to estimate the further bed load transport, resp. the mud-rock-flow sedimentation. He assumes that the bed load transport or sedimentation along with the prevailing bed-load diameter depend first of all on the size of the drainage basin and the gradient at the top of the alluvial fan. Hampels bed-load and mud-rock-flow transport formulas apply first of all to the intra-alpine torrents with pronounced alluvial fans and gradient percentages between 4 and 18.

EXTREME TORRENT-SEDIMENT TRANSPORTS

In practice, it is generally difficult to determine the brook width or the gradient at the top of the alluvial cone, which both govern the bed-load transport. This is the reason for the relatively large fluctuations in the calculation results. These differences seem to question the justification of the expenses for extensive investigations regarding stone diameters, granulation curves, suspended matter - bed-load ratio, etc. If because of the lack of a medium water level an uneven brook bed is formed, or if e.g. no alluvial fans exist, exact calculations on possible sediment transport will nonetheless be necessary. The author has therefore looked for a simpler and generally applicable correlation taking the erosion in the drainage basin more into account. For this task, he was able to take advantage of ample observation data determined more exactly by larger catastrophes. Therefore, there is an interrelationship between area characteristic (K), drainage-basin size (E), and gully gradient (J %) on the one hand, and extreme sediment transport (GS) on the other hand. The approximation formula already presented in its first fundamentals (Kronfellner-Kraus 1980, 1981) is the following:

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

This formula is applicable to drainage basins of areas up to 80 km². Regarding its different factors, this formula will be further explained and limited, as follows.

Drainage - Basis Factor

The size of drainage-basin (E in km²) characterizes generally the erosion and transport capacity of a watercourse. With the size of the drainage basin, however, the other geomorphological characteristics of landscapes of different age vary. For this reason, E is also an element of the torrentiality K of a region.

Gully Gradient

The average gully gradient (J in %) determining the erosion and sediment transport, which is predominant in the uphill watercourse site (gully outlet) investigated, is to be inserted in the above formula. To determine this, clear longitudinal profiles of the main brook and the tributaries and possibly transverse profiles on the map scale (1:25.000, 1:50.000) are very useful. The longitudinal profiles generally allow to note clearly the erosion, transport, and sedimentation stretches, whereby quite generally slope, gully, and valley brooks are to be distinguished.

For "slope brooks", the determination of the average canyon gradient will not be particularly difficult.

"Gully brooks" are first of all major high and low mountain brooks with pronounced subdivision in the upper drainage area, gully or ravine stretch, and the lower alluvial fan (if any). While most frequently the ravine or gully stretch has a steep gradient, the upper drainage areas often have a minor gradient. This can be the reason for intermediate sedimentation in the region of the upper flatter stretches, while in the following lower and steeper gully the erosion and transport capacity of the flood wave of the whole drainage basin is working. In the ravine and gully stretch, some tributaries often with additional erosion stretches flow in. The gradient values of the latter are to be considered for calculating the average value, according to their bed-load potential, if the gradient stretches meet the main brook directly.

"Valley brooks" are generally composite brooks and they will include smaller "slope brooks" and larger "gully brooks" with their own alluvial fans. For determining the possible extreme sediment transports, generally the partial drainage basins with their corresponding sedimentation areas and the total drainage basin are to be examined separately. When, because of low gradient ratios and intermediate sedimentations, extreme sediment transports from the drainage basin are no more to be expected and when normal bed-load transports in the torrents of the mountainous and hilly regions

are occurring, other appropriate methods for the determination of the bed-load and suspended matter transport will be used too.

Torrentiality Factor

The factor of the torrentially active erosion depth (K) is composed of several partial factors. It applies to a given watercourse stretch and the corresponding drainage basin, respectively. Generally (in a brook in a high mountainous region) the sediment transport at the gully outlet is interesting. In longer composite torrents (gully and valley brooks) very different brook stretches are to be considered for evaluation and separate determinations will possibly have to be carried out for them. Because of intermediate sedimentations and similar phenomena, generally only a fraction of the sediments eroded in the drainage basin will only reach the watercourse stretch considered and become effectively active there. The value (K) of this torrentially effective erosion therefore includes not only the bed-load and sediment potential, but also transport and sedimentation situations according to the geomorphology and the size of the corresponding drainage basin. Small and steep drainage basins with ample erosion stretches and scars or susceptible ground protection have high K values (about 1500), while large, cleared, abundantly overgrown drainage areas have low K values (about 500). By back-calculation of all the extreme sediment transport determined until then, it is possible to determine even more exactly this "Torrentiality Factor". Most exactly the torrentiality degree (K) for the most dangerous torrent type can be calculated as the gravity line of all the maximum sediment transports arisen until then under comparable conditions (catastrophe events). The formula indicated here below shows the relationship with the size of the drainage basin and this dependence must also continue in the other torrent zones of the East-Alpine region. For the investigation of these torrent zones, the 1420 flood reports of the Austrian Torrent Control Service in the last 11 years can be used. In these 1420 flood events, the sediment transport (sedimentations) amounted to between 5.000 and 20.000 m³ 132 times, and to more than 20.000 m³ 48 times. Only a part of them can be considered as extreme values, and therefore they are not always appropriate for the back-calculation of zonal K values. Anyway, on the basis of all the sediment transports observed until now and their local distribution in Austria, the following torrent zones and degrees of torrentiality can be distinguished:

I.) Torrents of the Tauern main crest (Tauernhauptkamm, Raetikon, Verwall, and Silvretta Group, Oetztaler-, Stubai- und Zillertaler Alps, Hohe Tauern, Defreggen and Kreuzegg Group):

Ia) with very high bed-load potential i.e. with latend old sedimentation areas or active slope movements (landslides).

$$K = 1750/e^{0,018} \cdot E$$

Ib) other torrents of the Tauern main crest, as well as

II.) Torrents of the Northern and Southern Calcareous Alps, of the Grauwacken Zone and of the Low Tauern

IIa) with very high bed-load potential,

$$K = 1150/e^{0,014} \cdot E$$

IIb) other torrents of zone II

$$K = 540/e^{0,008} \cdot E$$

III.) Torrents of the foothills of the Alps:

$$K = 254/e^{0,0016} \cdot E$$

The formulas of K values determined for the different torrent zones first of all represent the geomorphological interrelationship with the size of the drainage basin. They offer indications for determining the K values which in nature have fluid and continuous transitions according to the local situations. The maximum erosion and transport capacity of torrents applies to the case of the mobilization of sediment potentials existing in the drainage basin. These potentials, the transport and sedimentation, as well as the groundprotection and building situations are to be determined in each single case. Though the determination of the K values requires a certain experience, the procedure as a whole allows us to limit extreme values in an expeditious manner and to quantitatively evaluate by comparison the running or intended modifications in a drainage basin.

NEW CATASTROPHE EVENTS

As reported until now, in the years 1983, 1984, and 1985 a further 333 torrent and mudflow events have occurred bringing the total number to 1,753 cases of damage since 1972. Among the new events those which have occurred in border areas are most interesting. By retrograde calculation from the new data, it will be possible to examine whether the determinations and zonings carried out until now can be maintained or must be revised. Further analyses shall include the efficacy of forestation, control works, etc.

For this examination, first of all the catastrophe events in the Austrian Federal Countries of Vorarlberg and Southern Carinthia in the year 1983, as well as in Styria and at the Styrian-Upper Austrian border in the year 1985 are very useful.

In Vorarlberg, on 31st August 1983 three very steep brooks called "Tobel" in Innerbraz in the Klostertal Valley received a heavy rain shower for half an hour at about 9 p.m. This caused floods with heavy bed loads, mud streams, and mud runoffs with loads up to 40.000 m³. The three Tobel Brooks are situated in the Northern Calcareous-Alps zone. They dewater small drainage basins between 1 and 3 km² from up to 2.200 m high rock walls to the South. The slopes of the gullies are wooded and the lower sections are agriculturally exploited.

After several smaller events in July at the northern slope of the Goldeck-Group Mountains (Gendorfer Brook, Schrei Gully) then again on 11th September 1983 in the same area in a land belt of 360 km² reaching from there to South-West over the Gailtaler and the Carnish Alps, numerous heavy catastrophes occurred which also caused some casualties.

The Goldeck Group (Goldeck 2.142 m, Latschur 2.236 m) and the southern part of the Gailtaler Alps pertain to the primary-rock zone or crystalline zone of the Central Alps. The remaining parts of the Gailtaler as well as the Carnish Alps (Hochwipfel 2.195 m, Trogkofel 2.280 m, Gartnerkofel 2.195 m) form the Southern Calcareous-Alps zone of Austria. The precipitation values have reached in Weissbriach 189 mm and on the Goldeck 209 mm in 5 and 6 hours, respectively. These floods, some of which occur at 100 year intervals often form mud streams or debris flows with great amounts of driftwood whereby in five cases the loads have been of more than one hundred thousand cubic meters. The drainage basins of these brooks are generally well wooded and the gully slopes are to a great extent fully wooded. The highlands above the timber line are used as pastures and for winter sports.

Of the basins in the Carnish Alps drained to the north toward the Gail River, the Goderschacher, Stranig, Doebernitz, and the Zedel Brooks have no control works, while the Dober and the Oselitzen Brooks have partial control works. The Stranig, Dober, and Oselitzen Brooks are characteristic gully brooks with drainage basins between 11 and 24 km². Especially at the Oselitzen Brook since the last century large control works have been carried out in order to stabilize great erosion scars inside the ravine. The torrent erosion occurring in 1983 activated the so-called "Repp-Wall Slide" in the ravine path above the exit of the gorge which had remained without control works. In all events, the absolute maximum of sediment transport was in the Oselitzen Brook while the relative maximum was in the Stranig and Doebernitz Brooks which had remained without control works.

From the northern slope of the Gail Valley, three smaller slope and gorge brooks have been transporting heavy sediment loads from the Hochwarter and Kreuter Peaks (1.655 m

and 1.440 m respectively) down to the valley (600 m). Especially the Tressdorfer Brook is protected to a great extent, the Waidegger Brook is partially protected by control works and the Bodner Brook is without control works. Their drainage basins are between 2 and 4 km².

In the Drau Valley, among the numerous catastrophe events, above all those in the Siflitz Brook, the Gendorfer Brook, and in the Schreigully are interesting. The Siflitz Brook has a drainage basin of 27 km², with a distinct gorge course running from the Goldeck (2.142 m) to the west. The Gendorfer Brook and the Schreigully are two smaller slope brooks with drainage basins of about 2-4 km² at the northern slope of the Goldeck. The bed load especially in the Siflitz Brook, partially without control works, was very heavy. The Schreigully without control works became known especially because of the casualties which occurred there. From its drainage basin, 90 % of which is wooded, nobody would have expected the enormous debris flows which occurred.

While in 1984 no great events occurred, in the year 1985 there were three important floods or debris flows in the Upper Isel or Umbal Valley in East Tyrol, in the Rattenberger Brook in the middle Mur Valley, Styria, as well as in the Hintersteiner Brook at the Phyrn Brook in the Enns Valley at the Styrian-Upper Austrian border. The catastrophe in the Umbal Valley was caused by an avalanche damming the brook and is less relevant for the present investigation.

The Rattenberger Brook in the Mur valley drains a watershed of about 5,5 km² from a branch (Zwickelberg 1.540 m) of the Lower or Seckauer Tauern Mountains toward south-east. This is a 14-16 % medium-steep gorge into which the alluvial fan with 6 % gradient has already grown a relatively long way. On 15th July 1985, during four hours of precipitation, the rains were very intense for twenty minutes so that even in the forest surface runoff appeared (Bartoleit, personal communication). The whole gorge was cleared out and about 40.000 m³ of material was removed. Most of this bed load came to a standstill and remained at the control works of the flat stretch before reaching the outlet of the gorge so that only small residues, mainly fine and suspended material, were deposited in the following lower reaches or on the alluvial fan.

The Hintersteiner Brook is an tributary of the Phyrn Brook at the Styrian-Upper Austrian border between the Dead Mountains (Warscheneck 2.388 m) and the Ennstaler Alps in the northern Calcareous Alps. There are dangerous and well-known torrential brooks (Feuerbach brook) in the so-called Hasel Mountains (Wurzerkampl 1.706 m; Plinalm 1.400 m) with large landslides. Because of the flat gradient situation in the following brook stretch the slide materials are soon deposited again (Hintersteiner Pasture 1.050 m).

The forementioned brooks with heavy bed loads are listed in the following Table in chronological and geographical order. For these torrents the extreme bed loads to be expected at their torrentiality levels valid for the torrential zone II have been calculated with the corresponding lowest (K₁, GS₁) and with the highest values (K₂, GS₂) and

EXTREME TORRENTIAL SEDIMENT TRANSPORTS AT SINGLE EVENTS IN THE YEARS 1983 - 1985
(abbreviations explained in the text)

Brook	Austrian Federal Country	Valley	Vb	F km ²	J %	K ₁ - K ₂	GS ₁ - GS ₂ 10 ³ m ³	GS _b 10 ³ m ³	GS _b 10 ³ m ³ /km ²	K _b
Mühltoibel	V	Kt		2,9	25	<u>527</u> - 1104	<u>38</u> - 80	35	12	482
Partellstobel	V	Kt		1,8	47	<u>532</u> - 1121	<u>45</u> - 94	40	22	472
Winkeltobel	V	Kt		1,0	63	<u>536</u> - 1134	<u>33</u> - 71	35	35	555
Goderschacherbach	K	Gt	u	5,2	23	<u>518</u> - 1069	62 - 128	30	6	250
Stranigbach	K	Gt	u	11,6	15	492 - <u>978</u>	86 - <u>170</u>	180	16	1034
Döbernitzbach	K	Gt	u	4,2	35	522 - <u>1084</u>	77 - <u>159</u>	160	38	1088
Zedelbach	K	Gt	u	1,0	45	536 - <u>1134</u>	24 - 51	12	12	267
Doberbach	K	Gt	t	16,7	13	<u>472</u> - 910	<u>102</u> - 197	100	6	461
Oselitzenbach	K	Gt	t	24,1	21	<u>445</u> - 820	<u>225</u> - 415	250	10	494
Treßdorferbach	K	Gt	v	2,3	60	530 - 1114	73 - 154	20	9	145
Waideggerbach	K	Gt	t	2,6	30	<u>529</u> - 1109	<u>41</u> - 86	50	19	641
Bodnerbach	K	Gt	u	3,8	24	524 - 1090	48 - 99	35	9	384
Siflitzbach	K	Dt	t	27,0	12	<u>435</u> - <u>788</u>	<u>141</u> - <u>255</u>	150 200	6 7	463 617
Gendorferbach	K	Dt	t	1,7	44	535 - 1122	40 - 84	20	12	267
Schreigraben	K	Dt	u	3,7	28	<u>524</u> - 1092	<u>54</u> - 114	50	14	481
Rattenbergerbach	M	Mt	t	5,2	14	<u>520</u> - 1069	<u>38</u> - 78	40	7	549
Hintersteinerbach	O	Et	t	12,0	14	490 - <u>972</u>	82 - <u>163</u>	150	13	893

compared with the values observed in nature or obtained by retrograde calculation (GS_b , K_b). The calculated values nearer to the observed ones are underlined. Furthermore by means of the really observed volumes of bed load (GS_b) the corresponding bed load yields (gs_b) have been determined. The comparison enables the evaluation of the bed-load formula for the border area of the torrential zone II.

Beside the already mentioned symbols, the Table contains the following abbreviations:

Austrian Federal Counties: V = Vorarlberg; K = Carinthia;

M = Styria; O = Upper Austria;

Valleys: Kt = Klostertal; Gt = Gailtal; Mt = Murtal;

Et = Ennstal;

In the column for the condition of control works (V_b) the letters mean:

v = brook with control works;

t = brook with partial control works;

u = brook without control works;

DISCUSSION OF THE RESULTS

1.) The comparison of the bed loads of the investigated brooks, calculated by the formula and actually found in nature, shows, that two thirds of the calculated extreme values are within the values valid for the torrential zone II or near to them. In only one case (Stranig Brook), the maximum value for the highest possible bed load in a single event has been exceeded, though by only 6 %. The proposed method therefore provides applicable data, meaning that the limits between zones I and II will also be maintained in the future. For the transition area between zone II and III less data is available so that for this area further investigations should still be carried out.

2.) The data calculated by the proposed method indicate the extreme values for the different torrential zones, which in single events have already occurred and may also occur in the future. These, however, are not generally valid calculation values, but we must keep in mind the possible large dispersion. It is always advisable to determine the possible minimum and maximum values and to establish the probable value only by means of further investigations regarding torrentiality, state of soil protection, degree of control works, etc.

When, in some extreme cases the possible bed loads are not in fact reached, this does not mean that in further flood events these bed loads cannot occur. Consequently, average values are less useful because many less significant events would incorrectly diminish the limit range of possible extreme values. While the calculated minimum bed load for instance for the Eisbach gully in the Ennstal Valley, Styria, is 31.000 m^3 , but with the proposed average value for the whole territory of Styria ($K = 178$, Zedlacher 1984) it would be only 10.000 m^3 to 14.000 m^3 .

3.) The analyses of the years 1983 and 1985 do not allow new conclusions regarding the protective function of the forest because the drainage basins considered have been equally well wooded. In two extreme cases, that of the Schreigraben (3,7 km²) and of the Stranig Brook (11,6 km²) the rich forest growth has led us to underestimate the torrentiality of these brooks. In this respect, additional investigations are required. The feared effects of forest decay have already been described (Kronfellner-Kraus 1984; this statement shows that, first of all, increasing erosion, flood frequency and runoffs are to be expected).

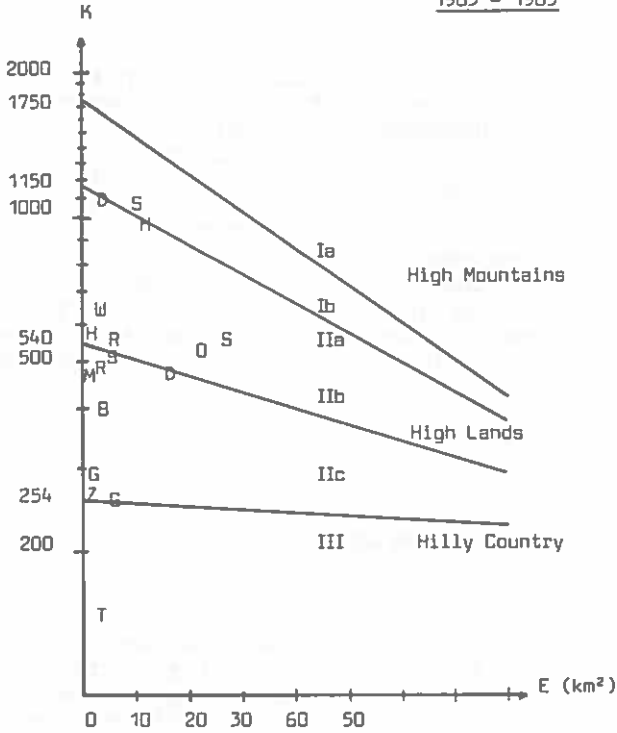
4.) The effect of control works is more clearly recognisable. According to the present findings the actual sediment transport carried in brooks protected by control works generally corresponds to the lower values of Zone II. Only in three cases of brooks, not or only partially protected by control works (Stranig, Doebernitz, and Siflitz Brooks), the transported bed loads reach the maximum values of Zone II. The control works constructed until now, therefore, seem to have been very efficient and to have lowered the torrentiality of the brooks.

5.) Generally because of the control works, the acute erosion scars which are subject to increased torrent erosion are eliminated. These areas are generally concentrated only in small sites (brook stretches). The other areas of the drainage basin remain unchanged and can be eroded during another event, so that always a certain residual risk (in the best case the minimum zonal torrentiality) will remain. The correct maintenance of the existing control works and the careful treatment of soil in the other parts of the drainage basin are therefore extremely important.

6.) As already mentioned, the method of determining the extreme torrential sediment transports is especially appropriate for comparable passage and sedimentation conditions, and above all for narrow gullies through the profiles of which the big floods and bed loads must pass. There are quite different situations when the gullies are followed by alluvial fans and valley bottoms where the transverse or runoff profiles are insufficient and when even the smaller gradient angles reduce the sweeping force and when floods and mud flows stream over the profiles and sediments are deposited. This applies mainly to sites where the alluvial fans reach back far into the gullies and longer stretches consist of alluvions. For these brook stretches the other known calculation methods of sediment transport calculation are also admissible and sometimes even more appropriate. The application range of the formula for extreme sediment transport in these cases (Rattenberger or Hintersteiner Brooks) is shifted upstream into the gully. This formula is therefore to be used mainly for evaluating the danger zones and sedimentation sites where the steeper erosion and transport stretches pass to the flatter sedimentation area.

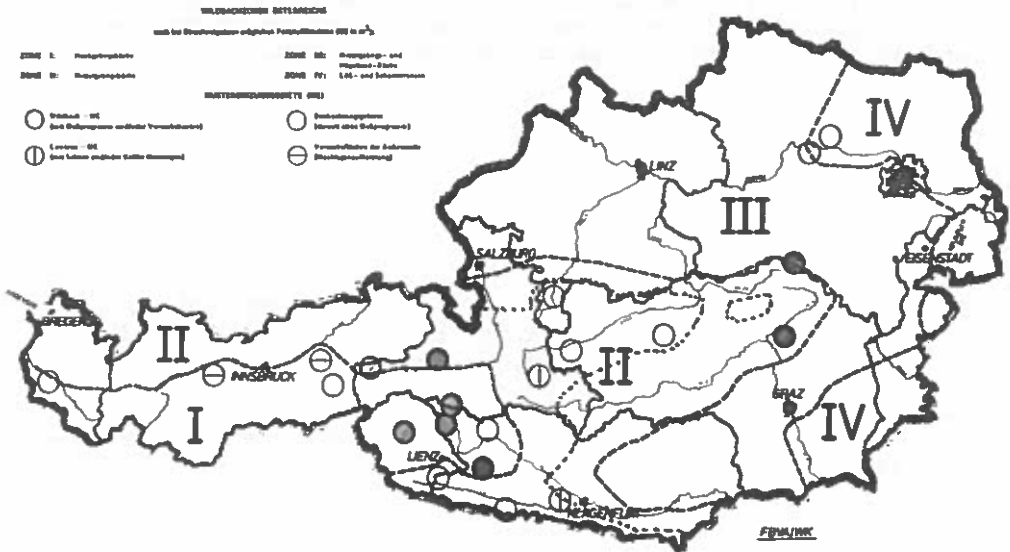
K_G OF EXTREME SEDIMENT TRANSPORTS AT SINGLE EVENTS*

1983 - 1985



* characterized by capital letters of the names of the creeks

I - III Torrential zones



SUMMARY

Because flood discharges and sediment transports from small and steep torrents can vary extremely, the quantitative estimation of torrential phenomena is problematic. Therefore it is easier to estimate particular possibilities of extremes. On the basis of new investigations and in the light of new contributions in the latest literature, the fundamentals and range of application of a more universal function for the estimation of possible extreme sediment yields during single events from distinct torrents and torrential zones are discussed in this paper. The new findings have made it possible not only to examine the proposed formula in general, but also to improve the discussed method for hitherto ranges of borders.

ZUSAMMENFASSUNG

Die quantitative Einschätzung von Wildbächen ist deshalb besonders schwierig, weil Hochwässer und Materialtransporte aus kleinen und steilen Einzugsgebieten riesigen Schwankungen unterliegen können. Am ehesten lassen sich noch mögliche Extreme abschätzen. Die Grundlagen und Anwendungsbereiche einer allgemein verwendbaren Beziehung zur Einschätzung von, bei Einzelereignissen möglichen, extremen Feststofffrachten für bestimmte Wildbäche und Wildbachzonen werden an Hand neuer Untersuchungen und neuer Literaturbeiträge besprochen. Auf Grund der neuen Untersuchungsergebnisse war es möglich, die Anwendungsbereiche der Formel allgemein und in bisherigen Randgebieten zu überprüfen und zu präzisieren.

BIBLIOGRAPHY

- Eisbacher, G.H. & Clague, I.I., 1984: Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Management Geological Survey of Canada, P. 84-16.
- FBVA, 1985: Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (6), Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Nr. 156.

- Hampel, R., 1980: Die Murenfracht von Katastrophenhochwässern; Wildbach- und Lawinenverbau 44, 2, 77-102.
- Hoffmann, L., 1970: Die Geröllfracht in Wildbächen. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Nr. 88, 108-112.
- Ikeya, H., 1979: Introduction to Sabo Works. Japan Sabo Society, Tokyo.
- ISED, 1985: Proceedings Intern. Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan.
- Kreps, H., 1962: Praktische Hydrologie. Ms. 145 S.
- Kronfellner-Kraus, G., 1975: Zur Geschiebebilanzierung, Internat. Symposium Interpraevent, Innsbruck, Tagungspublikation, Bd. 1, 49-61.
- 1981: New Research Results on Torrent Erosion. Proceedings XVII, IUFGO-World Congress, Div.1, 275-285, Kyoto, Japan.
 - 1984: Mögliche Folgewirkungen des Waldsterbens für die Wildbach- und Lawinenverbauung. In: FBVA Jahresbericht, 112-117.
 - 1985: Quantitative Estimation of Torrent Erosion, Proceedings ISED, 107-110.
- VanDine, D.F., 1985: Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. Can. Geotechn. J., Vol. 22, 44-68.
- Weber, A., 1964: Wildbachverbauung, Abschnitt XIII, 483-528. In: Taschenbuch Landwirtschaftlicher Wasserbau, Herausgeber UHLEN, Stuttgart.
- Zedlacher, D., 1986: Extreme Wildbach-Feststofffrachten in der Steiermark. Wildbach- und Lawinenverbau, 50/103, 5-13.
- Zollinger, F., 1986: Form und Volumen von Geschiebeablagerungsplätzen. Wasser, Energie und Luft, 78, 7/8, 145-150.

NEUE ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN
ZUR QUANTITATIVEN
EINSCHÄTZUNG VON WILDBÄCHEN

Kurzfassung

des deutschen Originalbeitrages im Referateband 1 der Div.1
des 18. IUFRO-Weltkongresses in Laibach, Jugoslawien,
im September 1986

von

Gottfried Kronfellner-Kraus
Wien/Österreich

Die quantitative Einschätzung von Wildbächen ist umso schwieriger je kleiner und steiler Einzugsgebiete sind. Mit der Kleinheit nehmen die Regenintensitäten und Abflußspenden zu. Mit der Steilheit wachsen Erosionsanfälligkeit und Transportfähigkeit. Zufälle wirken sich in kleinen Gebieten stärker aus. Es bestehen bereits zahlreiche Methoden, die von einfachen Formeln bis zu hochentwickelten mathematischen Modellen reichen (IKEYA 1979, FBVA 1985, ISEDD 1985).

In humiden Gebirgsländern sind die Grundlagen der Einschätzung von Wildbächen allerdings sehr unsicher. Abgesehen von vorhandenen Geschiebeherden können völlig neue Anbrüche entstehen, wie zum Beispiel im Wollnitzbach in Kärnten vor 20 Jahren. Von der Oberfläche aus sind die Feststoff-Potentiale nur bedingt erhebbar. Rutschungen, Wildbacherosionen, Grobgeschiebe und Wildholz führen zu irregulären Feststofftransporten, in Extremfällen zu Murströmen oder Murgängen. Lawinen tragen zur Verwilderung der Bäche bei und können ebenfalls Katastrophen verursachen. Aber auch die Wirksamkeit von Verbauungsmaßnahmen und die Art und Weise der Ablagerungen lassen sich nicht immer genau vorhersagen.

Aus tatsächlich vor sich gegangenen Feststofftransporten lassen sich entsprechende Abtragshöhen in den Einzugsgebieten bzw. Teilflächen errechnen (WEBER 1964). Die Schwierigkeiten liegen aber darin, daß die verschiedenen Erosionsraten über viele Zehnerpotenzen und die Feststofftransporte über sehr verschiedenen Perioden schwanken. Mit Rücksicht auf alle diese Schwierigkeiten tendiert man in der Praxis zu einfachen Formeln - kombiniert mit Felderhebungen (HOFFMANN 1970, KRONFELLNER-KRAUS 1975, 1981, 1985, HAMPEL 1980). VAN DINE (1985) hat einen solchen Katalog von Formeln, die in humiden Gebirgsländern (Österreich, Kanada und Japan) gebräuchlich sind, zusammengestellt. Weitere aktuelle Beiträge lieferten

EISBACHER & et. (1984), ZEDLACHER (1984) und ZOLLINGER (1986).

Die vom Autor für Österreich vorgeschlagene Methode basiert auf längerfristigen Messungen in Mustereinzugsgebieten und auf Katastrophenuntersuchungen. In Mustereinzugsgebieten werden regional Erosionen und Feststofftransporte, Niederschläge und Abflüsse beispielhaft gemessen und spezielle Modellparameter untersucht. Die Katastrophenuntersuchungen bezwecken die Sammlung aller in der Natur tatsächlich auftretenden Extremwerte und ihre Verbreiterung in Österreich. Es zeigte sich schon relativ bald, daß zwischen großen Feststofftransporten, bzw. Ablagerungen, und Einzugsgebietsgrößen in unserem Raum keine direkten Zusammenhänge bestehen. Der Grund dafür liegt hauptsächlich in Zwischenablagerungen in größeren Einzugsgebieten. Man muß deshalb zwischen Hang-, Graben- und Talbächen unterscheiden. Quadratkilometer große Hangbäche können zur Gänze von einer Wildbacherosion betroffen sein, zum Beispiel von einem Feilen-Anbruch. In Grabenbächen in der Größenordnung von etwa 3 bis 30 km² bestehen meistens räumlich begrenzte Anbruchsflächen, verschiedenartige Erosions- und Transport- und Ablagerungsstrecken, wie Schwemmkegel, vor Erreichen der Vorfluter. In noch größeren Talbächen kommt es in flacheren, breiten Talböden zu weitgehenden Ablagerungen. Hochwässer aus dem gesamten Einzugsgebiet sind aber imstande in folgenden steilen Schluchtstrecken auch große Feststoffeinstöße aus Seitenbächen oder Rutschungen zur Gänze abzutransportieren.

Eine allgemein gültige Feststofffrachtformel muß diese verschiedenen Verhältnisse berücksichtigen. Die Feststofffracht eines Einzelereignisses (GS) ergibt sich aus einem Faktor (K) für die Wildheit (Wildbachlichkeit oder Torrentialität) eines Baches (als Abtragshöhe oder Feststoffspende), sowie aus Einzugsgebietsgröße (E) und Gefälle (J) oberhalb eines betrachteten Profiles. Die entsprechende Gleichung

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

ist dimensionsgerecht. Das Volumen (GS) ergibt sich aus Abtragshöhe und Fläche, während das Gefälle dimensionslos ist. Es besteht allerdings für den Torrentialitätskoeffizienten (K) auch noch ein funktioneller Zusammenhang mit mehreren anderen Parametern, wie zum Beispiel Bodenschutz, Verbauungsgrad und Einzugsgebietsgröße (als Verhältniszahl zu Anbrüchen dann dimensionslos). Mit in 11 Jahren gesammelten 1.420 Daten war es möglich, für West- und Zentral-Österreich entsprechende Wildbachzonen, bzw. Gültigkeitsbereiche für bestimmte Torrentialitätsgrade, abzugrenzen. Für Süd- und Ostösterreich gab es zunächst noch wenig Unterlagen. In der Zeit von 1983 bis 1985 sind gerade in diesem Raum 333 weitere Katastrophen und Schadensfälle aufgetreten, die eine Überprüfung und Weiterentwicklung ermöglichen.

In der Zone I, dem inneralpinen Hochgebirge, gab es in dieser Zeit zahlreiche Katastrophen, die die bisherigen Grenzen bestätigten. Von diesen sei hier nur der Umbalbach erwähnt. Eine Lawine staute den Bach, es kam zu einem plötzlichen Durchbruch des gestauten Wassers und der entstandene

Wasserschwall mit Lawinenschnee räumte das gesamte Bachbett aus und vermutete die tieferliegenden Alm- und Talböden. Da in diesem Gebiet eine Kontroverse zwischen Naturschützern und Kraftwerksplanern besteht, erregte die Katastrophe einiges Aufsehen.

Für die vorliegende Untersuchung sind die Katastrophenereignisse interessanter, die in der Zone II im äußersten Westen, Süden und Osten Österreichs stattgefunden haben. Diese Fälle sind in einer Tabelle zusammengestellt. Es wurden für sie nach obiger Formel die minimal und maximal möglichen Torrentialitätsgrade und Feststofffrachten errechnet und den tatsächlich aufgetretenen Werten gegenübergestellt. Die den tatsächlichen Werten näher liegenden Rechenwerte sind durch Unterstreichungen hervorgehoben. Es zeigt sich, daß zwei Drittel der untersuchten Bäche der Zone II entsprechen. Folgende Bäche verdienen besonderes Interesse:

Im Stranigbach, im Gailtal, wurde eine im Bau befindliche Geschiebestausperre berg- und talwärts vollkommen verschüttet. Die Feststofffracht aus dem 11,6 km² großen Einzugsgebiet betrug 180 Tausend m³. Nach Räumung und Geschiebeabtrift stellte sich wieder der zuvor bestandene Zustand ein. Der Bach war praktisch unverbaut. Die selbe Erscheinung, Verschüttung einer Sperre am Grabenausgang, gab es auch im teilverbauten Siflitzbach im Drautal.

Im Kirchbachgraben, im Gailtal, hat eine vor zwanzig Jahren errichtete Gitterrostsperre das meiste Wildholz abgefangen. Die Sperre verlandete dabei vollkommen, trotzdem die großen Öffnungen in der oberen Reihe 4,4 m² betragen.

Der Oselitzenbach, im Gailtal, hat ein Einzugsgebiet von 24 km². Bei der Katastrophe 1983 wurde vor dem Grabenausgang die sogenannte Reppwandgleitung aktiviert. Die Straße zum Naßfeld und nach Italien wurde zweimal unterbrochen. Die bisherige Verbauung im Grabeninneren hat hier eine noch größere Katastrophe verhindert.

Im Schreigraben, im Drautal, überraschte eine Mure die mit der Sicherung der Brücke befaßten Personen. Vier von ihnen wurden von der Mure erfaßt und kamen um. Aus dem zu 90 % bewaldeten Einzugsgebiet hatte man nicht eine 50 Tausend m³ umfassende Materialfracht erwartet.

Die neuen Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1.) Die Gültigkeit der Formel für mögliche, extreme Wildbach-Feststofffrachten und die bisherigen Zonenabgrenzungen erscheinen grundsätzlich bestätigt. Durchschnittswerte sind für die Beurteilung von Wildbächen nicht zielführend.
- 2.) Die Analysen lassen keine Schlüsse hinsichtlich der Schutzwirkung des Waldes zu, weil alle Bäche gleichgut bewaldet waren. Vorsicht ist auch in bewaldeten Einzugsgebieten geboten.
- 3.) Die Wirksamkeit von Verbauungen ist deutlich zu erkennen. Die Feststofffrachten unverbauter Bäche erreichten maximale Werte, die der verbauten die niedrigeren Grenzwerte der Zone II.

- 4.) Es bleibt, trotz Wildbachverbauungen, fast immer ein relativ großes Restrisiko bestehen. Denn im allgemeinen werden nur akute Geschiebeherde verbaut. Bei außergewöhnlichen Ereignissen können woanders neue Erosionen auftreten und zu großen Feststofffrachten führen. Der Erhaltung der Verbauungswerke und dem Bodenschutz im Einzugsgebiet kommen deshalb besondere Bedeutung zu.
- 5.) Die Zonenabgrenzung konnte weiter präzisiert werden. Dabei empfiehlt sich eine Untergliederung der Zone II für
 - a) mehr gegliederte Wildbäche im Hoch- und Mittelgebirge und
 - b) für Wildbäche im übrigen Mittelgebirge in denen die Alluvionen weit in die Gräben hineinreichen und Murablagerungen schon im Grabeninneren vor sich gehen.

Eine noch genauere Zonenabgrenzung wird mit zusätzlichen Daten immer wieder möglich sein. Gegenwärtig stellt die beschriebene Methode eine einfache aber relativ genaue und vor allem nachvollziehbare Methode zur Wildbacheinschätzung dar, die zusammen mit Felderhebungen vor allem im Hoch- und Mittelgebirge gut brauchbare Ergebnisse liefert.

Schrifttum, Tabelle und Abbildung im englischen Text.

II . E R O S I O N U N D
P F L A N Z E N D E C K E

E F F E C T S O F T R E E R O O T N E T W O R K
O N S L O P E S T A B I L I T Y

By

Masaru IWAMOTO & Kazutoki ABE

Chief, Dr. Agr., Research Eng.

Soil Conservation Laboratory

Forestry and Forest Products Research Institute,

Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

S U M M A R Y

According to actual-condition researches on the functions of soil conservation by tree root networks, these tree root networks can control and also prevent rockfall, debris discharge, avalanche, soil erosion and shallow landslide because of the reinforced soil strength and combination of tree trunk. In order to evaluate the quantitative effects of roots, the authors made a large-scale direct-shear apparatus and carried out a series of experiments on soil shear test with live tree roots. From the results, in the case of a young tree (*Cryptomeria Japonica* : SUGI), it can be seen that the existence of roots in the soil increased the shear strength by at least 15 % compared with that of a soil block without roots. Furthermore, both the displacement of soil block and the period of soil failure were longer than that of soil without roots because of the characteristics of elasticity in soil blocked with roots.

K E Y W O R D S

Effect of tree root, slope stability, soil conservation, direct shear test.

INTRODUCTION

The purpose of this paper is to investigate the role of forest vegetation in maintaining more secure slopes. This question has been analyzed in considerable detail by many research groups. The functions of soil conservation by forest are snow avalanche prevention, rockfall prevention, debris discharge control, erosion control, landslide prevention, etc. These functions are exhibited by the tree root networks which distribute widely in the soil layer and reinforce the soil strength to hold the tree stem and the ground surface. In order to evaluate the quantitative effects of tree roots, it is necessary to observe more precisely the relationships between root distribution, root tension and soil shear strength. Accordingly, the authors made a series of observations and experiments regarding tree root networks. As a result of these, significant information was obtained regarding characteristics of root distribution, uprooting strength and the reinforcement of soil shear strength by root.

ACTUAL CONDITION RESEARCHS ON EFFECTS OF TREE ROOTS

The functions of soil conservation by forest have been investigated and the mechanisms of tree root to control debris disaster have been gradually analyzed. However, there seems to be little research to clarify systematically and extensively the effects of tree root network. In this chapter, the authors introduce the results of such a research series on the effects of tree root network.

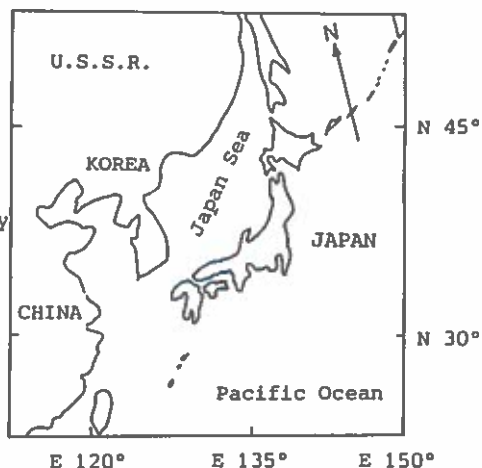


Fig. 1 Location map

1. Avalanche prevention

The district facing the Japan Sea is a heavy snow area in winter, and the snow depth is more than 3 m in mountainous areas (Figure 1). In these areas, avalanches and landslides occur frequently in middle winter and the snowmelt season, and the snow debris damages the downstream land. However even in these areas, snow disaster can be prevented by forests because of the combination of tree trunk and root network.

Figure 2 shows the relationship between stump density and snow displacement (SAEKI & NITTA, 1982). In the figure, the snow displacements in the selected forests (No. 1,2) ranged from 0.3 m to 1.2 m so that the snow layers seemed not to move. Furthermore, both in the bush (No.3) and the grassy lands with mild slope (No. 5,6), the displacements ranged from 1 m to 3.5 m. However in the clearcut forests with steep slope (No. 4), snow avalanches occurred frequently. From these results, it may be concluded that the displacement of inclined snow-pack layer increased with the decrease of the stump density in general and avalanches often occurred on the clearcut slopes when the stump density decreased to less than 100 No./ha .

Figure 3 shows the typical patterns of tree root distribution in both a snowy district and non-snowy one. In the figure, the differences of tree root distribution were caused by the existence or non-existence of

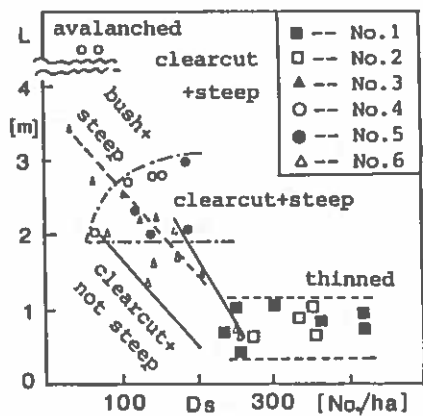


Fig. 2 Relationship between stump density and snow displacement

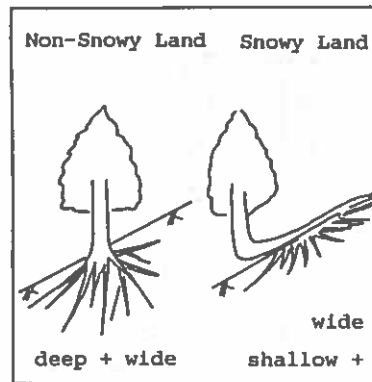


Fig. 3 Typical patterns of tree root distribution

snow pack ; namely in the snowy district, the tree trunks had been bent and pulled down to the slope beneath while they were young and so the amount of tree roots seemed to be less than that in the non-snowy district. This applied especially view point of large and long roots in the vertical soil layer. However few the roots might be, the shallow and wide network of roots had the same large uprooting strength as the trees in the non-snowy district (IWAMOTO & ABE, 1985). In all cases, the existence of trees with root network have the effect of preventing and controlling avalanches even in a heavy snow area.

2. Rockfall prevention

The role of the forest both in preventing rockfall and storing debris is exhibited by the combination of stem and root network ; for example , the root networks hold the rocks tightly so that they do not move and the stems store the debris from the upper part of the slope by means of a slope buttressing and fence effect. When quantitatively evaluating these effects, matters such as the root distribution, the uprooting strength to hold the rock and stem density storing the debris must be considered (ABE & MASHIMA, 1984).

Figure 4 shows the relationship between the tree stems and rockfalls on a mountain slope with 40.7° inclination. In the figure, the tree

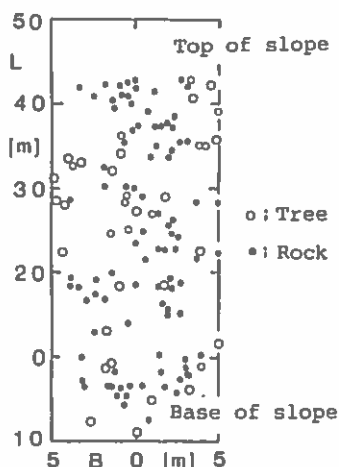


Fig. 4 Relationship between tree stems and rockfalls

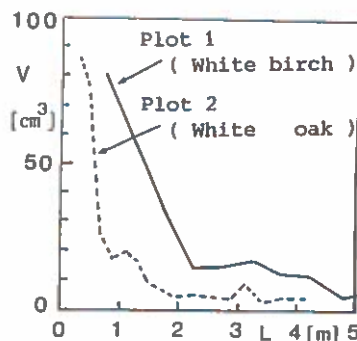


Fig. 5 Root volume distributions

distribution is thickest in the middle part of the slope and lower part of the slope is a little thicker than the upper part. However the rockfalls distribute uniformly over the whole slope, most large rocks being on the middle slope and small rocks on the lower slope. This means that, when rockfalls occurred on the upper part of the slope, the large rocks were stopped and stored by the tree fence effect on the middle slope and so only small rocks rolled through the trees and deposited at the lower part of the slope, and a grading effect seemed to be exhibited by the trees.

Figure 5 shows the root volume distributions of single trees on a cutting slope of a forest road, where, Plot 1 contains White Birch with d.b.h.= 12 cm and 13 m high, and Plot 2 contains White Oak with d.b.h.= 10 cm and 8 m high. In the figure, the roots distribute widely more than 4 m in lateral direction even though root depths are shallow. This is why, in the case of a tree growing on a steep and rocky slope, the root tends to distribute widely in order to keep the stem from uprooting by rockfall, and also to grow fast and strongly.

3. Erosion control

Soil erosion is greatly influenced by natural conditions such as the intensity and amount of rainfall, the gradient and length of slope, geology, vegetation and so on. The functions of erosion control by forest are as follows :

- (1) The crown, undergrowth and litter reduce the impact energy of raindrops to the surface and prevent a raindrop erosion.
- (2) The root networks of both tree and grass make the soil porous and promote the infiltration of rainfall.
- (3) Further, the humus layer promotes the infiltration ratio and reduces the surface flow, which prevents surface erosion.
- (4) In a cold district, the forest keeps the ground surface from freezing and prevents soil erosion by both frost-lifting and melting.

Figure 6 shows the observed results of soil erosion under the various vegetation conditions in a 3 year period, where, the plots are located in a granitic mountainous area with 1200 m elevation. In the figure, the erosion ratios in both bush and grassy land with 100 % of coverage are 0 cm. On the other hand, the ratio in grassy land with 50 % coverage ranges on average from 2 cm to 3 cm per year, and the ratio in bare land ranges from 5 cm to 10 cm per year in winter and from 2 cm to 5 cm per year in summer. Consequently, the existence of bare land in a mountainous area increases the surface erosion in all seasons and causes the land to deteriorate.

Table I summarizes the relationships between the soil layer depth and root distribution in various vegetation plots. According to the table, the soil formation in the tree plot is obviously higher than that in the grass plot, namely the average of soil layer depth is 39 cm and most of the trees distribute their roots closely to the bed rock of 60 cm in depth. Contrary to this, in the grass land with 50 % of coverage, soil layer depth is only 15 cm and root distribution depth is also 10 cm respectively. Consequently, the existence of vegetation, especially tree, distributes the root to a further depth compared with the grass land. In addition, the soil formation depth is in proportion to the root distribution. Thus, the tree plot is the most effective way to control soil erosion because of both the coverage of vegetation crown and the soil layer depth (IWAMOTO, 1985).

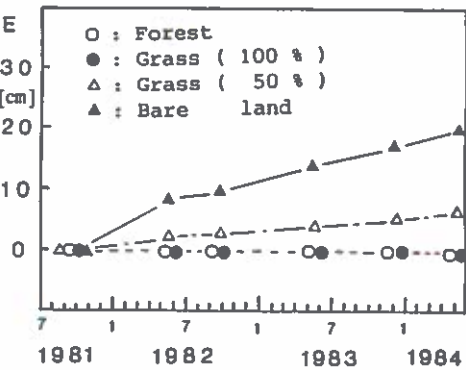


Fig. 6 Comparison of erosion ratios among vegetation conditions

Table I Soil improvement

Conditions	Soil depth (cm)	Root depth (cm)
Forest	39	60
Grass (100%)	20	15
Grass (50%)	15	10
Bare land	2	0

4. Landslide prevention

In general, trees distribute their roots widely to a soil layer and prevent a shallow landslide because of the reinforced soil shear strength by the roots. There are two ways to investigate the reinforcement effect of shear strength, one is the uprooting test and other is a direct shear test (KITAMURA & NAMBA, 1966, ENDO & TSURUTA, 1969).

KITAMURA collected a great number of landslide data in Japan and analyzed the relationships between the uprooting strength and the passage of time in various species, for example , in the case of *Cryptomeria japonica* (SUGI), the relationship between them is shown in Figure 7 . In the figure, the amount of tree root is the largest at 50 years of age and also the effect of reinforced strength on landslide prevention is at the maximum. However, after cutting, the root strength gradually reduces year by year. On the other hand, the root strength of newly planted trees gradually increases with the time. As a result, it may be considered that the combined root strength of the cut tree and the planted one acts directly as an effect on landslide prevention, so that the period of high potential risk of landslide seems to range from 5 to 15 years after cutting (KITAMURA & NAMBA, 1981).

ENDO measured directly the effect of tree roots to reinforce the soil shear strength by using a small shear apparatus in a nursery. This measuring method will be explained in more detail in the next chapter.

Figure 8 shows the root volumes of various species observed adjoining the landslide sections where the surface soil layer is comparatively thin (1m in depth) with debris of both granite and tuff. In the figure, the root volume in the land planted with *Cryptomeria* 6 years ago is obviously less than

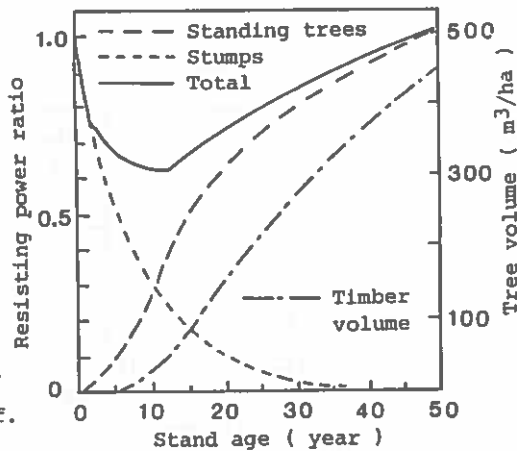


Fig. 7 Strength variation by timber volume and stand age

that of other species, especially the root network larger than 1 cm in diameter which distributes under 30 cm of depth, so that a lot of shallow landslides occur there. On the other hand, in the coppice forest with White Oak (KONARA), 30 years old, there are few landslides because the roots distribute widely compared with those in the one planted with Cryptomeria (SUGI). Furthermore, in the virgin forest with Siebold's Beech (BUNA), 150 years old, no kind of landslide occurred because there were many more roots, distributed more widely, which interpenetrated deeply into the cracks of bed rock and seemed to control the occurrence of landslide.

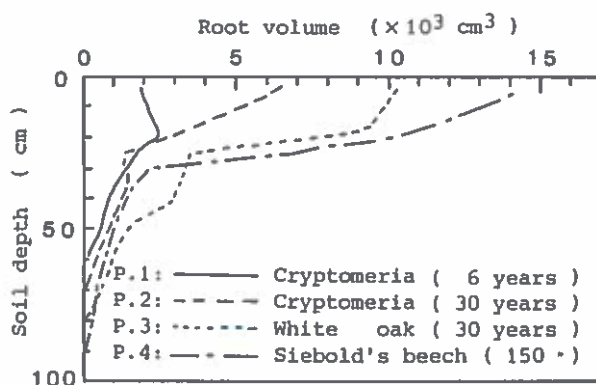


Fig. 8 Root volume distributions

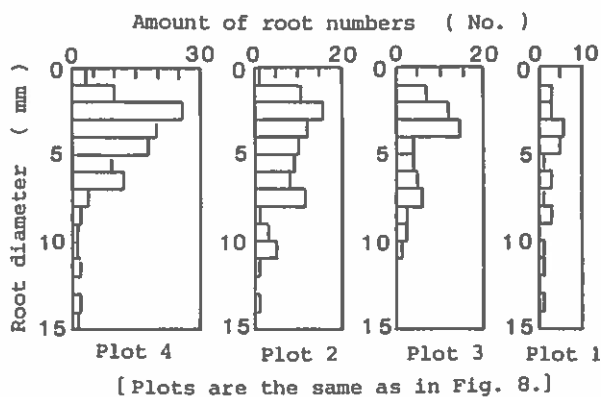


Fig. 9 Root diameter distributions
at landslide sections

Figure 9 shows the distribution of root diameter remaining at the circumference section of landslide area shown in Figure 8. In the figure, there are few roots in the land planted with *Cryptomeria* (No.4) and this lack of roots in the lateral side seemed to enlarge the landslide. Contrary to this, there are a great number of roots in the virgin forest (No. 1) compared with the other kinds of forest and especially from the view point of lateral root distribution. It may be considered that the combination between lateral and vertical root distribution can prevent a large landslide, even if a large landslide occurs (ABE & IWAMOTO, 1985).

EXPERIMENT ON SOIL SHEAR STRENGTH BY LARGE DIRECT-SHEAR APPARATUS

The effects of tree root network on soil conservation have been pointed out in the above chapters. However, it is more necessary systematically to develop extensive studies on both the site and vegetation conditions in order quantitatively to evaluate the effects of tree root. Therefore, the authors have designed a large-scale in-situ type of shear apparatus to measure the shear strength of soil in a nursery. The outline of this apparatus, the procedure of the test and some interesting results are presented herein.

1. Apparatus

Figure 10 illustrates the large-scale direct-shear test. In this test,

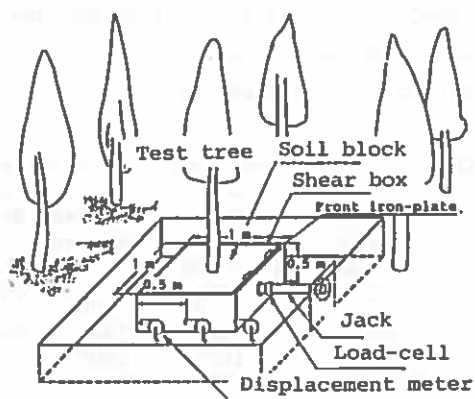


Fig. 10 Large-scale direct-shear test

a soil block, 1 m wide x 1 m long x 0.5 m high with live tree roots, can be sheared in the field. The advantages of this test are as follows :

- (1) The shearing area is 1.0 square meter, and thus a large tree can be selected as the test tree.
- (2) The displacement process of the soil block can be observed from the block side.
- (3) Both the acting forms of the roots in the soil and the movement of the soil block can be observed by exposure after the test.
- (4) The results can be expressed by the Coulomb equation.

The measuring system is as follows. The shearing load, normal stress, displacement, pore-water pressure, and the soil strain and slant are measured by strain-gauge type instruments. All of the measured values are easily and automatically memorized at regular intervals of 30 or 10 seconds by a digital strain recorder. These data are transferred immediately to a computer and then analyzed. The displacement processes are also observed by a video tape-recorder (V.T.R.) and a motor-driven camera. Furthermore, both measurements of the root distribution and their cutting forms caused by soil failure are made in detail when exposed after the test.

2. Experimental method

A series of large-scale direct-shear tests have been made in the nursery. The soil conditions were uniform at the test site because the soil was developed by soil dressing. The soil type was loamy sand (Kanto loam) and hardly compacted (about 350 kg·f/cm by Vane tests). For the test trees, a *Cryptomeria japonica* (SUGI) 6 years old (about 4.5 m in height and 7.0 cm in diameter), was selected.

Table II Test conditions (Z = 50 cm)

Kind of plot	Shear depth (cm)	Soil-block weight (kg·f/m ³)	Additional load (kg·f/m ²)	Normal stress (·)	Soil moisture condition
Planted plot	50	900	0	900	Natural , Wet
		900	500	1400	
		900	1000	1900	
Bare plot	50	900	0	900	Natural , Wet
		900	500	1400	
		900	1000	1900	

When evaluating other species, it is reasonable to standardize the effects on *Cryptomeria japonica* first because it is the most widely planted tree in Japan.

A number of tests were made in this preliminary test series. Test conditions are shown in Table II. Three degrees of additional load were prepared, 0, 500, 1000 kg·f/m². Soil moistures varied from natural to saturation. The shear method was stress controlled and the shear load was increased in steps of 100 kg·f every 20 minutes to measure the characteristics of soil creep. Therefore, the shear load had to be kept constantly at a certain value every 20 minutes using the oil pump and jack. Tests on the bare plot were first made to obtain original basic data (the shear strength of the soil alone) to determine the effect of tree roots on the planted plot. Next , tests on the planted plot were made in the same way. Furthermore, the water was supplied on the soil block to get a saturated soil condition comparing with a natural soil condition.

3. Results and discussion

(1) Reinforced shear strength by roots

Figures 11 & 12 show the relationships between the shear strength and the normal stress on both the planted plot and bare plot in natural and wet soil conditions respectively. In the figure, all of the shear strengths on the planted plot were 15 - 30 % larger than those on the bare plot under the two conditions because of the existence of tree roots. Comparing the values between the natural soil condition and the wet one, it would seem that the values in a natural condition ($\sigma = 900, 1900 \text{ kg}\cdot\text{f}$) were 100 kg·f larger than that in a wet one, although there was a little dispersion among the values. However, these tendencies cannot be quantitatively evaluated at the present time as shown in Figure 13 , because the amounts of root in the wet condition were twice as much as in the natural one. Therefore, the Coulomb equations regarding the tree root effect will be analyzed after obtaining further detailed data.

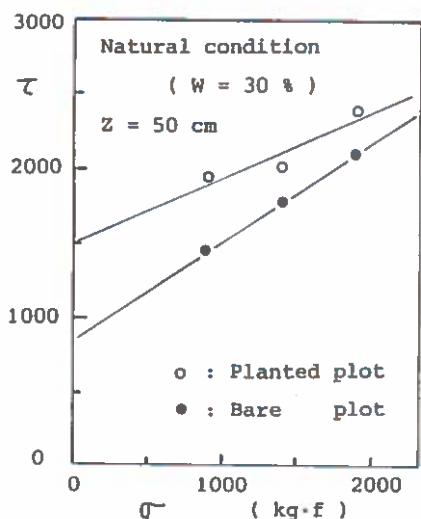


Fig. 11 Relationships between shear strength and normal stress

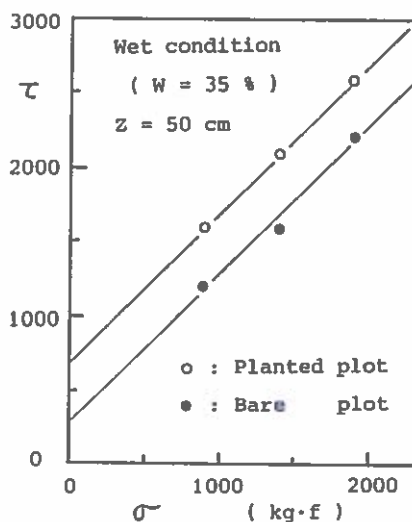


Fig. 12 Relationships between shear strength and normal stress

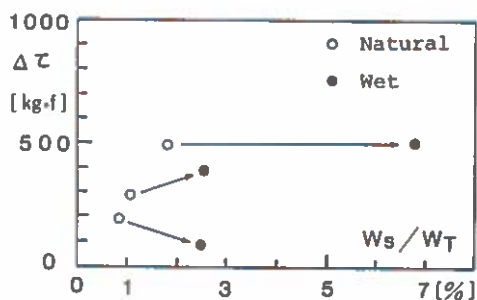


Fig. 13 Relationships between reinforced strength and root weight

(2) Displacement process

Figure 14 shows the displacement process at the frontal face of the soil block. In the figure, the planted plot process and that of the bare plot are compared for each normal stress (σ). The displacement (l) mainly increased by constant ratios until near failure in all tests, but increased much more just before failure. According to these comparisons, the displacement of soil-blocks of the planted plot tended to be greater than those of the bare plot, so that the effect of roots appeared throughout the entire displacement process.

This means that the existence of tree roots in the soil greatly increases the shearing strength, over 10 mm in the final range of displacements. For example , in case of $\sigma = 900 \text{ kg-f/m}^2$, the shear strength of the planted plot was obviously larger than that of the bare plot in the final stage of the displacement distance ($l > 10 \text{ mm}$).

(3) Relationships between reinforced strength and root quantity

The dispersion among the values of shearing strength on the planted plot seemed to be caused by the difference in amounts of tree root in the soil block as shown in Figure 14. The total root cross-sectional area on the shear plane (A_s), the root weight in the soil 10 cm under the shear plane (W_s), and the total root-weight in the block (W_T) were measured after the test. Figure 14 shows the relationship between the reinforced strength and the above root ratio. However, obvious tendencies cannot be pointed out from the data shown in the figure. It should be explained that the reinforced strength of the root weight under the shear plane (W_s) is in some degree better than that of the total root weight (W_T) in the soil block.

The shearing strength is influenced also by both the number of roots and the root distribution. In the test, the distribution of the root cross-sectional area on the shear plane was measured by exposure of the soil block. From the results, it can be seen that the root distribution varied for each block. Hence, it is necessary systematically to continue the experiment and investigate the relationships between reinforced strength and root quantity.

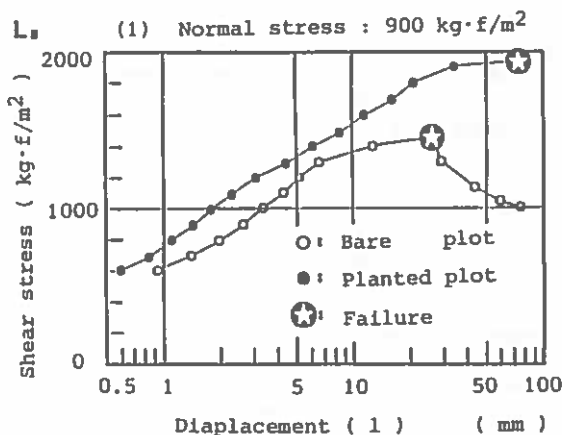


Fig. 14 Relationship between shear stress and displacement

CONCLUSIONS

From the experimental results, this large-scale direct-shear apparatus has advantages over the conventioned shear apparatus, and some significant facts are as follows :

- (1) A sample depth on any selected plot can be set up with a combination of plate heights, for example, depths of 20, 60, 100 cm and so forth.
- (2) When a large tree root is present in the soil block, the oil jack can easily shear the block with a uniform pressure.
- (3) Many kinds of measuring data can be recorded automatically during the test, even at any time interval, for a long period of time. Furthermore, the data can be analyzed quickly by computer.
- (4) The existence of tree roots in the soil seems to increase the shearing strength by at least 15 % compared with that of a soil block without roots.
- (5) The displacements of soil blocks in the planted plot tend to be greater than those in the bare plot because of the existence of tree roots in the soil.
- (6) Furthermore, the thickness, length, and distribution type of tree roots also seem to influence the reinforced strength, and so their function forms should be observed in detail under many kinds of test conditions, for example, a root-tension test, a root pulling-out test, and so forth.

LITERATURE CITED

- (1) ABE, K. & MASHIMA, M., (1984): Actual condition research on rock falls. Rep. of tech. res. exam., Forestry & For. Prod. Res. Inst., pp.137-207.
- (2) ABE, K. & IWAMOTO, M., (1985): Tree roots distribution on a landslide surface. Trans. 37th Mtg. Jap. For. Soc. (Kanto Branch), pp.100-103.
- (3) ABE, K. & IWAMOTO, M., (1985): Effect of tree roots on soil shearing strength. Proc. of Sabo symp., ISEDD (Japan), pp.341-346.
- (4) BURROUGH, E.R. & THOMAS, B.R., (1977): USDA Forest Service, Res. Pap. INT-190.
- (5) ENDO, T. & TSURUTA, T., (1968): Annu. Rep. Hokkaido Br., For. & For. Prod. Res. Inst., No.18, pp.167-182.
- (6) GRAY, D.H. & MEGAHAN, W.F., (1981): USDA For. Ser. Res. Paper INT-271.
- (7) IWAMOTO, M. & ABE, K., (1985): Characteristic of tree root distribution in heavy snow slopes. (Unpublished)
- (8) IWAMOTO, M., (1985): Effect of check dams on a torrent. Proc. of Sabo Symp., ISEDD (Japan), pp.407-412.
- (9) KITAMURA, Y. & NAMBA, S., (1966): A field experiment on the uprooting resistance of tree roots. Proc. 77th Mtg. Jap. For. Soc., pp.568-569.
- (10) KITAMURA, Y. & NAMBA, S., (1981): The function of tree roots upon landslide prevention presumed through the uprooting test. Bull. For. & For. Prod. Res. Inst., No. 313, pp.175-208.
- (11) SAEKI, M. & NITTA, R., (1981): Proc. 17th IUFRO, Div.1, pp.187-196.
- (12) ZIEMER, R.R., (1981): Proc. 17th IUFRO (Japan), Div.1, pp.297-308.

EVALUATION OF THE EFFECT OF LATERAL ROOTS ON SLOPE STABILITY

Yoshinori Tsukamoto and Hirohiko Minematsu

Professor and assistant professor
Department of Forestry
Tokyo University of Agriculture
and Technology
Fuchu, Tokyo 183 Japan

SUMMARY

A conceptual model to express the effect of tree roots on slope stability is presented. The network of lateral roots is expressed with several layers of net, while vertical roots are represented with groups of short, small piles. Tree stems are expressed as the weight on the piles. The change of the effect of the nets and piles with elapse of tree ages is discussed.

To evaluate the effect of lateral roots(nets), the writers made a simulation model of lateral root distributions by employing TR (tree-root) ratio, pipe theory of tree growth and bifurcation ratio of root networks. The result indicates that root area ratio and tensile strength of lateral roots show the lowest value at the middle of two adjacent trees. The tensile strength at this lowest point increases with tree age until 20th year, keeping the constant ratio afterwards. The 20th year coincides approximately with the age of canopy closure and the starting age of the constant value of $L(\text{average distance of trees})/D(\text{diameter breast height})$. This first 20 years also corresponds with the period of high susceptibility to debris slide occurrence.

Key words: Slope stability, Tree root, Conceptual model

INTRODUCTION

The first thing to be done for the evaluation of the effect of tree roots on slope stability is the clear explanation of the stabilizing mechanism of tree roots and the estimation of the number of tree roots which affect as an actual stabilizing strength. For the former, the writers made a conceptual model consisting of net layers and short, small piles to discuss the tree root effect on slope stability. For the latter, a simulation model of tree root distributions was investigated under the concept that the forest structure determines the structure of a individual tree. In this paper, the lateral root distributions of Sugi (*Cryptomeria japonica*) trees are estimated with the simulation model and discussed the

effect of lateral roots by applying the results to the above conceptual model.

CONCEPTUAL MODEL EXPRESSING THE EFFECT OF TREE ROOTS

Tree roots have the function of holding their stems in addition to the physical functions such as absorption of water and nutrients. The pattern of tree root distribution would differ with depth of soil and soil moisture, besides with tree species. Taking these complexities of tree root distributions into consideration, the writers summarize the characteristics of tree root distributions from the viewpoint of slope stability. The writers classify tree roots into two groups, that is, lateral roots and vertical roots.

The characteristics of tree roots are as follows, if taking Sugi forest as an example.

Lateral root

1) Lateral roots distribute in the surface soil approximately within the depth of 50 to 100 cm.

2) Lateral roots decrease their diameters gradually as they become distant from the stem.

3) Lateral roots diverge into smaller roots with similar diameters, finally becoming hair-like bunches of roots.

Vertical root

1) Most vertical roots grow downwards within the narrow area around their stem.

2) The number of vertical roots which reach the underlying transition zone is limited, in most cases less than ten roots. Vertical roots decrease their diameters sharply within the surface soil of approximately 1.0 m even at the age of fifty.

3) Most diverging branch roots from a main vertical root are smaller and shorter compared with those of lateral roots.

Fig.1 is depicted taking the above characteristics into consideration. The writers have developed the following conceptual model to illustrate the effect of tree roots on slope stability basing on the above characteristics (Fig.2).

In the model, lateral roots are expressed with several layers of nets. The nets are composed (weaved) of ropes with poor elasticity and with the diameters that decrease as getting distant from the stem. The surface soil is consisted of alternative layers of these nets and soil. At the shallower depth in the surface soil, the more densely the nets with smaller meshes are layered. Vertical roots play the role of small, short piles with sharply decreasing diameters. A tree has a group of these piles under its trunk, for example consisting of 5 to 10 piles. In plantation forest, these groups of piles with similar lengths are distributed at a constant distance, to which several layers of nets are fixed. In natural forest which is consisted of various magnitude of trees, the pile lengths and the area that the piles distribute vary greatly and the net structures are also different from those of plantation forest. However, the net density (root area ratio) seems to be similar with those of plantation forest as stated later.

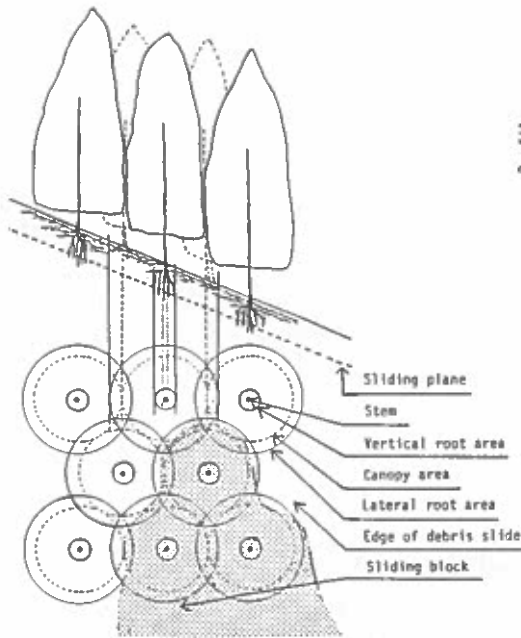


Fig. 1 A schematic expression of tree roots

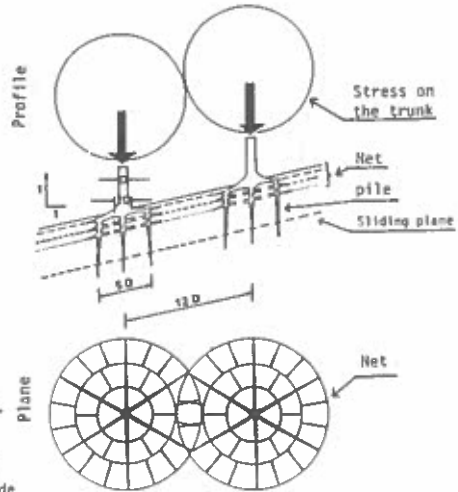


Fig. 2 A conceptual model of tree roots to express their effect on slope stability

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF SUGI (Cryptomeriya japonica) FOREST

The writers attempt to simulate lateral root distribution by applying the pipe theory of tree growth and bifurcation ratios used in stream channel analysis. Preliminary analysis for the application of these theories is conducted first in this chapter.

Average distance of trees

As tree age gets large, both the diameter(D) at breast height and the average distance(L) of two adjacent trees become large. The writers expressed the average distance of two trees with a dimensionless value, L/D . Fig. 3 shows that L/D changes sharply before the age 20 but it decreases gradually and can be regarded as a constant after the age 20. This constant linear line is explained theoretically as a part of a hyperbolic curve basing on the "maximum law of the sum of cross sectional area at breast height". Since the constancy of L/D proves the usefulness of D as a dimensionless unit, D is used as the fundamental unit of the forest structure in this paper.



Fig.3 Change of average distance of two adjacent trees with tree ages, which is calculated from the standard Sugi yield table of Kanto district.

L: Average distance of two adjacent trees

D: Average diameter at breast height

Total volume of lateral roots

TR ratio of Sugi forest is given in Table 1 (Karizumi 1977). A TR ratio determines the total volume of roots of a tree. Where the surface soil is deep, the vertical roots grow without any restriction. Where the shallow surface soil restricts the growth of vertical roots, the total volume of vertical roots are expected to increase. It is assumed in this paper that the restricted volume of vertical root growth will induce the increment of lateral root volume.

Table 1 TR ratio of Sugi (Karizumi 1977)

Diameter breast height(cm)	11.3	16.0	19.5	25.2	31.9	35.7
TR ratio	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6

Cross sectional area of the bundle of lateral roots

The writers employed the so called "pipe theory"(Shinozaki et al 1964) for the analysis of lateral root growth and distribution, the validity of which was proved for the growth of tree stems. Cross sectional areas at 2D intervals of all lateral roots of a given tree were measured and summed up to calculate the diameter of the bundle of lateral roots. Fig.4 shows that the recession of the diameter of the bundle of lateral roots is expressed with a exponential curve. Then, the formula is given as follows,

$$D_x / D = (D_0 / D) 10^{-bx}$$

where D_x and D_0 are the diameter of bundle of lateral roots of

a tree at distance of $2D \cdot x$ and at zero from the surface of the trunk respectively, and b is a recession constant.

As to b , plotted values are regarded as a constant though the variation is large as shown in Fig.5. D_0 is closely related to the total volume of lateral roots(R_v) as in Fig.6, which is expressed with parabolic curve.

$$D_0 / D = 0.6752 (R_v / D^3)^{1/2}$$

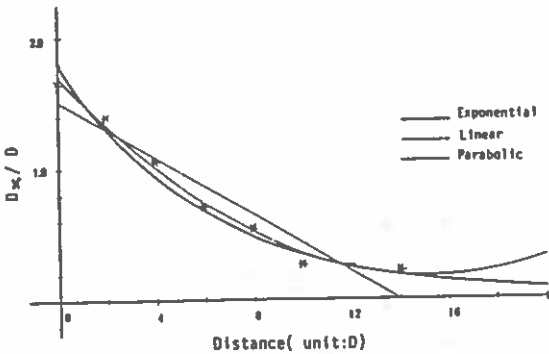


Fig.4 Recession of the diameters
 of the bundle of all lateral roots

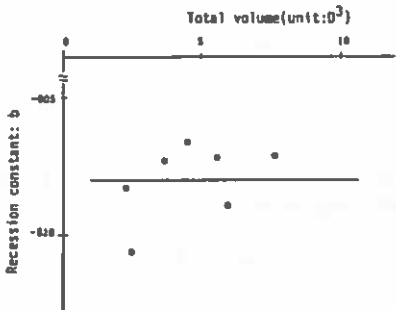


Fig.5 Average value of b ,
recession coefficient of
a bundle of lateral roots

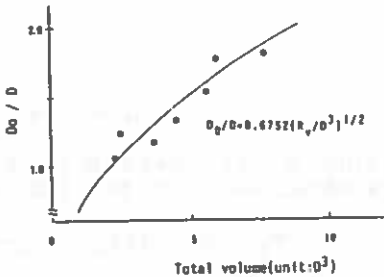


Fig.6 Relationship between
the total volume of lateral
roots(R_v) and the diameter
of a bundle of lateral roots
at the initial points(D_0)

Number of roots

A tree root bifurcates next by next increasing their number. In case of stream channel, Horton calculated a bifurcation ratio by giving the order to each channel segment. The writers calculated bifurcation ratios of lateral root networks by counting the numbers of roots at a constant interval, that is, $2D$. The definition of bifurcation ratio(R_b) in this paper

is as follows,

$$R_b = N_i / N_{i-1}$$

where N_i and N_{i-1} are the number of roots at the distance of $2D_i$ and $2D_{(i-1)}$ from the trunk surface, respectively. A example of bifurcation ratios of Sugi tree roots is shown in Fig.7.

Since the variation of bifurcation is remarkably large, both high values and average values were employed for the actual computation.

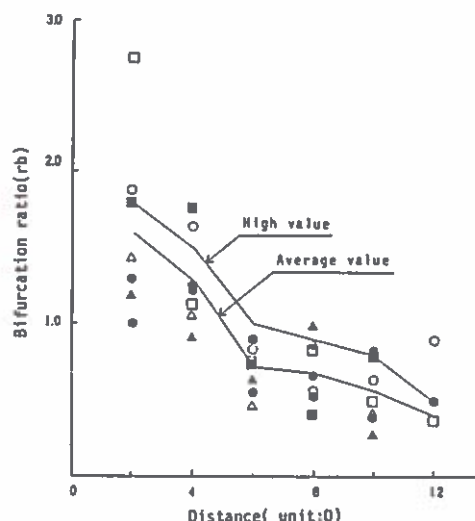


Fig.7 Bifurcation ratio of Sugi tree.

When a bifurcation ratio is given, the number of roots, N_i , is obtained with the following equation.

$$N_i = N_1 \cdot (r_{b1} \cdot r_{b2} \cdot r_{b3} \cdot \dots \cdot r_{bi-1})$$

Tensile strength of roots in situs

The mechanical reinforcement of soil strength by tree roots is expressed with the following equation(Gray and Megaham 1981).

$$C_r = k \sum_{i=1}^n q_{di}$$

where C_r is pseudo cohesion by tree root reinforcement, q_d is tensile strength in situs of a root with the diameter d , and k is 1.12.

The writers measured tensile strengths in situs of Sugi trees in different forests. The result indicated that no difference existed between the tensile strengths of lateral roots and those of vertical roots, which expressed with the

same regression line. To reinforce the data of vertical roots of the previous paper(Tukamoto and Kusakabe 1984), the writers added new data and revised the regression equation as follows.

$$q_d = 1.795 d^{1.594} \quad r = 0.929$$

where q_d is tensile strength(kg f) in situs and d is the root diameter(mm) at the pulling point.

Simulation model of lateral root distribution.

Fig.8 is the flow chart of a simulation model of lateral root networks which takes into account the above pipe theory and bifurcation ratio. The output is given with the number of lateral roots with a average diameter or the total tensile strength of lateral roots.

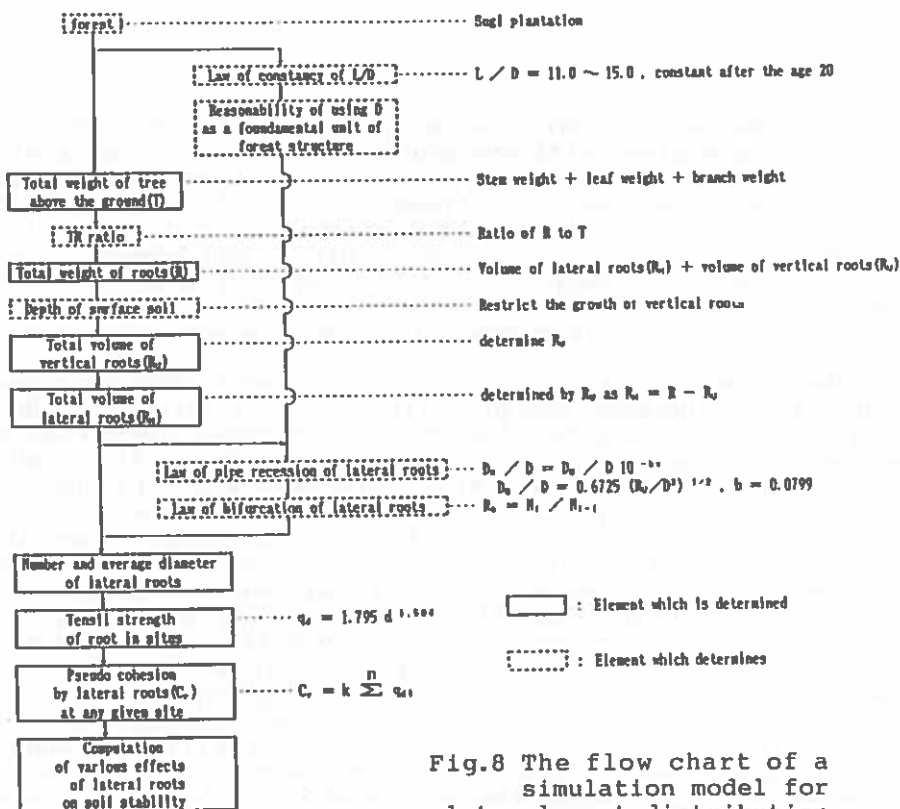


Fig.8 The flow chart of a simulation model for lateral root distribution.

The constants of the model were given as follows.

- 1) Surcharge by tree weight.
 1.0 g/cm^3 is given for the weight of unit mass of tree

stems. Total weight of branches of a tree is calculated by $0.08x$ (total stem weight of a tree). Total leaf weight is given by 65 tons/ha for forest of the age 15, 75 tons for the age 30, 65 tons for the age 45 and 55 tons for the age 60, respectively. The stem volume of a Sugi tree is obtained from the yield table of Kanto district. The table gives the number of trees, average diameters at breast height(D) and average stem volumes at the respective age.

2) Root distribution.

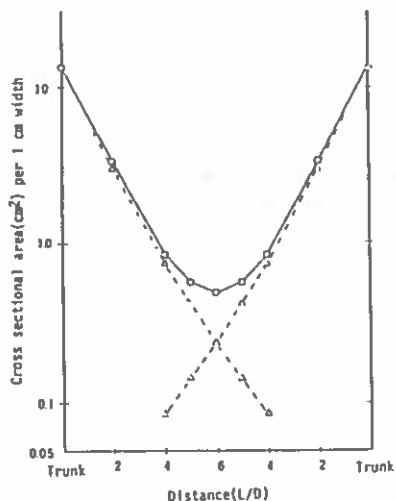
TR ratios given in Table 1 are used. The writers assumed the lateral root ratio, R_L/R (ratio of lateral root volume to total root volume), since there is no reliable research results to estimate this ratio. Several papers investigated this subject, which note the increase of lateral root ratios when the growth of vertical roots is restricted with underlying soil conditions. Fig. 5, 6 and 7 were used to calculate the cross sectional areas of lateral roots. As to bifurcation ratios, average and high values were employed.

RESULT AND DISCUSSION

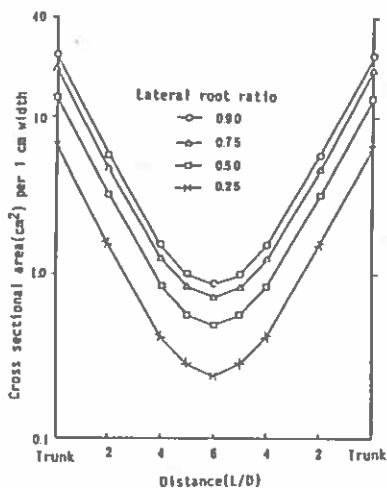
The results of simulation of lateral root distributions of a Sugi tree are given with average root area ratios and average tensile strengths in situs per 1 cm width at 2·D intervals midway between two adjacent trees. Fig.9 and Fig.10 show that root areas and tensile strengths decrease remarkably as getting distant from the two adjacent trees, giving the lowest value at the middle of two trees. Fig.11 is the yearly change of the lowest values at the middle of two adjacent trees. Fig.12 shows the relationship between tensile strengths and lateral root ratios.

The lowest tensile strengths of lateral roots of a newly planted trees increase sharply with age until 20th year, while, after the age 20, the tensile strength becomes approximately constant. The writers presume that this is due to the constancy of L/D after the age 20. This coincides with the change of canopy leaves of Sugi trees which reach the maximum and complete canopy closure at the age of 20. The twenty years after logging is also the period of high susceptibility to debris slide occurrence as pointed out by various researchers. It seems to the writers that the middle of two adjacent tree, the lowest tensile strength point, gives the high possibility of breaking of sliding mass. Several researchers have been investigated root area ratios on the actual breaking profiles of debris slide scars. Nanba et al measured numbers and diameters of lateral roots on various vertical planes of debris slide scars in Sugi forest (Tukamoto and Kusakabe 1984). The writers estimated the root area ratio from their measurement and obtained 0.04 percent.

Burroughs and Thomas' result is 0.043 percent. In case of including fresh roots up to 3 inches, the ratio increases up to 0.174 percent (Gray and Megham 1981).



i) An example of Sugi trees.
Tree age: 30, Site: medium
Lateral root ratio :0.50



ii) Changes of the average cross sectional areas with lateral root ratios.
Tree age: 30, Site:medium

Fig.9 Average cross sectional area(cm^2) of lateral roots per 1cm width between two adjaent trees.

The writers presume that actual number of lateral roots affecting and resisting the sliding force should be twice of these values, since most lateral roots penetrating into the non-sliding mass from the sliding mass are pulled out of the non-sliding mass and finally become uncountable. According to the writers' model, 1.0 or 0.5 percent is obtained as root area ratio from Fig.9 when the depth of lateral root distribution is assumed as 50 cm or 100 cm, respectively. The model seems to give a little too large value, compared to the actually measured values. The writers presume that this large values are due partly to the model parameters which was obtained from densely populated plantation forests and partly to the intensification of error at lower cross sectional areas.

The constant tensile strength after the age 20 in plantation forest seems to be applicable to natural forest which is

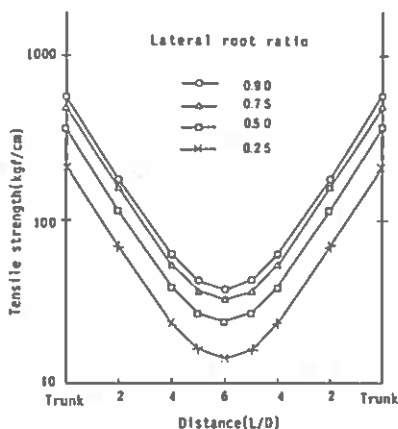


Fig.10 Average tensile strength(kgf) per 1cm width.
An example of Sugi tree.
Tree age:30,Site: medium
Lateral root ratio:0.5,Bifur-
cation ratio:average value

composed of trees of various magnitudes. As to the tensile strength of vertical roots on a assumed sliding plane, the writers presume that the constant tensile strength would be expected after some tree age, perhaps more elapsed age than 20. The writers' presumption is based on the same reason with the case of lateral roots. The older a tree become, the total cross sectional area of vertical roots of a tree become larger, but the root area ratio would not increase , since the number of vertical roots per unit area decreases with the decrease of tree density.

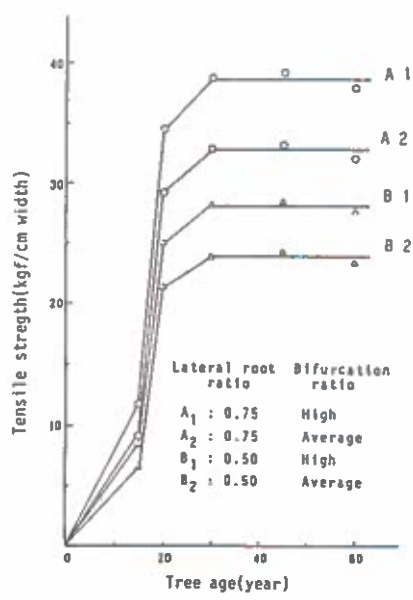


Fig.11 Change of tensile strength (in situs) at the middle of two adjacent trees per 1cm width with the age of Sugi forest.

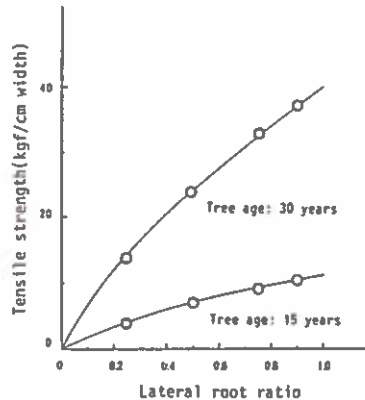


Fig.12 Change of tensile strength at the middle of two adjacent trees with lateral root ratios.

The writers discuss the effect of tree roots on slope stability by applying the above results to the aforementioned conceptual model. The effects of vertical roots is discussed basing on the writers' presumption. The factors that affect slope stability in the conceptual model are as follows. As to lateral roots, they are diameters of net ropes, magnitudes of net meshes and the number of layers of the nets. As to vertical roots, they are diameters of piles, number of piles and weight of a tree. In the discussion, C slope type is assumed and forest is divided into two stages, that is, growing stage of newly planted trees and decaying stage after cutting.

Growing stage

- 1) Age: less than 10
Lateral roots and vertical roots can not be discriminated.

The piles(vertical roots) and the nets (lateral roots) covering only around trees have no effect on slope stability.

2) Age: 10 to 20

As canopies getting closure, the nets begin to cover the whole slope surface and net ropes get larger. Piles seem to grow into the upper layer of the under lying transition zone.

3) Age: 20 to 30

The nets of adjacent trees overlap partly, reaching the maximum effect of the nets. The effect of piles starts to work actually.

4) Age: 30 to 50

The effect of the net covers would be the same with the previous ages. After these ages, the importance of surcharge, that is, the weight of trees, would increase as the concentrated stress on the piles.

5) Age: 50 to 80

The effect of net covers would rather decrease gradually. The growth of piles into the transition layer reaches the maximum, while the effect of surcharge on slope stability increases.

6) Age: Older than 80

As the distance of two adjacent trees get wider, the effect of nets midway between trees decreases. However, the stability around the stems increases by the weight of the stems.

Decaying stage

Logging of trees reduces the weight on the piles and increases the soil moisture by killing transpiration. Therefore, logging decreases the effect of piles and enhances the possibility of pore pressure increase. After cutting, tree roots begin to decay. The writers presume that the nets lose the effect first and the piles' decay follows. The tensile strengths decrease approximately linearly with the elapse of years. According to writers' estimation(Tukamoto and Kusakabe 1984), roots of Sugi tree loose their tensile strengths completely within 10 years after cutting.

REFERENCES

Gray D. H. and Megaham W. F.,1981: Forest Vegetation and slope stability in the Idaho Batholith. Intermountain Forest and Range Expt. Sta. Research Paper. No.271

Karizumi N.,1974: The mechanism and function of tree root in the process of forest Production I, Method of investigation and estimation of the root biomass. Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 259, pp.1-99.

Shinozaki, K., Yoda, K. Hozumi, K. and Kira, T.,1964: A quantitative analysis of plant form--the pipe model theory, I Basic analysis, Jap. J. Ecol. 14(3),pp97-105.

Tsukamoto,Y. and Kusakabe, O.,1984: Vegetative influences on debris slope occurrences on steep slopes in Japan. Proceedings of the Sympo. on the Effect of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability. Hawaii. USA.

EXPERIMENTAL STUDY ON
BIOTECHNICAL SLOPE STABILITY
BY PLANT ROOT SYSTEMS

Masanori SUYAMA

Chief of Erosion Control Laboratory
Forestry and Forest Products Research Institute
Tsukuba Science City, Japan

SUMMARY

Recently in Japan, investigators have recognized the correlation between timber cutting and increased frequency of landslides with time after logging. In order to find out of mechanism on biotechnical slope stability by plant root systems, the tensile strength of individual tree roots was tested with a modified root specimen. Because the tensile strength of roots may be closely related to the root diameter and even to the tree species, the variety of tensile strength of roots between several species was discussed by comparison for hillside revegetation works. On the other hand, the mechanical behavior i.e., the characteristics of load-extension curves of root specimen and the root morphology were also discussed.

Additional key words: Modified root specimen, Tensile strength of individual root, Mechanical behavior of root, Classification of root types, Hillside revegetation works.

INTRODUCTION

Comparatively shallow, rapid soil mass movements, here called landslides, are common events and primary sources of sediment in steep terrain of mountainous district in Japan. The significant cause of accelerated landslide is generally increase roadbuilding, though clearcutting and slashburning can also increase landslide incidence. That is to say,

vegetation helps stabilize forested slopes by providing root strength. When trees are cut, the root system begins to decay, and the soil-root fabric progressively weakens. The loss of root strength after tree removal can lower the slope safety factor sufficiently that a storm can result in slope failure.

Landslide frequency can increase after trees are removed from forested slopes (Kawaguchi and Namba, 1956; Swanson and Dyrness, 1975). Vegetation can modify slope stability by mechanically reinforcing slopes through plant roots, adding slope surcharge from the weight of trees, and levering and wedging soil by roots (Gray, 1970). The first factor increases stability of slopes, the second may increase, decrease, or have no influence on stability, and the third decreases stability.

Plant roots can anchor through the soil mass into cracks in bedrock, can cross zones of weakness to more stable soil, and can provide interlocking long fibrous binders with a weak soil mass. In deep soil, anchoring to bedrock becomes negligible and the other two conditions predominate. The reinforcement effect of plant roots intermixed with soil resembles soil cohesion (Endo and Tsuruta, 1969). The role of plant roots in the calculation of soil strength can be expressed as:

$$S = (C + r) + W \cos \alpha \tan \phi \text{ -----(1)}$$

where r is the relative root reinforcement or apparent cohesion due to roots.

The strength of forest soil is difficult to measure directly. Evaluating the effect of roots on soil strength increases that difficulty. The weight of small alder (*Alnus glutinosa*) roots in a study in Japan explained 53 per cent of the variation in measured soil strength (Endo and Tsuruta, 1969). The contribution to soil strength by roots of a mixed old-growth forest of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), Western redcedar (*Thuja plicata*), and Western hemlock (*Tsuga heterophylla*) growing on glacial till subsoils was studied in British Columbia (O'Loughlin, 1972).

Individual roots become stronger as they become larger. The logarithm of root shear strength is closely related to that of the root diameter (Ziemer and Swanson, 1977). The strength of roots also varies between species. Small Douglas-fir roots were, for example, about 10 per cent stronger than Western redcedar roots (O'Loughlin, 1972). Poplar roots were strongest, followed by Birch (*Betula pendula*), Oak (*Quercus robur*), Linden (*Tilia cordata*), and Spruce (*Picea abies*) (Turmanina, 1965).

In this paper, a modified tapering root specimen for tensile testing was proposed, the tensile strength of roots was dynamically examined, and the variety of the tensile strength between species was comparatively discussed for hill-side revegetation work.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Root Morphology and Test Species

The root system of woody plants, trees, and shrubs usually consists of both a lateral root system and a central, vertical root system. Secondary vertical or near-vertical roots called sinkers may also grow down from the laterals. Although the lateral roots play a role in binding the soil on a slope together in a unitary mass, the main resistance to sliding on hillslopes is provided by vertical roots. Some tree species are predisposed by heredity toward development of deep, central taproots; others are not. This development can be affected by environmental factors, as noted. Tree such as Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) tend to have extensive lateral and vertical root system development.

On the other hand, the development and structure of root system are controlled in general by their genetic character as well as by the rooting environment. The importance of hereditary factors in controlling root development can be seen where a number of species grow side by side in the same soil. Some species develop taproot systems, whereas others develop fibrous root masses.

The depth and extent of branching of roots are important in choosing plants for soil stabilization and watershed cover. According to the root reinforcement model examined in the previous section, soil rooting strength is favored by a high concentration of long, flexible roots per unit volume of soil and a relatively high tensile strength in the roots. Deep-rooted species are preferable for stabilizing soil and increasing resistance to sliding on slopes.

For tensile test in this study, we selected the species of Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* Parl.) as vertical roots type in Phot. 1, Zelkova tree (*Zelkova serrata* Makino) and Cherry apple (*Malus Sieboldii* Rehd.) as lateral roots type in Phot. 2, Bastard indigo (*Amorpha fruticosa* L.), Beech (*Fagus crenata* Blume), and Japanese cherry (*Prunus donarium* Sieb.) as radiant roots type in Phot. 3, respectively. These species grow side by side at flat area, in the same silty clay loam soil of Chiyoda Experimental Site, Forestry and Forest Products Research Institute, in Japan. The species of Japanese cherry is four years old and the others are all six years old.

Tensile Test Specimen and Procedure

The tensile strength of plant roots is difficult to measure directly. Hitherto, the tentative method of test for tensile strength of tree roots has been made, according to the testing methods for tensile strength of fibres (JIS-L1069), spun yarns (JIS-L1070), wooden materials (JIS-Z2112), and metallic materials (JIS-Z2241). But, in any testing methods, the grips of root specimen are often crushed or broken away

when the load is increased, before tension fracturing. In order to avoid such trouble at grips, the modified tapering root specimen was proposed. This kind of specimen was cut from the roots in rough form, the outer bark of root was peeled off, and final machining was accomplished to obtain the shape as shown in Fig. 1.

The actual measurements of diameters were taken at three locations, i.e., at the midsection of tapering portion(D) and at both grip-end parts(D_1, D_2) of specimen. When it has been established that a specimen size is substantially less than the minimum recommended diameter and length, then a correspondingly smaller specimen can be used. On the other hand, if the form of the available root material is such that it is not possible to obtain a specimen with both diameter(D) and length(L) greater than 5 mm, 15 cm respectively, then it is not possible to make a standard specimen according to this recommended method.

The biaxial tensile load was applied through and along the center of specimen by universal Instron type testing machine (Shimazu REH-30). Load histories against specimen displacement were recorded autographically.

The specimens were loaded at the second day after they were dug out of the ground. The rate of loading for all specimens was approximately 60 kg/min., until fracture initiated.

EXPERIMENTAL RESULTS

Figure 2 shows scatter diagrams of maximum load(P) on diameter (D) of root specimen for live Japanese Black Pine. Modified specimen's data show much less scatter than non-modified specimen's data developed during this study.

Our selected straight, uniform sections of roots for our laboratory tests, which reduces the variance of the test results. In the present study, all roots were tested regardless of crooks, resinous portions, or advanced decay. This increases the variance of the results, but it also gives an estimate of the variation that may be expected in the natural populations.

The typical Load-Displacement(Extension)curves are shown in Fig. 3. These types of curves indicate the condition of grips and fixtures for tensile test. Especially, the type IV means that the gripends of root specimen are crushed or broken away when the load is increased. The maximum load for calculating tensile strength is completely allowable in case of the type I, acceptable in case of the type II and III, and not acceptable in case of the type IV.

Figure 4 shows the exponential regression curves of extension ratio (d) on diameter (D) of root specimen for the tree species of Zelkova Tree, Cherry Apple, Beech, and Bastard

Indigo. The exponential regression equation can be expressed as:

$$\delta = a \cdot D^b \text{ ----- (2)}$$

where a and b are constants to be evaluated, δ is extension ratio, and D is root diameter(inside bark)at the midsection of tapering portion.

The tensile strength(Maximum load,P) of roots was plotted against the diameter(inside bark) D, for the tree species of Zelkova Tree, Cherry Apple, Japanese Cherry, and Bastard Indigo, shown in Fig. 5, and these results showed distinct differences of tensile strength for the four species. The exponential regression equation can be also expressed as:

$$P = \alpha \cdot D^\beta \text{ ----- (3)}$$

where α and β are constants to be evaluated, P is maximum load, and D is the root diameter ditto.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

The slope stability problems will likely develop after timber cutting on steep slopes where most of the soil strength is provided by the binding action of roots. As roots decay after clearcutting, it is well known that the value for their relative reinforcement (r in Eq. 1) declines. On the other hand, the tensile strength of individual roots has not been almost investigated. Figure 6 shows O'Loughlin's plotted data (1974) for live Coast Douglas-fir roots, with the predicted curve from Burroughs's study (1977) superimposed. This predicted curve is useful to estimate the root strength, but the limit of application must not be enough wide, according to the difference of specimen size and tree species.

From the author's experimental data by individual root tensile test, we found that the regression equation was nonlinear for each species with a function of root diameter. In this study, we investigated the problem that whether the effects of the tree species upon the tensile strength can be explained or not from the viewpoint of strength of materials. Figure 5 shows the test results for the specimens with geometrical similarity of different species. In this figure, the tensile strength curve calculated by using the modified specimen for each tree species is illustrated, and it can be seen that the calculated curve agrees well with the experimental results.

On the other hand, the condition of tensile test can be observed, according to the type of "Load-Extension" curves.

Thus, it is concluded that the individual root tensile strength for the various size and species can be predicted by using the new modified root specimen.

LITERATURE CITED

- Kawaguchi, T., Watanabe, R. and Takiguchi, K., 1951: A study of landslides on Mt. Akagi. Bull. of the Gov. For. Exp. Sta., Rept. 49. Meguro, Tokyo, Japan.
- Schiechtel, H.M., 1958: Grundlagen der Grunverbauung. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn, 273pp.
- Turmanina, V.I., 1965: The strength of tree roots. Bull. Moscow Soc. Naturalists, vol. 70, no. 5, p.36-45.
- Endo, T. and Tsuruta, T., 1969: The effect of the tree's roots upon the shear strength of soil. 1968 Annual Report, Hokkaido Branch, Gov. For. Exp. Sta., Japan, p.167-182.
- Swanston, D.N., 1969: Mass wasting in coastal Alaska. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Paper PNW-83. Juneau, AK, USA.
- Gray, D.H., 1970: Effects of forest clear-cutting on the stability of natural slopes. Bull. of the Assoc. of Engineering Geologists, vol. VII, nos. 1 and 2, p.45-66.
- O'Loughlin, C.L., 1972: An investigation of the stability of the steepland forest soils in the Coast Mountains, southwest British Columbia. Ph. doctor dissertation, University of British Columbia. Vancouver, B.C., Canada.
- O'Loughlin, C.L., 1974: The effect of timber removal on the stability of forest soils. Jour. Hydrol. (N.Z.), vol. 13, no. 2, p.121-134.
- O'Loughlin, C.L., 1974: A study of tree root strength deterioration following clearfelling, Can. J. For. Res., no. 4, p.107-113.
- Swanson, F.J. and Dyrness, C.T., 1975: Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. Geology, vol. 3, no. 7, p.393-396.
- Burroughs, E.R. and Thomas, B.R., 1977: Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Paper INT-190., Ogden, UT, USA.
- Ziemer, R.R. and Swanston, D.N., 1977: Root strength changes after logging in southeast Alaska. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Note PNW-306. Portland, OR, USA.
- Gray, D.H. and Megahan, W.F., 1981: Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho batholith. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Paper INT-271, p.1-23.
- Gray, D.H. and Leiser, A.T., 1982: Biotechnical slope protection and erosion control. 271pp., Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Gray, D.H. and Ohashi H., 1983: Mechanics of fiber reinforcement in sand. J. Geotech. Eng. Div., ASCE 109(3), p.335-353.
- Suyama M. and Hara, T., 1985: Biotechnical slope stability by root systems(I)-Tensile strength testing of tree roots for slope stability. Trans. 96th. Annual Meeting of the Japan Forest Society, p.643-644.
- Suyama, M. and Hara, T., 1986: Biotechnical slope stability by root systems(II)-Effect of specimen holder stiffness on the tensile strength of tree roots-. Proc. 37th. Annual Meeting of Kanto Branch of the Japanese For. Soc. p.213-214.

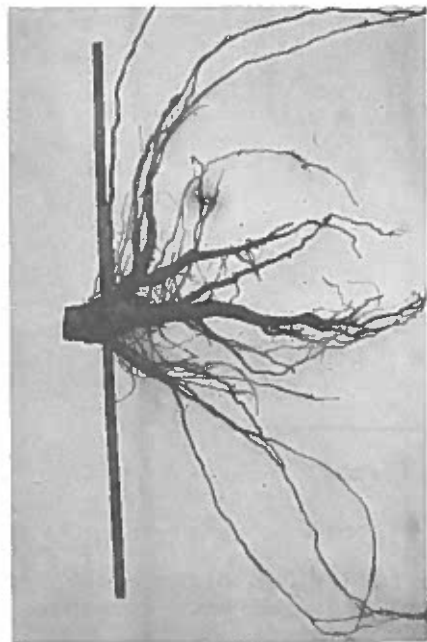


Photo. 1. Vertical Roots Type (Black Pine).



Photo. 2. Lateral Roots Type (Cherry Apple).

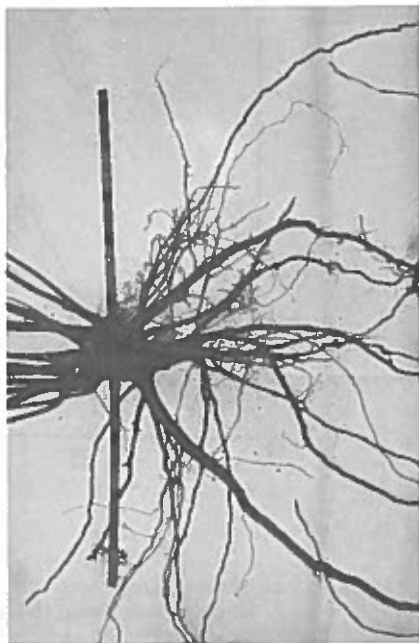


Photo. 3. Radiant Roots Type (Bastard Indigo).

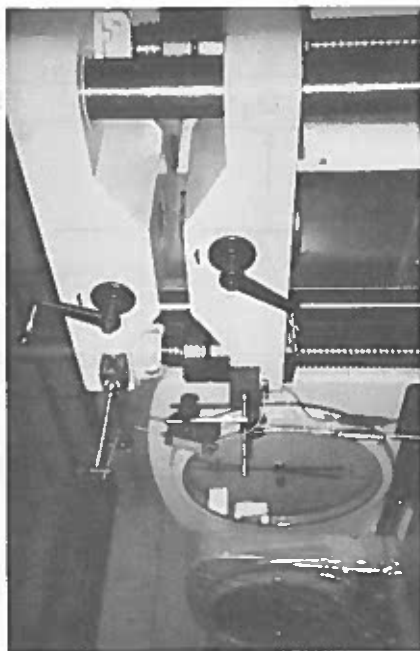


Photo. 4. Tensile Testing Machine (REH-30)

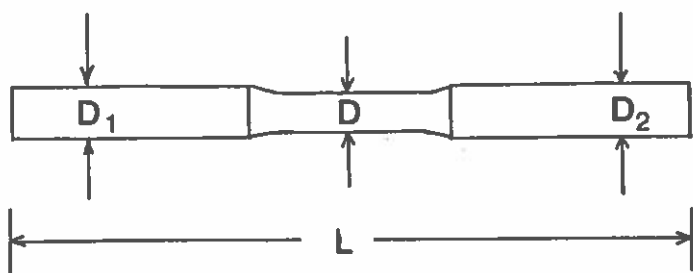


Fig. 1. Modified Tapering Root Specimen.

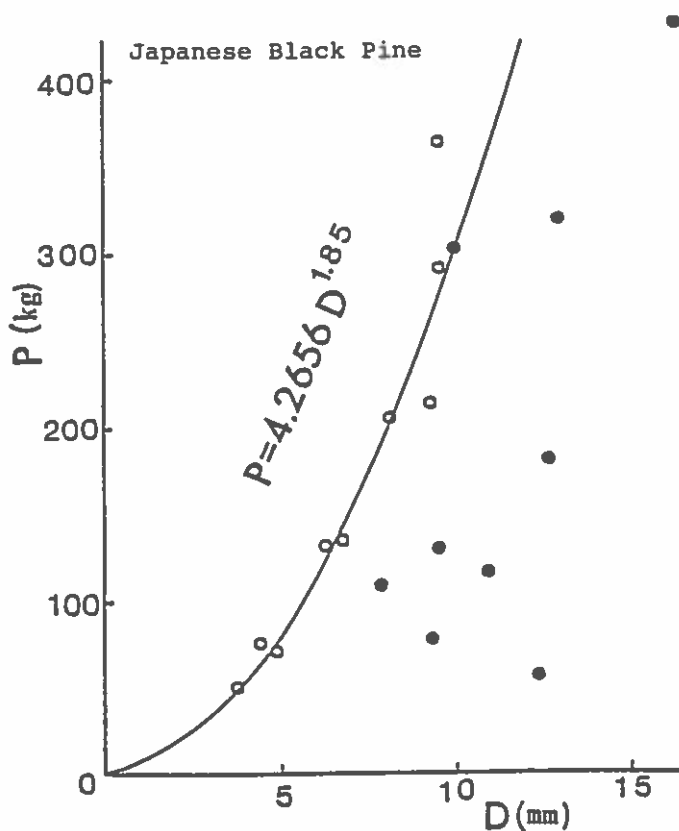


Fig.2. Scatter Diagrams of Maximum Load(P) on Diameter(D) of Root Specimen(White-spots: Modified Root Specimen, Black-spots: Natural Root Specimen).

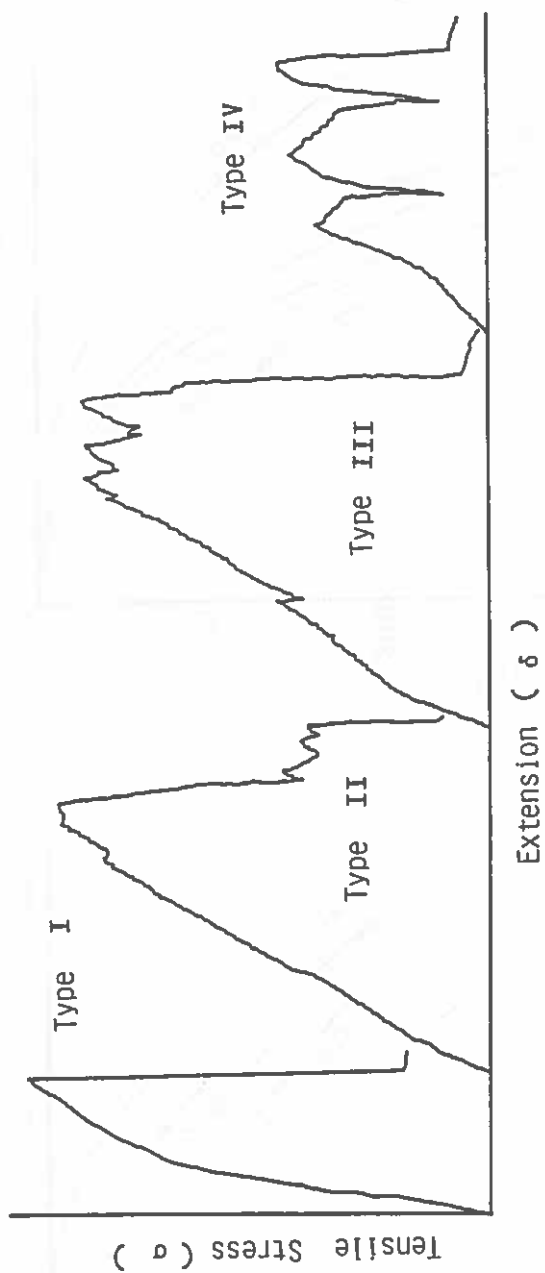


Fig. 3. Typical Load (P) - Displacement (Extension, δ) Curves.

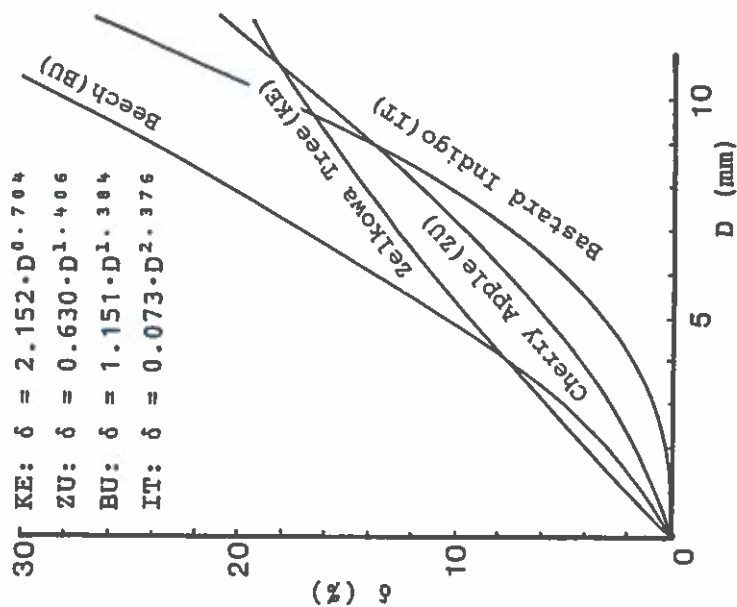


Fig. 4. Exponential Regression Curves of Extension Ratio(δ) on Diameter(D) of Root Specimen.

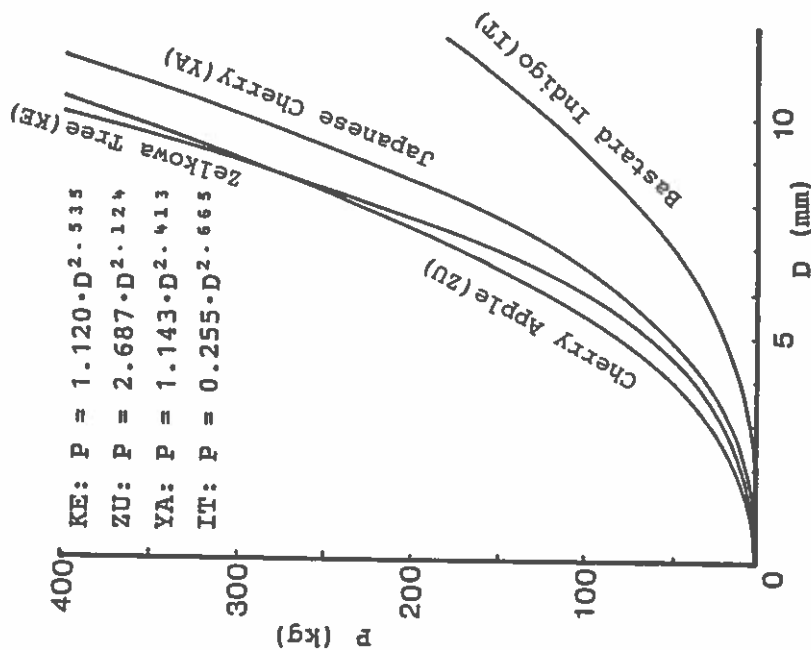


Fig. 5. Exponential Regression Curves of Maximum Load(P) on Diameter(D) of Root Specimen.

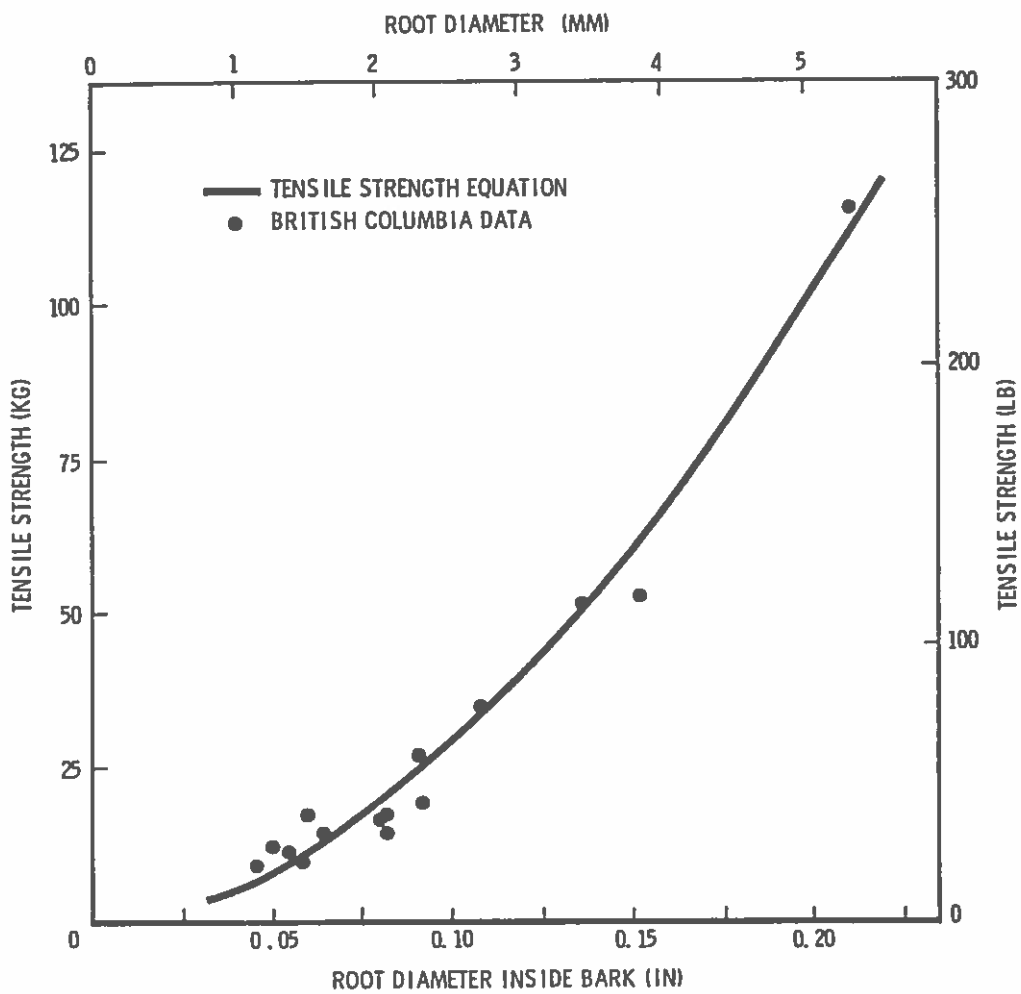


Fig.6. Application of the tensile strength equation to British Columbia data for live roots (Burroughs & Thomas, 1977).

FRACTURE TOUGHNESS TEST
OF WOODEN MATERIALS
FOR EROSION CONTROL

Masanori SUYAMA

Chief of Erosion Control Laboratory
Forestry & Forest Products Research Institute
Tsukuba Science City, Japan

SUMMARY

There is almost no example that have applied fracture mechanics to the analysis of strength of wooden materials. Therefore, we make firstly use of a fracture mechanics parameter such as stress intensity factor(K), instead of a nominal stress, as a standard for deciding the fracture strength of wooden materials with flaws in it. The results of fracture toughness test of cracked Japanese Red Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) wood, showing a mechanical behavior of comparative brittle material, are discussed for deciding the fracture strength of wooden materials.

Key words: Fracture mechanics, Stress intensity factor, Cracked specimen, Wooden materials, Japanese Red Pine tree.

INTRODUCTION

Wooden materials can be classified as a heterogeneous material containing many inherent flaws such as wood rays, growth rings, knots and microcracks. Due to such characteristics, the failure of wood is a kind of fracture due to cracking, following a complex process. Consequently, it seems to be necessary that the strength of wood should be discussed not only from the standpoints of non-cracked body, but also from that of cracked body. At present, it is widely recognized that fracture mechanics is the most useful approach for evaluating

the mechanical properties of cracked materials. Fracture mechanics is a theory of engineering methods for the safe use of a material or a structure, in which cracks or crack-like flaws are expected to exist or originate and concerning this method, the theoretical bases have already been proposed.

Several applications of fracture mechanics have been made to cracked specimens of cement concrete materials as brittle materials. However, there is almost no example that have applied fracture mechanics to the analysis of strength of wooden materials.

In this paper, we make use of a fracture mechanics parameter such as stress intensity factor(K), instead of a nominal stress, as a standard for deciding the fracture strength of wooden materials with flaws in it. By the use of such parameter, the strength of simple-shaped specimen will be successfully applied to the prediction of the strength of actual complex full-sized structures. The results of fracture toughness test of cracked Japanese Red Pine wood (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), showing a mechanical behavior of comparative brittle material, are discussed for deciding the fracture strength of wooden materials.

FRACTURE TOUGHNESS TESTS OF WOODEN MATERIALS

The method of testing the fracture toughness for a heterogeneous brittle material such as Pinaceae wood is not established as yet. The fracture toughness of metallic materials is generally determined by use of "Standard Method of Test for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials" specified by ASTM committee. Referring to this method of test, which was not yet applied in the past investigations, we carried out the fracture toughness tests on single-edge notched wooden beam by concentrated flexural loading at midspan and investigated the size effect of specimens on fracture strength of such materials. In this tests, a machine notch was made instead of the specified notch with a fatigue crack ahead of its tip.

Type and Size of Wood Specimens

In order to determine whether a result is valid or not, it is required in the ASTM method that both the specimen thickness (B), and the crack length (a), exceed $2.5(K_{IC}/\sigma_{YS})^2$, where σ_{YS} is the yield strength of the material and K_{IC} is its plane-strain fracture toughness. As the geometry of standard specimens, it is recommended that the crack length (a), is equal to thickness (B), and they are also 0.45 to 0.55 times the depth (W).

For the fracture toughness tests of wooden materials, we used the two types of flexural specimens, that is, the standard specimens in accordance with relevant ASTM methods, and the alternative specimens, as shown in Table 1. The geometry of standard flexural specimens was $B/W = 0.5$, $a/W = 0, 0.1, 0.3$, and 0.5 for $W = 8$ cm. The geometry of alternative bend (flexural) specimens was also $a = B = 0.5 W$ for $W = 6$ and 4 cm, respectively. The span length(S) was $4 W$ for all specimens.

An artificial flaw was cut at the center of the tensile surface of the specimens, as shown in Fig. 1. The flaw was formed by sawing machine with a thickness of 1.0 mm.

Variation in the nominal dimensions occurred during fabrication, and actual dimensions of the specimens were measured after testing.

Test Procedures

Every beam was loaded at the center of the span as shown in Fig. 1. The load was increased up to fracture. The span length was measured within the accuracy of 0.5 percent of nominal length. The midspan loading point by steel roll is set up so that the center axis of the notch fits the center axis of the loading roll within the 0.5 percent accuracy to the span length. The roll diameters were selected as 10 mm for span length of 16 cm, and as 20 mm for other span lengths. The rate of loading for all beams was approximately 16 kg per min., until fracture initiated.

Crack opening displacement along with the crack tip deformation and crack propagation were measured. Such measurements may be peculiar to the fracture toughness tests. That is, the crack opening displacement gage for measuring the crack opening width were located across the both sides of the crack notch, and the attachable knife edges were placed by epoxy resin adhesive, on which the displacement gage was seated so as to be released without damage even when the specimen breaks.

An Instron type testing machine was used for bending tests. Load histories against crack opening displacements were recorded autographically.

TEST RESULTS AND CALCULATION OF "K"

The K value of a central notched beam under concentrated loading at midspan (three-points bending) is evaluated from

$$K = Y \frac{6 M \sqrt{a}}{B W^2} \quad (1)$$

where

$$Y = 1.93 - 3.07(a/W) + 14.53(a/W)^2 - 25.11(a/W)^3 + 25.80(a/W)^4$$

and

a = artificial flaw depth in cm

W = depth of specimen in cm

M = applied bending moment at the cracked portion in kg·cm

B = thickness of specimen in cm

Y = dimensionless correction factor determined as a function of a/W

The value K is a function of applied load as well as geometry of the specimen.

Continuous recording of load (P), and crack opening displacement (δ), relation was made in each test. The displacement response against the applied load were plotted by x-y recorder, up to the final fracture of the specimen. Typical load-crack opening displacement curves for wood are shown in Fig. 2. As it may be clear from the figure, we can consider the maximum load (P_M), as the load (P_F), in correspondence to K_Q for convenience. Thus in this paper, the critical stress intensity factor (fracture toughness) K_{IF} can be calculated by substituting $M = M_F$ (the moment corresponding to P_F) into Eq. (1).

Maximum load (P_M) obtained for wooden specimens are plotted in Fig. 3, against the ratio of flaw depth (a), to specimen depth (W). The fracturing loads correspond approximately to the beginning of unstable crack propagation; i.e. the beginning of final fracturing.

The fracture toughness (K_{IF}) values obtained from tests on beams of the same size under the same loading condition have been compared in terms of a/W ratios. The results are shown in Fig. 3, for series No.84 of Japanese Red Pine.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Valid fracture toughness is a material property determined by evaluating the stress intensity factor at the onset of rapid unstable crack propagation. When Japanese Red Pine wood is analyzed as a homogeneous material, the fracture toughness (K_{IF}), for such materials is determined, being based on the assumption that the flaw depth at fracture is equal to the flaw depth of the sawing machine notch.

The horizontal line in Fig. 3 represents the mean value of fracture toughness was $354 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-3/2}$.

From the experimental data, we found that the stress intensity factor at fracture seems to be approximately constant in spite of the remarkable differences of crack length and size in the specimens, and as a result, it is noticeably excellent as the practical parameter evaluating the strength of cracked materials as compared with the ordinary ultimate (final fracture) load, even for wooden materials.

On the other hand, it is well-known that the fracture strength is affected significantly on size of specimen. In this study, we investigated the problem that whether the effects of the size of specimen upon the fracture strength can be explained or not from the viewpoint of fracture mechanics. Fig. 4 shows the test results for the three similar specimens of different sizes. In the figure, the fracture load curve calculated by using the constant value, $K_{IF} = 354 \text{ kg.cm}^{-3/2}$ for various sizes of the specimen is also illustrated. From the figure, it can be seen that the calculated curve agrees well with the experimental results.

Thus, it is concluded that the breaking strength including the size effect can be predicted by using the maximum fracture toughness for wooden materials.

LITERATURE CITED

- ASTM Committee, 1974: ASTM Standard, E 399 - 74.
Kaplan, M.F., 1961: ACI Journal No.58 - 28, p.591.
Kitagawa, H., 1972: Science of Machine, vol.24, No.11, P.17.
Kitagawa, H. and Suyama, M., 1975: Preprint of the 2nd annual meeting in Kanto Branch, JSCE, P.373.
Suyama, M., Kim, S.C. and Kitagawa, H., 1976: Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanical Behavior of Materials, P.1300.
Naus, D.J. and Lott, J.L., 1961: ACI Journal No.66 - 39, P.481.
Paris, P.C. and Sih, G.C., 1964: ASTM STP No.381, P.30.

Table 1. Type and Size of Bend Specimen(Unit:cm).

Specimen Type	Remarks	a/W	Crack Length (a)	Specimen		
				Depth (W)	Thickness (B)	Span Length (S)
Standard Specimen	425	0.5	2.0	4.0	2.0	32.0
	635	0.5	3.0	6.0	3.0	24.0
	845	0.5	4.0	8.0	4.0	32.0
Alternative Specimen	843	0.3	2.4	8.0	4.0	32.0
	841	0.1	0.8	8.0	4.0	32.0
	840	-	0	8.0	4.0	32.0

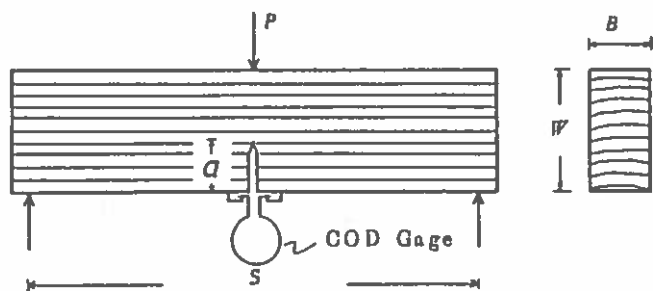


Fig. 1. Three-Point-Bend Specimen With COD-Gage.

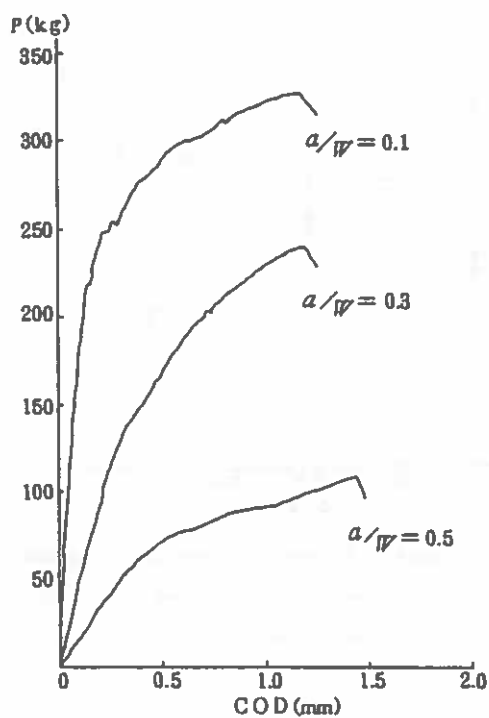


Fig. 2. Typical load - COD Curves for Japanese Red Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.).

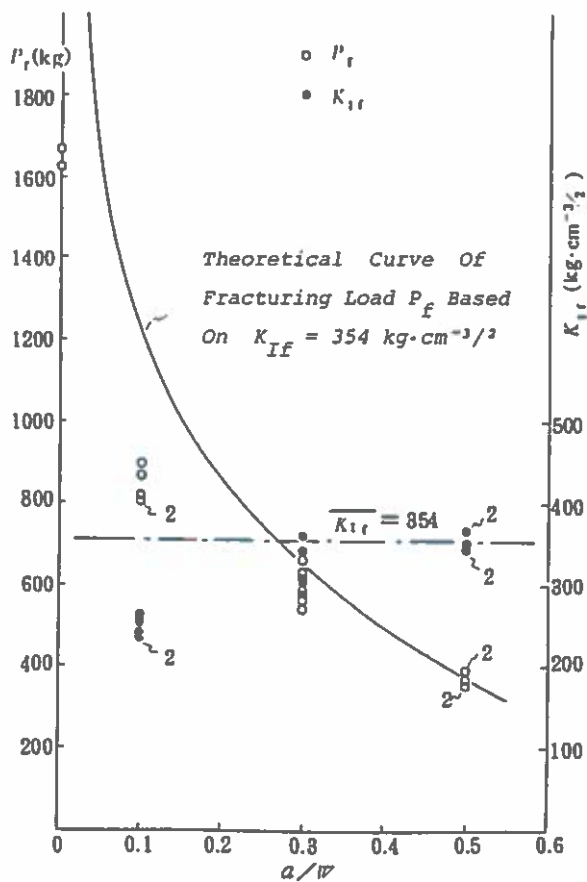


Fig. 3. Maximum Load & Effective Fracture Toughness vs a/w Relations for the Series - 84 of Japanese Red Pine Trees.

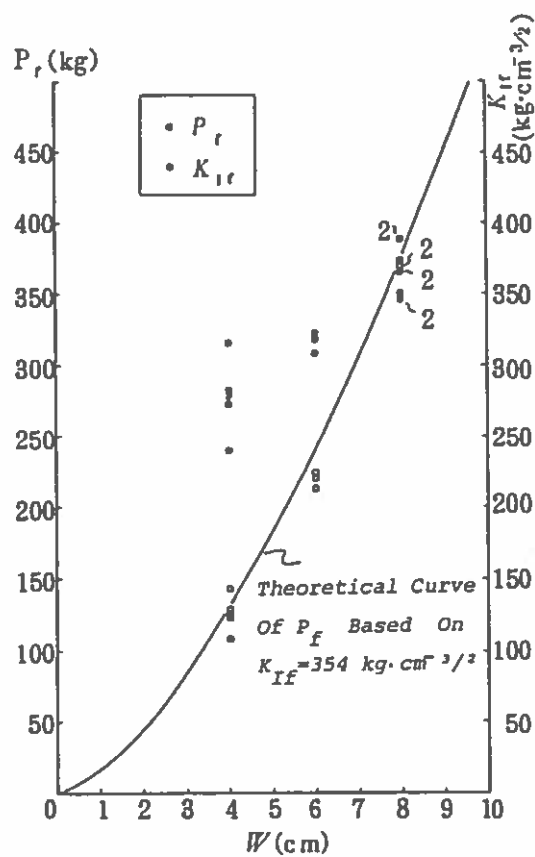


Fig. 4. Comparison of Theoretical & Experimental Values of Fracturing Load Based on $K_{If} = 354$ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-3/2}$).

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE FENCE EFFECTS OF PROTECTION FOREST ON THE INTERCEPTION OF SHALLOW MASS MOVEMENT

Hiroshi Omura, Youichi Marumo

Dept. of Forestry, Fac. of Agriculture, Shizuoka University,
Shizuoka, Japan

SUMMARY

Experiments were carried out to find out the fundamental relations between forest structure and its fence effect against shallow mass movement by model slope system of 160 cm long, 120 cm wide, and 35°. The array of pegs, whose stand density were controlled, was set at the area of 80 cm long by 40 cm wide on the foot slope. The peg as simulated tree trunk was 9 cm height of 1 cm diameter. Air dry coarse sand or gravel was flowed on the slope. After the initiated shallow mass movement collided with pegs, that trapped by them was weighed. Analysis of the results yielded the following relations.

$$S/M = \frac{100}{1 + a \text{Exp}(-bD/I)} , \quad v/v_0 = \text{Exp}(-cD/I)$$

S/M : weight ratio of trapped deposit to initial input

D/I : ratio of pegs diameter to space between them

v/v₀ : velocity ratio of major deposit to that where
there is no pegs

a, b, c: coefficients depend on the character of particles

These relations indicate that a forest composed of trees with large basal diameter at a high stand density is most effective in preventing area from shallow mass movement through the dissipation of kinetic energy and diffusion by collision with tree.

key words : protection forest, shallow mass movement

INTRODUCTION

It is generally said that forest has the ability to prevent shallow mass movement on hill slopes. But a reliable method to estimate the effects quantitatively has not yet been formulated. In order to plant forests able to prevent shallow landslides that often lead to debris flow, the fundamental relations between the stand density of forest and its effects must be better understood. The senior author has demonstrated the "fence effect" of forest against rapid shallow mass movement through a series of experiments (Omura, 1985). The results suggest that it is

easy to stop the mass movement at the initial stage when it begin to move slowly. The purpose of this paper is to find out the relation between stand density and its interception of the shallow mass movement. Based upon this relation, the effects of stand density for the protection forest is then discussed.

MATERIAL AND EXPERIMENTAL SLOPE

Because in the field many complicated factors obscure the fundamental relations, the artificial slope whose features can be controlled individually was used for the experiments. Slope system was composed of a main slope, cylindrical pegs as simulated trees trunk and shot box as shown in Fig-1. A main slope was 160 cm long, 120 cm wide and set at angle of 35° , and made of ply board whose surface was uniformly coated with coarse sand.

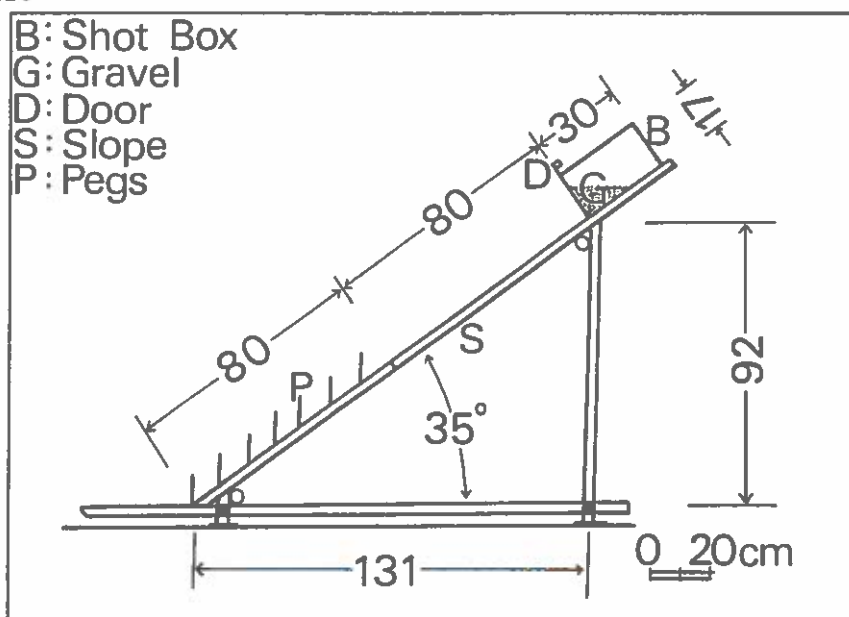


Fig-1 Model experimental slope

The array of cylindrical pegs was set at in the area of 80 cm long by 40 cm wide at the foot of slope. The diameter and height were 1 cm and 9 cm respectively. As to standing density of the forest, spacing between pegs was controlled as listed in Table-1, where the symbol ∞ indicates the absence of any pegs on the slope.

Table-1 Tree trunks simulated as forest zone

Number in 80x40 cm ²	286	189	90	45	21	0
Spacing I cm	2.5	3.5	5.5	8.5	12.5	∞

At the top that was 80 cm distance from the upper margin of simulated forest zone, the shot box was set whose dimension was 30 cm long, 10 cm wide and 17 cm depth. The air dry sand or

gravel of 1870 gr in weight was pored into the shot box, where the appearance density of material was 1.70 gr/cm^3 . Physical properties of coarse sand and gravel used in the experiments are also listed in Table-2.

Table-2 Physical properties of particles used

Grade	Diameter d, mm	Coefficient of Friction		Symbol in Figures
		Static	Dynamic	
Sand	0.85 - 1.20	0.636	0.411	○
Gravel	2.00 - 5.00	0.502	0.293	●

The coefficient of friction of particles used was measured by the direct shear test and Eulers method. After filling material, the door of shot box was opened. The mass of particles then begun to move down on the slope. Though a part of them flowed out from forest zone of pegs, the rest was arrested in the forest and its upper side. The transfer distance from door of shot box to toe of major deposit piled up in the array of pegs was measured by tape. Also needed time to transfer such distance was measured by stop watch and 8 mm movie firm. After the width and depth of major deposit were measured, the weight of deposit held back was recorded. Each test was duplicated.

RESULTS AND DISCUSSION

By opening the door of shot box, the shallow massmovement was initiated. Though jumping or passing particles flowed out from forest zone, some proportion of the mass movement was retained in the forest zone by the fence effect of pegs. The state of deposit retained depends on stan density of pegs. Fig-2 shows the example of deposit form where there are 275 pegs in "forest".

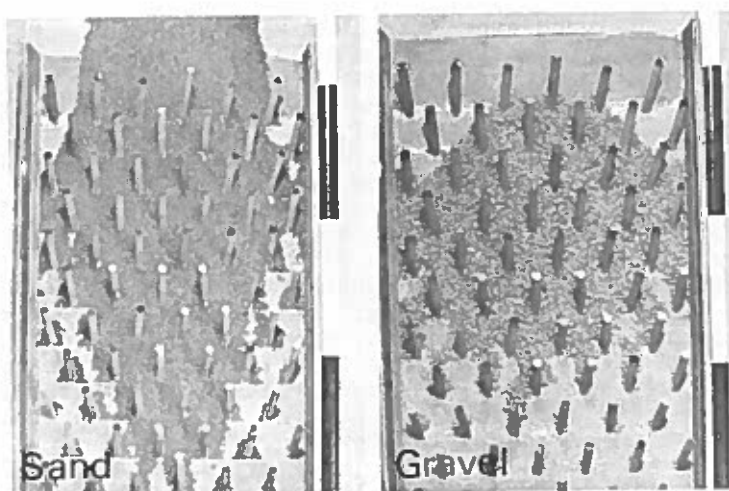


Fig-2 Deposit form piled up in the array of 275 pegs

The pattern of trapped deposit is divided 5 zones according to the form piled as follows.

1. At the foot of slope, the trapped deposit behind each peg showed the form like oblique triangular cone. The weight of deposit trapped by single tree has already studied (Omura,1982).
2. At the relatively upper site of foot slope, the ridge of cone extended upward became longer. This is shifting stage from above mentioned 1 to following 3.
3. On the lower site of array of pegs, the long cones that connected with each other made arch bridges, that were also located at the toe of major deposit. The process of making arch bridges has been related (Omura et al,1984).
4. In the half way of array of pegs, the major deposit mass piled up. The shape looked like a tongue whose middle part was the thickest. Mainly the state of major deposit part is discussed.
5. At the upper site from the margin of pegs to shot box, sand particles left the scar of flow passing down like as a road.

The features and location of these zones are different, that depends on stand density of pegs and character of particles in shallow mass movement as shown in Fig-2. In comparison with left and right photographs, for example, the front of gravel deposit dropped down from half way of sand deposit.

The data on transfer distance, velocity, width, and depth of major deposit piled up where there is the array of pegs are given in the ratio to those where there is no peg as the basis for comparison of the fence effect by stand density. In other words, non-dimension quantities such as l/l_0 , v/v_0 , w/w_0 , and d/d_0 respectively used for analysis of results and figures. As can be seen in them, the main factor that controls their results is the ratio of pegs diameter D to space I between neighbouring pegs. D/I means the degree of interception by pegs to free space for particles moving.

Fig-3 shows the transfer distance ratio l/l_0 decreases with degree of interception D/I . The results indicate fence effect of the array of pegs as simulated forest zone that stand in the way of shallow mass movement obstructs trespass into level area where should be protected. In other words, the area where didn't allow to invade increases exponentially with D/I . As mentioned, since the front of gravel deposit dropped down to level area from outside of slope, appearance ratio of transfer results in lower than that of sand deposit.

When particles that have come down collide with the pegs, they lost their kinetic energy of inertia and are forced to change their moving direction because of non perfect elasticity of peg. If standing density of pegs in the array is higher, because there are the more chances of collision, it is easy for particles to decrease velocity and change direction. A collision of particle with peg generates next collision with another particle by disturbance in mass movement. After all of chain reactions, they are diffused, scattered in lateral side ways and piled up.

Fig-4, Fig-5 and Fig-6 show such results. Fig-4 shows velocity of major mass decreases with degree of interception. The curve may be given in the next equation,

$$v/v_0 = \text{Exp}(-cD/I), \quad v = l/t \quad \text{---1}$$

l : distance from upper margin of forest zone
to toe of major deposit

t : needed time to transfer such distance

c : coefficient of character of particle

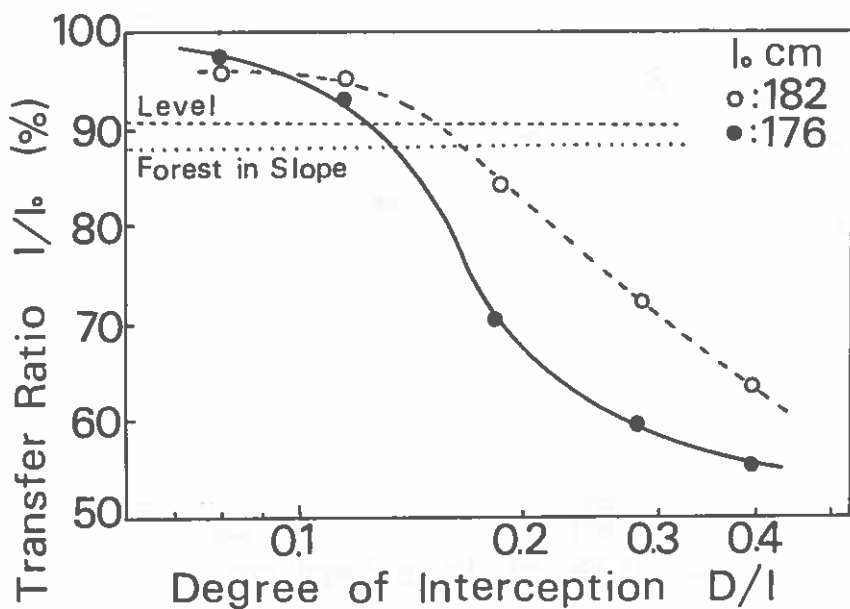


Fig-3 Relation between degree of interception and transfer distance ratio

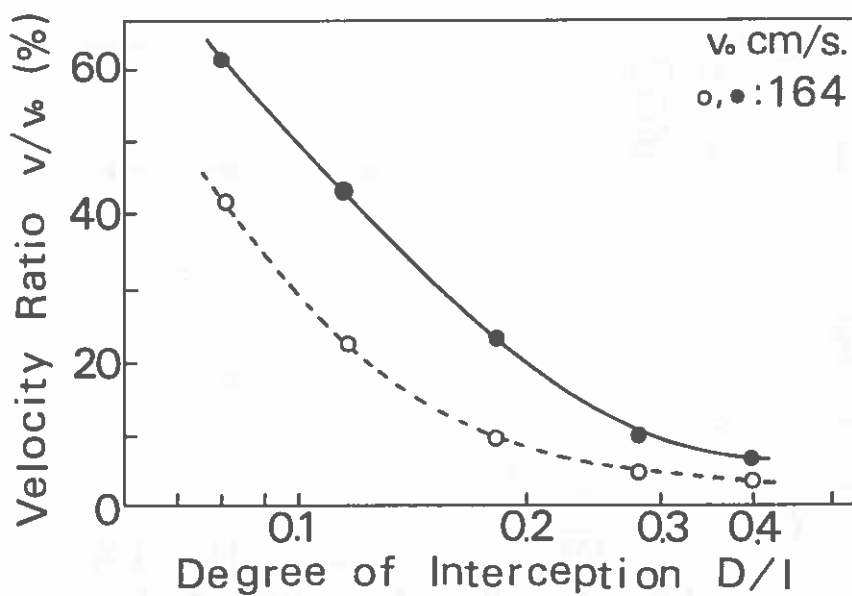


Fig-4 Relation between degree of interception and velocity ratio

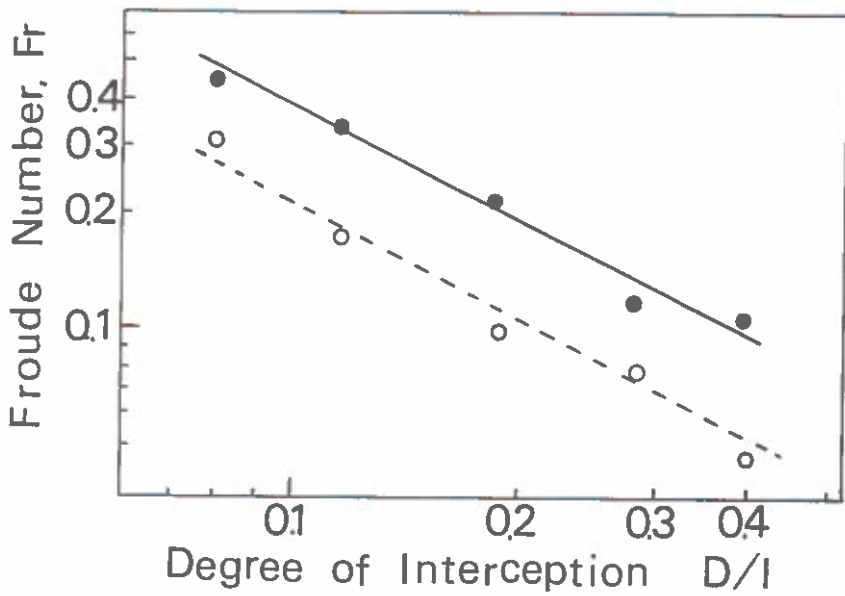


Fig-5 Relation between degree of interception and Froude Number

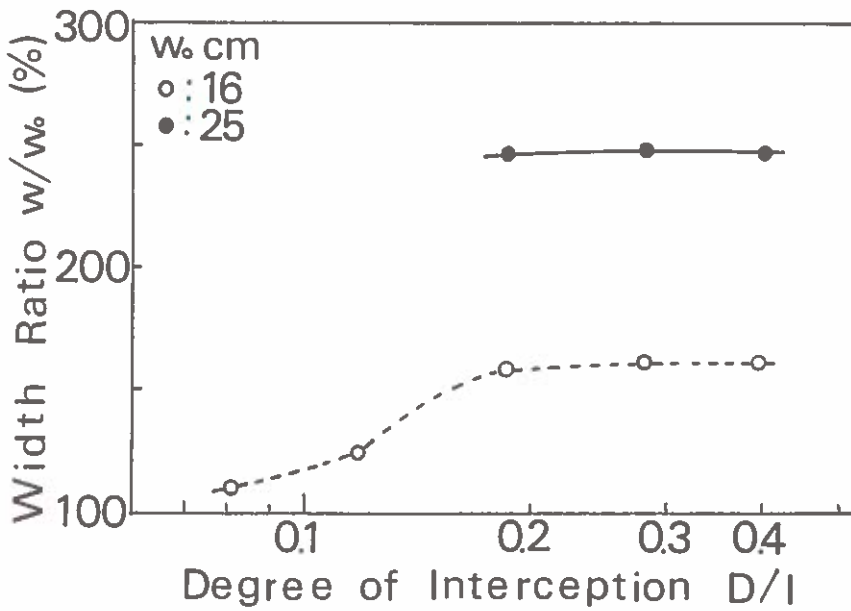


Fig-6 Relation between degree of interception and width ratio

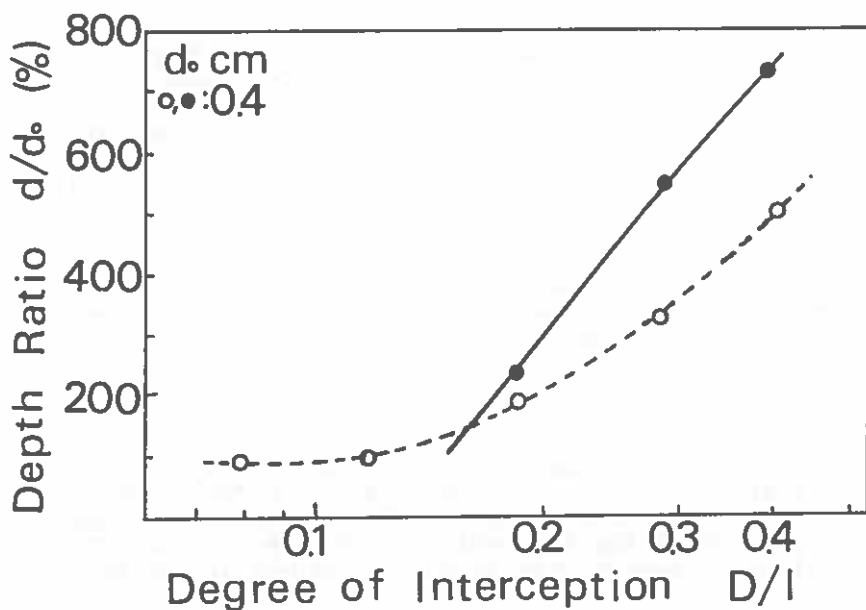


Fig-7 Relation between degree of interception and depth ratio

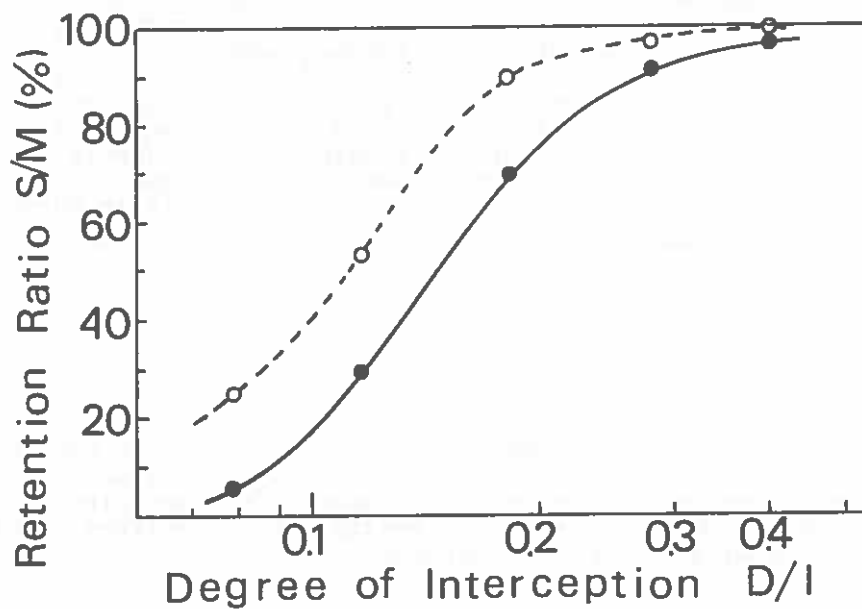


Fig-8 Relation between degree of interception and retention ratio

Froude Number Fr shows also the similar tendency in Fig-5, where Fr indicates the dynamic state of shallow mass movement in experiments, and is given in the following equation.

$$Fr = v/\sqrt{gh}, \quad h = 1 \cdot \sin 35^\circ \quad \text{---2}$$

If dynamic similarity could be confirmed between the experiment and another mass movement, results in Fig-5 might be applied. Based upon the calculation, potential energy transferred into movement is no more than only 10.9 % in the maximum.

Fig-6 shows width ratio increases with degree of interception. Because coefficient of dynamic friction of gravel is lower than that of sand (Table-2), velocity and width ratio of the former give higher values than the latter. The maximum constant in wide ratio is due to the restriction from side wall. Without it, real width would be more than 3 times.

Fig-7 shows depth ratio of major deposit increases with degree of interception. The undisturbed sampling from the layer of deposit by the small cylinder of 12.1 mm diameter by 10.9 mm height reveals that appearance density of deposit ranges from 1.1 to 1.4 gr/cm³, that is 65 - 82 % of 1.7 gr/cm³ in shot box.

Fig-8 shows the retention ratio S/M increases with degree of interception, where the net weight S retained by the array of pegs is given by subtracting portion retained in the absence of pegs.

$$S = W - J, \quad M = 1870 - J \quad \text{---3}$$

W : weight of deposit retained on the array of pegs

J : deposit retained in the absence of pegs

1023 gr at sand, 178 gr at gravel

S/M indicates the efficiency of fence effect of the pegs in reducing mass movement. Where there are few pegs as forest, since spacing between them can not interact with the frictional effect, particles can pass through freely between pegs. On the contrary, if there are so many pegs in the confined space where they can interfere with each others effect, because changing direction of particles in low velocity would lead to make many bridges, much deposit could be trapped and retained very securely. As a result, the curves in Fig-8 show that S/M may be approximated by exponential function, for example, as next logistic curve,

$$S/M = \frac{100}{1 + a \exp(-bD/I)} \quad \text{---4}$$

a, b : coefficient of particle

CONCLUSIONS

A forest of high stand density will be effective in retaining much deposit of shallow mass movement through dissipation of kinetic energy and diffusion by collision with particles. This ideal protection forest could be realized with conifers of big basal diameter at high stand density.

LITERATURE CITED

H.Omura, R.Abe, 1982: Model experimental studies on the soil conservation by a standing tree, Mitt. Forstl. 4 p79-84

H.Omura, K.Hara, 1984: A model experimental study on the fence effect of two trees against debris flow, Proceedins of simposium on effects of forest land use on erosion and slope stability, p 217-221

H.Omura, S.Miyabe, 1985: An experimental study on the fence effect of forest against shallow mass movement at the initial starting stage, The fundamental studies on the preventive function of forest belt against disaster caused by mass movement, report on natural disaster study p57-66

(February 18, 1986)

RESISTANCE INDEX OF VARIOUS FOREST IN THE GAMMA DISTRIBUTION MODEL APPLIED TO FORECAST RAPID SHALLOW LANDSLIDE

Hiroshi Omura

Depart. of Forestry, Fac. of Agriculture, Shizuoka University,
Shizuoka, Japan

SUMMARY

In order to estimate the effect of forest on the occurrence probability of rapid shallow landslide that will be caused by rainfall, the landslide area ratio occupied in various forest district was surveyed through the stereo scope on aero photographs of 7 areas located in central west Japan. By application of the Gamma distribution model, the resistance index C in these areas was obtained posteriori from the relation between successive total rainfall r and landslide area ratio P as given in the next formula.

$$P(j \geq C) = 1 - \sum_{j=0}^{C-1} \frac{(0.01r)^j}{j!} \text{Exp}(-0.01r), \quad C = k_1 k_2 J$$

The higher value of C means apriori the lower probability P of the landslide occurrence. To forecast P in an objective area before rainfall, the index C can be estimated from the rainfall J in wet season July and the coefficient k_1 depending on the surface geology in the latter formula. In addition the second coefficient k_2 was taken account for the estimation of C . As the results, the value of k_2 depended on forest type as follows.

clear cut slope, artificial coniferous young forest -- 0.98

mature forest of fairly thick crown density -- 1.00

natural broadleaved forest of thick crown -- 1.03

The reverse relation between size and number density of landslide, many small landslides in young forest and a few large landslide in mature forest, suggests the binding and covering effect of root system on the distribution of shear resistance at weak spots hidden in the surface soil layer. Because the coefficient k_2 acts greatly in the area of low resistance index, where the forest management must be taken care for the regeneration operations to minimize the occurrence of rapid shallow landslide.

(key words: forest effect, rapid shallow landslide)

INTRODUCTION

The occurrence probability of landslide caused by heavy rainfall differs depending on the forest type, its age, and stand density as the basic factor. It is useful to forecast these differences in order to make the plan for erosion control works and forest management. The purpose of this paper is to estimate the forests effect on the occurrence probability of rapid shallow landslide by the resistance index in the Gamma distribution model that the author applied to forecast the landslide area ratio in an objective district. The differences of the ratio and the resistance index in various forest are discussed based on the statistic data got by the aero-photograph interpretation.

RESISTANCE INDEX IN THE GAMMA DISTRIBUTION MODEL

The Gamma distribution model is based upon the following hypothesis (Omura, 1980). If the rainfall will promote the accumulation of random shocks that can independently act to lead to landslide, when the shocks stocked in an unit slope will attain the resistance index that is the inherent characteristic value of each watershed, a rapid shallow landslide shall occur at the unit slope. Such a probability P is given in the next formula.

$$P(j \geq C) = 1 - \sum_{j=0}^{C-1} \frac{(\lambda r)^j}{j!} \text{Exp}(-\lambda r) \quad \text{--- (1)}$$

λ : shock occurrence rate per unit rainfall 0.01 mm^{-1}
 r : successive total rainfall mm

j : shock number stocked in an unit slope

C : resistance index, shape parameter in the Gamma distribution

P : area ratio of rapid shallow landslides occupied in district
 This relation is illustrated in Fig-1, where if r and corresponding P are known by the measurement, C can be estimated.

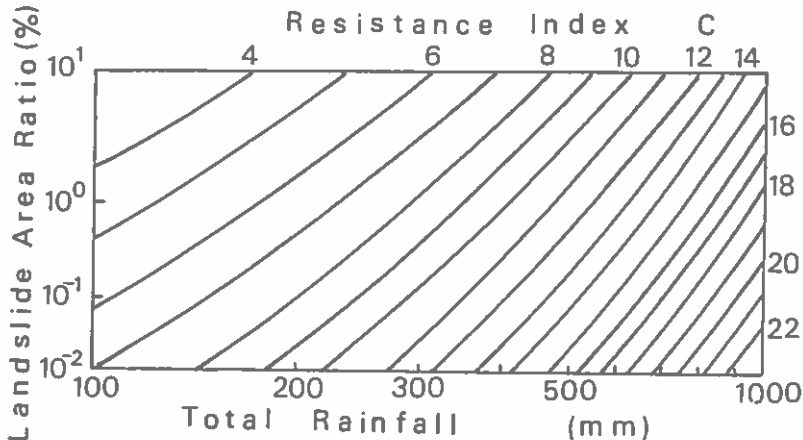


Fig-1 Relation between successive total rainfall, resistance index, and landslide area ratio

Conversely if C in the objective district is known, P in the arbitrary r can be apriori forecasted. The landslide area ratio may be equal to the occurrence probability in the large area composed of many unit slopes because of the law of large number. The resistance index could be estimated by the next empirical formula (Omura, 1984).

$$C = k_i J \quad \text{--- (2)}_{-1}$$

k_i : coefficient depending on surface geology

J: monthly rainfall of wet season, July

Though this formula is based on the statistic analysis of back ground fundamental conditions in disaster areas, it takes no account for the effect of forest cover. According to the experiences in these areas, the state of vegetative forest cover also is one of the basic factor that effects on the occurrence of rapid shallow landslide. The estimation of forests effect on the resistance index is the main theme of this paper.

PHOTOGRAPH INTERPRETATION ON STUDY AREA

Based upon the features, textures, height, and stand density of trees crown through the stereo scope on couple of aero photographs which scale was about 1:10000, the forest type was interpreted and classified into the following items and categories.

Forest type: coniferous forest, broadleaved forest, mixed forest

Age (year) : young (0-15), mature (16-40), old (41-)

Stand density of crown (%):

clear cut (0), thin (1-20);L, medium (21-90);M, thick (91-);H

The length l and width w of landslides m occupied in the area A of an objective forest district were directly measured by the scaled magnify lens and the planimeter. The number density n and the mean size $\bar{a}$ of landslides were calculated, the landslide area ratio P was given in the next formula.

$$P = \frac{m}{A} \sum \frac{l \cdot w}{m} = n \bar{a} \quad \text{--- (3)}$$

The measurement operations as mentioned above were carried out at random samples of 0.2 km² circle plot in the sampling area of 1 km² circle near the center of aero-photographes on the following 7 study areas, where many rapid shallow landslides were recently caused by heavy rainfall in 1976-1983. Their locations are in central west Japan as shown in Fig-2.

1. west Shimane: The artificial thin forest of ca 20 years *Criptomeria* and young *Pinus* distribute at the short slope of valley side and the round ridge of peneplane respectively. Also the shrub of *Quercus* is mixed in them. The fossil red soil widely covers the metamorphic rock composed of graphite phillite and chlorite phillite.

2. Nagasaki region: The artificial mature forest of *Criptomeria* and *Chamaecyparis* distribute at the lower concave slope and the mid flank respectively. The natural forest of *Castanopsis* and *Quercus* is left in thick state at the gentle ridge. The clayey silt soil covers on hillslope, which basement is composed of hornblend augite andesite and Palaeogene Isahaya group of shale and sand stone.

3. R. Denjyo watershed: The artificial young forest of *Abies*

and *Tsuga* distribute at sandy forest brown soil companied partly with podzol on steep short slope, which basement is of weathered granite. The altitude ranges on 1400-2100 m.

4. Fujieda region: The artificial mature forest of *Criptomeria* distributes at the silty brown forest soil on the concave slope, that is composed of Palaeogene Setogawa group of black shale and sand stone. The artificial garden of tea (*Thea sinensis*) and orange (*Rutaceae*) develop at the lower slope along valley side and sunny slope on the flank respectively.

5. R. Ohi watershed: The artificial young forest of mainly *Abies* distribute popularly at brown forest soil with podzol on the flank of steep long slopes. Also the natural broadleaved forest of *Fagus* and *Betula* are left at the convex ridge and the scar of old landslide at the concave slope. The basement, which altitude ranges on 1000-3100 m, is composed of Mesozoic black shale and sand stone sheared widely by the large scale tectonic movement.

6, 7. Magome district in south Izu: The artificial young forest of *Criptomeria* and secondary forest of *Quercus* distribute at

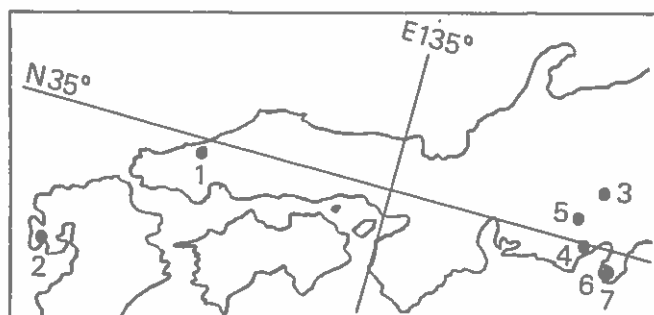


Fig-2 Location of study area

1: west Shimane 2: Nagasaki 3: R.Denjyo
4: Fujieda 5: R.Ohi 6: Magome 7: south Izu

Table-1 Outline of conditions in study area

No.	Location	Geology	Forest		Rainfall	
			Coniferous	Broadleaved	Year	mm
1	west Shimane	Metamorphic	<i>Criptomeria</i> <i>Pinus</i>	<i>Quercus</i>	1983	650
2	Nagasaki	Isahaya group Andesite	<i>Criptomeria</i> <i>Chamaecyparis</i>	<i>Castanopsis</i> <i>Quercus</i>	1982	500
3	R. Denjyo	Granite	<i>Abies</i> <i>Tsuga</i>	<i>Fagus</i>	1982	572
4	Fujieda	Shale Sand stone	<i>Criptomeria</i>	<i>Thea sinensis</i> <i>Rutaceae</i>	1982	625
5	R. Ohi	Shale Sand stone	<i>Abies</i> <i>Larix</i>	<i>Fagus</i> <i>Betula</i>	1982	400
6	Magome	Pyroclastic	<i>Criptomeria</i>	<i>Quercus</i>	1976	430
7	sauth Izu	Pyroclastic	<i>Criptomeria</i>	<i>Quercus</i>	1976	400

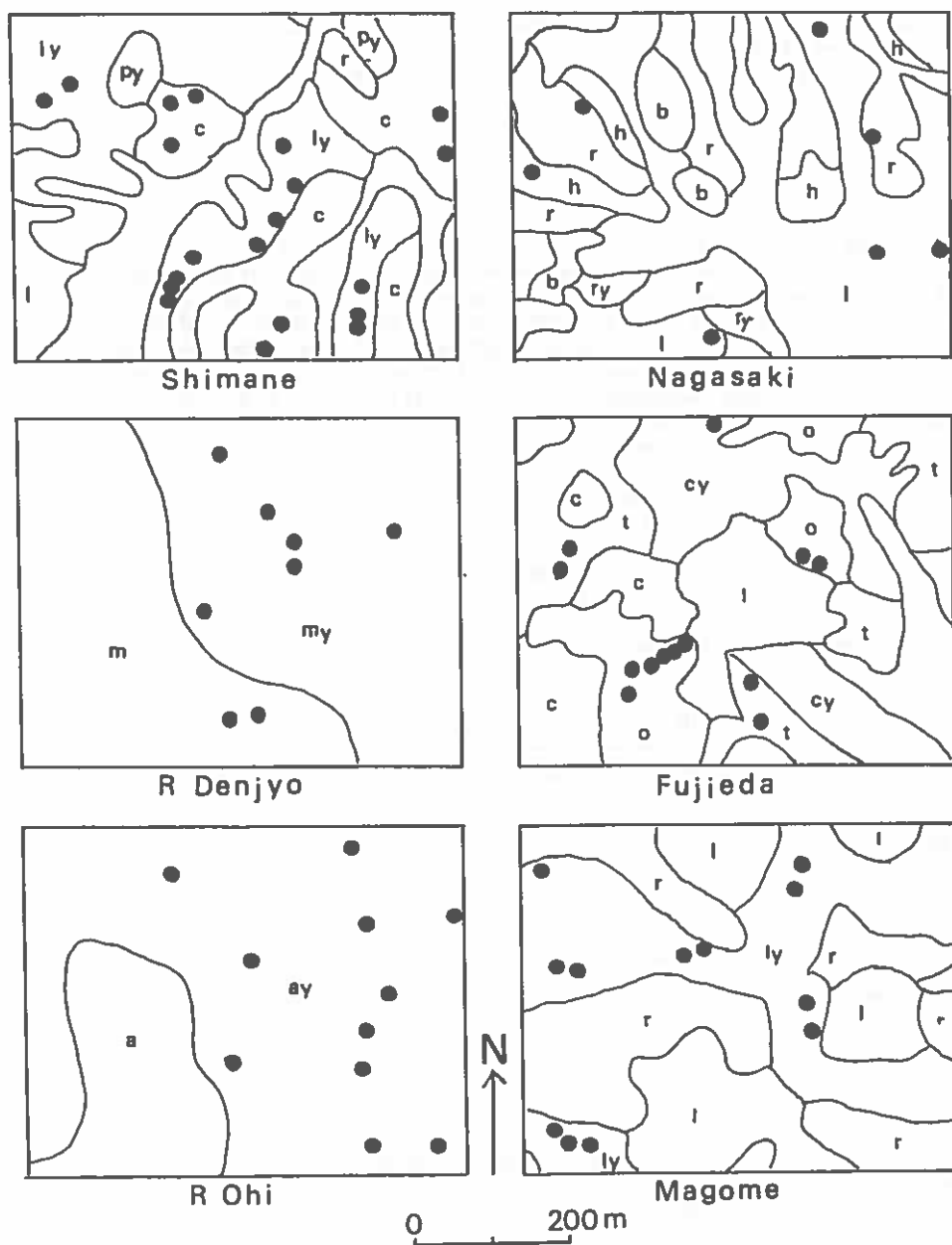


Fig-3 Distribution pattern of forest and landslides in study areas

●: landslide, —: boundary of forest,
 c: clear cut, y: young, r: *Criptomeria*, h: *Chamaecyparis*,
 a: *Abies*, t: *Thea*, o: *Rutaceae*, l: broadleaved, m: mixed

loamy brown forest soil on the steep slope, which basement is of weathered Neogene pyroclastics of Shirahama groups.

The outline of these study areas is summarized in Table-1.

RESULTS AND DISCUSSION

Though the conditions on surface geology and total rainfall are fairly uniform and homogenous in the each study area, the distribution pattern of forest community is narrow complicated mosaic as shown in Fig-3. The coniferous forest in Japan, that is almost artificial young or mature aged, is composed mainly of *Criptomeria*, *Chamaecyparis*, and *Pinus*. In generally speaking *Criptomeria* that demands much water distributes at the wet concave slope near valley side, where the rapid shallow landslides are apt to occur. The fine lateral roots of *Criptomeria* covers widely colluvial surface soil. *Pinus* that demands sun light more than water penetrates the thick tap root into the inside of dry convex slope at hard rocky ridge zone, where no landslide would occur. *Chamaecyparis* distributes at the equilibrium slope of mid flank between valley and ridge zone. The natural broad-leaved forest is often left at the ridge zone or the scar of old unstable landslide. Such a complicated distribution that is controlled by micro or meso scale geomorphological condition

Table-2 Landslide at various forest type in west Shimane region

	Clear Cut	Coniferous			Mixed		Broadleaved		
		L	M	H	L	M	H	L	H
Sampled Area km^2	0.27	0.36	0.03	1.36	0.09	0.13	2.16	0.03	1.63
Landslide									
Density n/km^2	64.0	140.0	120.0	53.8	89.0	69.0	67.3	30.0	42.8
Mean Size m^2	100	104	100	132	100	100	101	100	133
Area Ratio %	0.64	1.46	1.20	0.71	0.89	0.69	0.68	0.30	0.57
Resistance Index	14.3	13.4	13.6	14.1	14.0	14.2	14.2	15.1	14.3

L, M, and H are thin, medium, and thick respectively in forest density.

Table-3 Landslide at various forest type in palaeogene Isahaya group, Nagasaki region

	Clear Cut	Coniferous			Mixed		Broadleaved		
		L	M	H	M	H	L	M	H
Sampled Area km^2	0.17	0.54	0.27	2.50	0.04	0.37	0.25	0.33	3.55
Landslide									
Density n/km^2	0.0	30.1	137.5	42.0	25.0	8.0	44.0	48.6	42.1
Mean Size m^2	—	156	120	162	100	100	100	113	140
Area Ratio %	0.00	0.47	0.45	0.68	0.25	0.08	0.44	0.55	0.59
Resistance Index	—	12.7	12.9	12.4	13.4	14.1	12.9	12.4	12.7

obstructs the automatic data sampling and its analysis on differences between species consisting forest community.

Results from random sampling of the small circle plots on the number density, the mean size, and the area ratio of landslide, and the resistance index at various forests are listed in Table 2 - Table-9.

Table-4 Landslide at various forest type in andesite, Nagasaki region

		Clear Cut	Coniferous			Mixed H	Broadleaved		
			L	M	H		L	M	H
Sampled Area	km ²	0.34	0.97	0.87	5.72	2.00	0.19	0.34	1.66
Landslide Density	n/km ²	35.9	42.4	25.3	27.2	5.8	43.4	8.7	2.2
Mean Size	m ²	142	151	186	202	173	113	300	232
Area Ratio	%	0.51	0.64	0.47	0.55	0.10	0.49	0.26	0.50
Resistance Index		12.5	12.3	12.7	12.4	13.8	12.8	13.4	12.5

Table-5 Landslide at various forest type in R. Denjyo watershed

		Clear Cut	Coniferous			Mixed		(Mean)
			Young	Mature	Old	Young	Mature	
Sampled Area	km ²	1.16	1.23	0.09	0.15	1.25	1.74	
Forest Density			Landslide Density n/km ²					
Thin		69.8	—	—	6.6	57.9	103.4	61.6
Medium		—	51.4	22.0	—	22.0	26.3	28.9
Thick		—	11.3	—	—	—	—	11.3
Landslide Mean Density	n/km ²	69.8	19.5	22.0	6.6	52.8	39.0	
Mean Size	m ²	497	—	618	—	—	451	—
Area Ratio	%	3.47	1.21	1.36	0.41	2.38	1.76	
Resistance Index		12.0	13.0	12.9	14.1	12.5	12.8	

Table-6 Landslide at various forest type in Fujieda region

		Clear Cut	Coniferous	Broad-leaved	Rutaceae	Thea sinensis
Sampled Area						
Area	km ²	2.8	10.8	4.7	4.5	8.1
Mean Gradient	°	40	40	50	30	20
Soil Type		—	Brown Forest Soil	—	—	Silty Immature —
Landslide Density	n/km ²	47.5	10.9	20.2	49.6	27.9
Mean Size	m ²	64	109	197	45	88
Area Ratio	%	0.30	0.12	0.40	0.22	0.25
Resistance Index		15.4	16.0	15.0	15.6	15.5

Taking account for differences of geomorphological condition between locations for the adequate species in coniferous trees, they are collected together as the coniferous forest in Tables. The comparisons on the number density and the mean size of landslide between various forests are illustrated in Fig-4 and Fig-5 respectively. As the basis for their comparisons, the data of mature forest of medium stand density are taken at the horizontal axis in the figures.

Table-7 Landslide area ratio % at various forest type in R. Ohi watershed

	Coniferous		Mixed		Broadleaved	
	Young	Mature	Mature	Old	Mature	Old
Sampled Area km ²	153	90	50	2	37	40
Forest Density	Landslide Area Ratio %					
Thin	3.17	4.60	—	—	9.32	10.08
Medium	2.46	3.27	6.14	7.21	9.13	8.57
Thick	3.27	1.70	1.82	—	2.67	2.48
Mean Area Ratio %	3.22	2.53	3.42	7.21	4.71	7.38
Resistance Index	11.8	12.0	11.7	11.1	11.4	11.1

Table-8 Landslide at various forest type in Magome district, south Izu

	Clear Cut		Coniferous		Broadleaved	
			Young	Mature	Young	Mature
Sampled Area km ²		0.11	0.28	0.29	0.27	0.58
Landslide						
Density n/km ²		64	120	62	180	41
Mean Size m ²		88	92	90	120	62
Area Ratio %		0.56	1.10	0.56	2.10	0.25
Resistance Index		11.1	10.7	11.1	9.9	11.9

Table-9 Landslide at various forest type in south Izu region

	Cut Slope along Road	Clear Cut	Coniferous Forest	Broadleaved Forest
Sampled Area				
Area km ²	0.36	5.73	11.10	10.40
Permeability cm/sec	4.06x10 ⁻³	4.57x10 ⁻³	2.21x10 ⁻²	1.31x10 ⁻²
Cone				
Resistance kg/cm ²	—	0.25+0.11	0.78+0.19	1.63+0.47
Landslide				
Density n/km ²	55.2	48.9	21.5	19.7
Mean Size m ²		— 116 —	—	—
Area Ratio %	0.64	0.57	0.25	0.23
Resistance Index	10.6	10.7	11.3	11.5

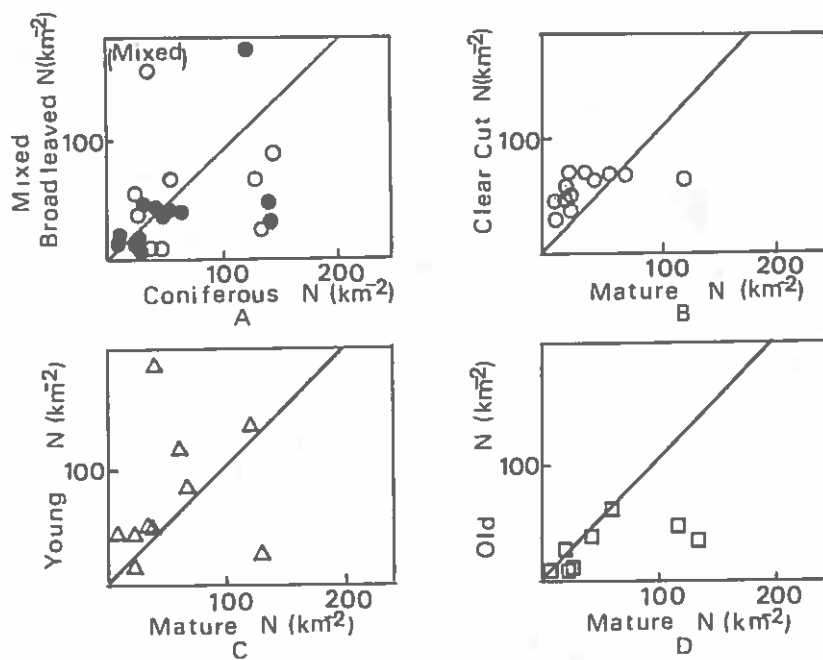


Fig-4 Comparison of landslide density

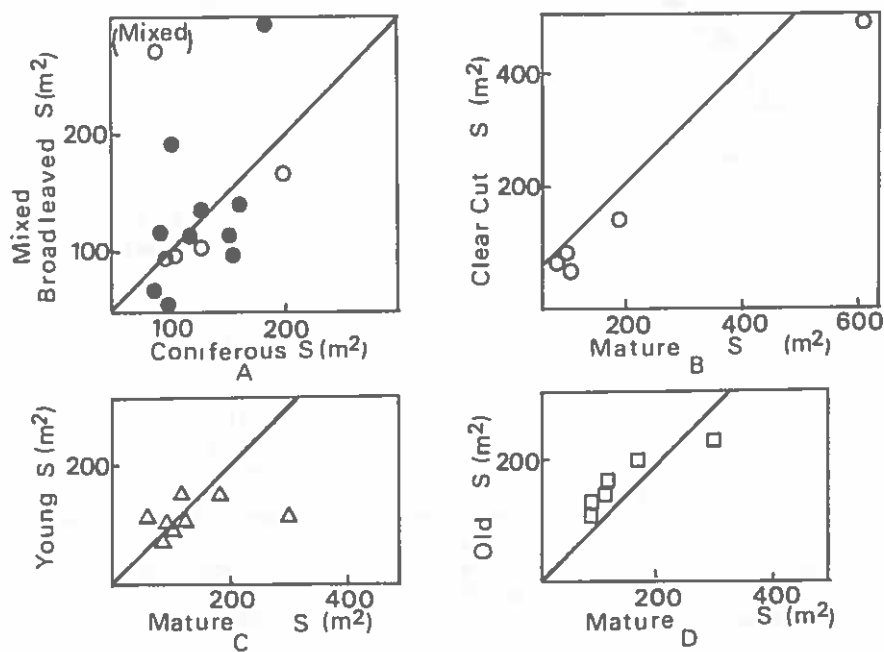


Fig-5 Comparison of landslide mean size

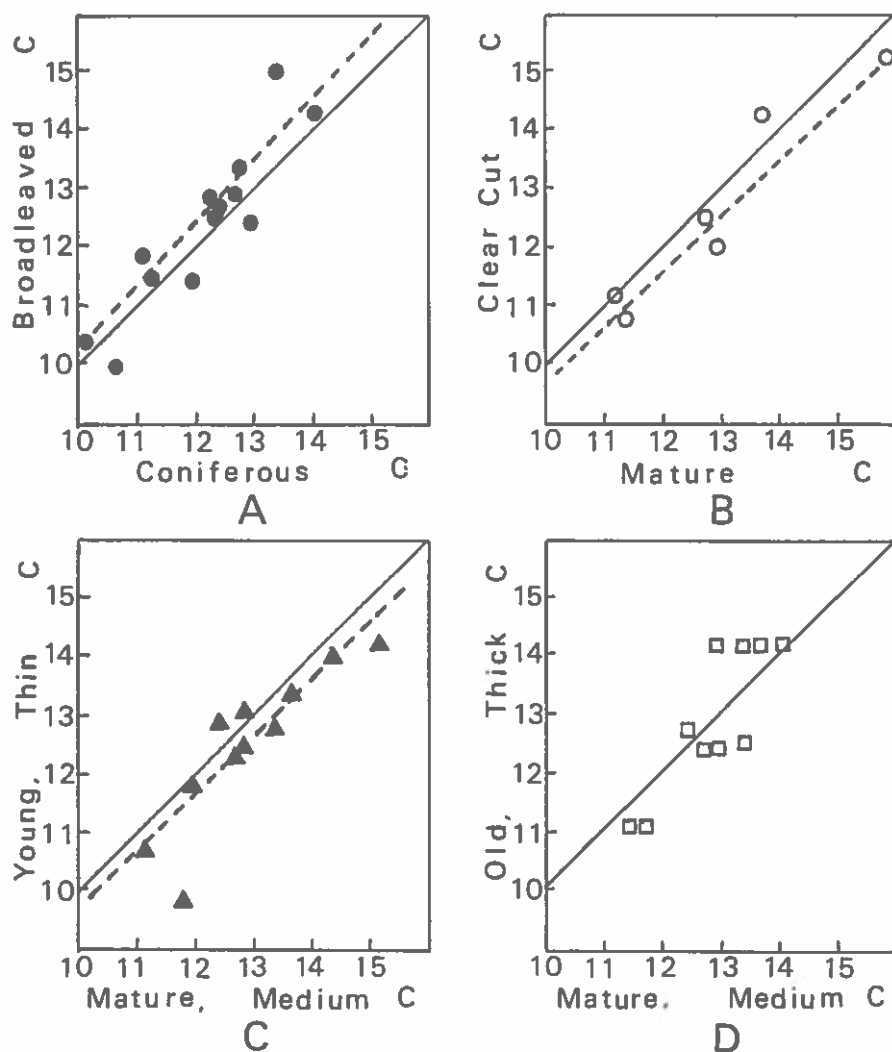


Fig-6 Comparison of resistance index C of various forest type

The main common problem in these results is the impact of artificial work acting to the natural forest. Many landslides, though they were small in size, occurred concentrically at the bare slope cut along the new roads in south Izu region (Table-9) and at the artificial garden of tea and orange in Fujieda region (Table-6). The geomorphological feature of such artificial slopes was geometrically uniform. No attention was paid to the natural drainage system of brooklets and valleys ballanced during geological history. The cutting work at the foot slope and filling work at the valley induced new landslides.

Also the number density of landslides in the artificial conif-

erous forest was higher than in the natural broadleaved forest. Particularly at the young aged forest of thin crown density and at the clearly cut slope in almost regions of Shimane (Table-2), Nagasaki (Table-4), Denjyo (Table-5), and Magome (Table-8), the small landslides concentrated.

According to the age and the crown density of forest in these Tables, the comparison in Fig-4 shows the following high order of number density of landslides: young thin forest, clearly cut slope, mature medium forest, old thick forest. On the contrary, Fig-5 shows the reverse order on the mean size as follows: old thick forest, mature medium forest, clearly cut slope, young thin forest. This reverse relation between number density and mean size of landslides suggests the distribution of weak spots lack for roots in the surface soil layer as the cause to the initiation of rapid shallow landslide.

Because the short root of young forest can not bind the weathered surface soil layer with its basement, and also the roots rottenness of old cut trees loosen the soil, the shear unbalance at the many weak spots in soil layer may be apt to induce the many small landslides. The direct impact of rainfall drops to the surface soil at clearly cut slope where the root system was disturbed by the logging operations of heavy machine may help the action of overland flow or subsurface flow that lead to the landslide. The scar of flow lines were left and recognized on the aero photographes. On the contrary, the effects of binding the surface soil deeply with hard basement by the long tap root like as the pile and covering widely by the net connection of the lateral thick roots of the mature forest or the broadleaved forest in high stand density may be able to increase the shear resistance against the initiation of shallow small landslides. The fewer weak spot in a large area of the mature forest would lead to the rare large landslide.

The resistance index C can be given from the landslide area ratio P in the formula (1). Because the density of landslide more than the mean size acts to the landslide area ratio as can be seen in the comparison between Fig-4 of wide range and Fig-5, the resistance index C in Fig-6 shows the same tendency with Fig-4. Based on the results of the gradient of dotted line in Fig-6, the resistance index of the young forest and the clearly cut slope was ca 2 % lower than the mature fairly thick forest. The index of the natural broadleaved forest composed mainly of *Quercus* was 3 % higher than the artificial coniferous forest of *Cryptomeria*, *Chamaecyparis*, and *Pinus*. The formula (2) then should be modified more precisely by the second coefficient k_2 depending on the forest type as follows.

$$C = k_1 k_2 J \quad \text{--- (4)}$$

k_2 : coefficient depending on the forest type	
clearly cut slope,	
artificial coniferous young forest	-- 0.98
mature forest of fairly thick crown density	-- 1.00
natural broadleaved forest of thick crown	-- 1.03

Fig-1 shows that the coefficient k_2 acts greatly the landslide area ratio in the area of low resistance index like as weathered granite area or scarce rainfall area even in wet season, where the forest management must be taken care for the adequate operations of regeneration in order to minimize the initiation of rapid shallow landslide.

CONCLUSION

The resistance index in the Gamma distribution model to forecast the area ratio of rapid shallow landslide should be modified more precisely by the second coefficient depending on the forest type. The value of index in the clear cut slope or the young forest was 2 % lower than in the mature forest. Also the index of the natural broadleaved forest was 3 % higher than the artificial coniferous forest. The reverse relation between size and number density of landslides, many small landslides in the young forest and a few large landslide in the mature forest, suggests the effect of root system covering and binding on the distribution of weak spots in the surface soil layer as the cause to the initiation of rapid shallow landslide.

ACKNOWLEDGMENT

The author wishes to acknowledge that this research has been supported in part by Grant in Aid for Fundamental Scientific Research from the Ministry of Education.

LITERATURE

- H. Omura, 1980: Fundamental study on forecasting of landslide area (1) —Relation between total precipitation, resistance index, and landslide area ratio—, Shin Sabo 33-2. pp 15-25
- , 1984: The resistance index map to forecast quick shallow landslide in Japan, INTERPRAEVENT 1984. Band 2, pp 159-166

(Aug. 29, 1986)

SOME FUNCTIONS OF VEGETATION COVER ON
SOIL CONSERVATION IN SUB-ALPINE FOREST
OF JAPAN

By

○ Masaru IWAMOTO * , Yoshio OOZEKI ** & Kazutoki ABE *

Chief, Dr. Agr. , Senior Res.Eng. & Research Eng.

- * Soil Conservation Laboratory, Forestry & Forest Products
Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan
- ** Tokamachi Experiment Site, Forestry & Forest Products
Research Institute, Tokamachi, Niigata, 948 Japan

SUMMARY

On mountain side research, the effects of vegetation cover in sub-alpine forests show that the existence of vegetation controlled landslide snow-erosion and soil erosion as follows. In a heavy snow area, a stump density of more than 100 No./ha was effective in controlling avalanches and snow-erosion. In the mountain where the hillside works were made, vegetation cover played the most important role in controlling surface erosion because the coverage ratio of vegetation was proportional to preventing soil discharge. In addition, the vegetation distributed roots into the soil and so promoted soil formation. In a rainy season, the existence of tree vegetation could also control landslides because of the tree root strength. Namely, from the results of both soil shear strength and root tensile studies, it is clear that roots can reinforce the soil shear strength by at least 13 % against landslides.

KEYWORDS

Effects of vegetation cover, Tree roots, Soil conservation .

INTRODUCTION

Japan is an arc chain of islands, located at the east of the Asian Continent in the westernmost part of the Pacific Ocean (Figure 1). A great range of mountain, 2000 to 3000 m high, runs through the central part of the long island. There are many narrow and steep valleys in these mountains. Frequently there are serious disasters under a heavy rainfall or snowfall, such as soil erosion, landslides, snow-erosion, avalanches and so on.

In this paper, the authors report a series of observations and experiments regarding the effects of vegetation cover on soil conservation in sub-alpine forests (Table I). As a result of these, some significant information was obtained regarding the characteristics of stump density, vegetation cover, soil formation and the reinforcement of soil shear strength by the root network system.

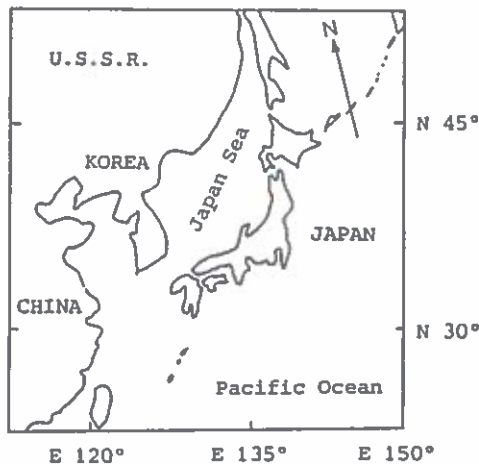


Fig. 1 Location map

Table I Site conditions

Kinds of devastation	Place	Elevation (m)	Gradient (°)	Vegetation	Geology	Precipitation (mm/year)
Snow-erosion	Niigata	1000-1200	35 - 37	Cedar, Beech etc.	Tertiary stratum	Snow > 4000
Soil erosion	Nagano	1000-1200	38 - 50	Acasia, Grass etc.	Granitic layer	Rain = 2000
Landslide	Gunma	700-1000	31 - 39	Cedar, Beech etc.	Paleozoic stratum	Rain = 2500

1. Snow-erosion

In mountains facing the Japan Sea, there are a great number of disasters caused by heavy snow, such as avalanches and snow-erosion.

Figure 2 shows the relationships between stump density and snow displacement in many types of forests. In the figure, snow displacement in selected forests (No.1,2) ranged from 0.3 m to 1.2 m so that the snow layers seemed not to move. Contrary to this, in clearcut forests with steep slope (No.4), snow avalanches occurred frequently because of the lack of vegetation cover. From these results, it may be concluded that the displacement of inclined snow-pack layer increased with the decrease of the stump density in general and avalanches often occurred on clearcut slopes with the stump density less than 100 No./ha (SAEKI, NITTA & OOZEKI, 1982).

Figure 3 shows the results of erosion observed on a slope of clearcut forest (No.4). Comparing the erosion ratio by rainfall with that by snow, it is clear that the erosion ratio by rainfall ($\Sigma R = 500$ mm , July - September) was on the average $0.02 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (erosion depth ; $E_d = 20$ mm) and the snow-erosion ratio (snow depth ; $HS = 3.0$ m , October - May) was $0.04 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ($E_d = 44$ mm). Thus, the snow-erosion produced the debris much larger than the rainfall erosion because of the large force due to snow-glide (WATANABE & OOZEKI, 1982).

As a result, in order to prevent debris disaster in a heavy snow mountain, it is important to keep the vegetation cover with stump density at least more than 100 No./ha .

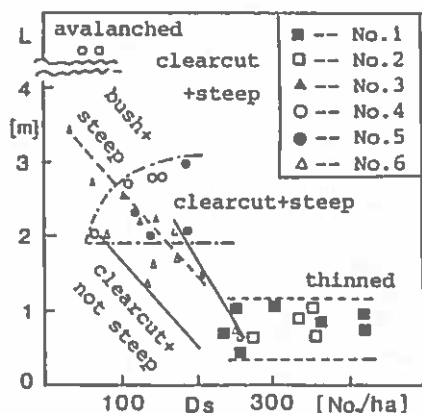


Fig. 2 Relationship between stump density and snow displacement

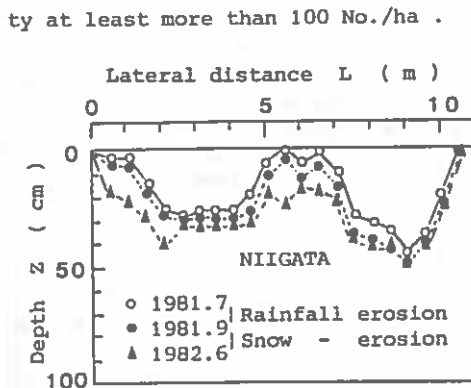


Fig. 3 Comparison of erosion ratios between rainfall and snow

2. Soil erosion

In the middle part of the mountain area, there is less snow but it is very cold in winter. The slope seems to be eroded by frost-up, melt and rainfall in all seasons (IWAMOTO, 1985).

Figure 4 shows the observed results of soil erosion under various vegetation conditions in a 4 year period, where , the plots are located in a granitic mountainous area at 1200 m elevation. In the figure , the erosion ratios in both bush and grassy land with 100 % of coverage are 0 cm. On the other hand, the ratio in grassy land with 50 % coverage ranges on average from 2 cm to 3 cm per year, and the ratio in bare land ranges from 5 cm to 10 cm per year in winter and from 2 cm to 5 cm per year in summer. Consequently, the existence of bare land in a mountainous area increases the surface erosion in all seasons and causes the land to deteriorate.

Table II summarizes the relationships between the soil layer depth and root distribution in various vegetation plots. According to the table, the soil formation in the tree plot is obviously higher than that in the grass plot, namely the average of soil layer depth is 39 cm and most of the trees distribute thier roots closely to the bed rock of 60 cm in depth. Contrary to this, in the grass land with 50 % coverage , soil layer depth is only 15 cm and root distribution depth is also 10 cm.

Consequently, the existence of vegetation, especially trees, distributes roots to a greater depth compared with the grass-land. In addition, the soil formation depth is in proportion to the root distribution. Thus, the tree plot is the most effective way to control soil erosion because of both the coverage of the vegetation crown and the soil layer depth.

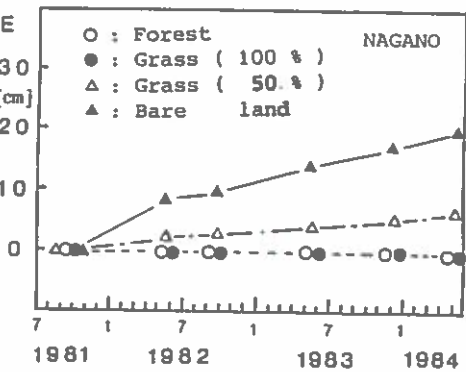


Table II Soil improvement

Conditions	Soil depth (cm)	Root depth (cm)
Forest	39	60
Grass (100%)	20	15
Grass (50%)	15	10
Bare land	2	0

Fig. 4 Comparison of erosion ratio among vegetation conditions

3. Landslide

In a mountain facing the Pacific Ocean , there are a number of disasters due to heavy rainfall, such as erosion, landslides and debris flow etc. In order to investigate the relationship between the tree root distribution and a landslide, the authors made a series of on-site studies on other types of vegetation.

Figure 5 shows some landslides and their dimensions that occurred due to heavy rainfall ($\Sigma R = 238$ mm/2 days, maximum hourly rainfall $r = 59$ mm/hr, July 1983). From the results of observation, it is seen that small landslides occurred in the young man-made forest (P.4, Japanese cedar, 6 years of age) with the highest frequency and the next highest were also in a man-made forest (P.2, Japanese cedar, 30 years of age) and broad leaved forest (P.3, mainly White Oak, 30 years of age) respectively. Contrary to these , however the virgin forest (P.1, mainly Beech, 50 years of age) had the smallest frequency . Once the landslide occurred there, it produced a great amount of debris and caused serious disaster in the downstream area.

Figure 6 shows the root volumes of various species observed adjoining the landslide sections where the surface soil layer is comparatively thin (1m in depth) with debris of both granite and tuff. In the figure , the root volume in the land planted with Japanese cedar 6 years ago is obviously less than that of other species, especially the root network larger than 1 cm in diameter which distribute under 30 cm of depth ,

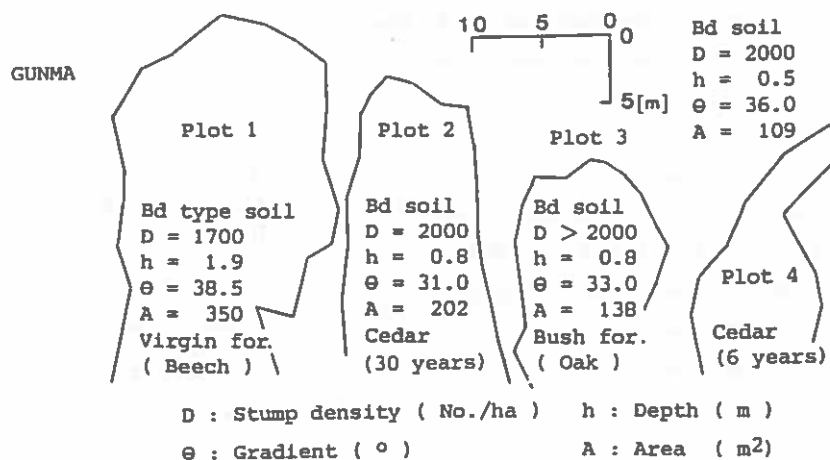


Fig. 5 Landslides on other vegetations

so that a lot of shallow landslides occur there. On the other hand, in the coppice forest with White Oak (KONARA), 30 years old, there are few landslides because the roots distribute widely compared with those in the one planted with Japanese cedar (SUGI). Furthermore, in the virgin forest with Siebold's Beech (BUNA), 50 years old, no kind of landslide occurred because there were many more roots, distributed more widely , which interpenetrated deeply into the cracks of bed rock and seemed to control the occurrence of landslide (ABE & IWAMOTO, 1985).

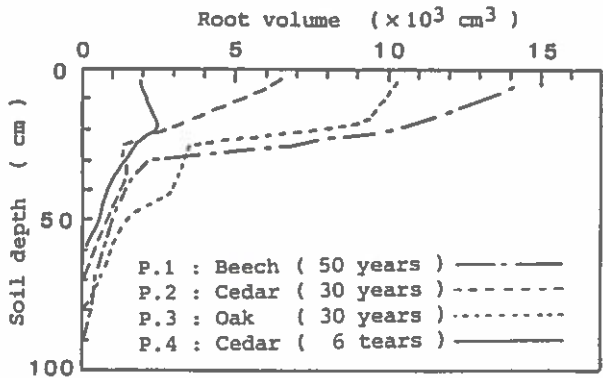


Fig. 6 Root volume distributions

AN EVALUATION OF TREE ROOT EFFECTS ON SLOPE STABILITY BY ROOT TENSILE STRENGTH

When observing the landslide surface in a mountain, we can find the existence of some broken roots on it as shown in Figure 7.

This means that the tree roots play an important role in preventing landslides. Effects of tree roots on slope stability were explained as the increments of both soil shear strength and soil cohesion in some reports (ABE & IWAMOTO, 1985). In this chapter , the authors try to evaluate tree root effects on slope stability using their root tensile strength.

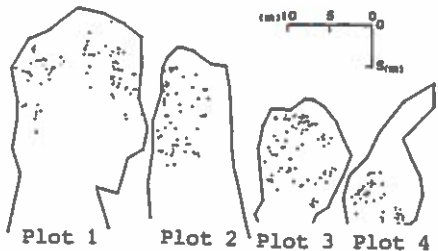


Fig. 7 Root distributions on landslide bottom

1. Tree root distributions on a landslide surface

In order to evaluate tree root effects on slope stability, it is important to make on-site research first. The authors measured the root distributions remaining on both the bottom and the circumference of landslide.

Figure 8 shows the distributions of root diameter remaining at the circumference section of landslide area shown in Figure 5. In the figure, root diameters are mainly ranging from 1 mm to 8 mm, but there are few roots in the land planted with Japanese cedar (P.4) and this lack of roots in the lateral side seemed to enlarge the landslide. Contrary to this, there are a great number of roots in the virgin forest (P.1) compared with the other kinds of forest and especially from the view point of lateral root distribution. Consequently, the average density of root distribution with more than 5 mm in diameter seemed to be 2 No./m² there.

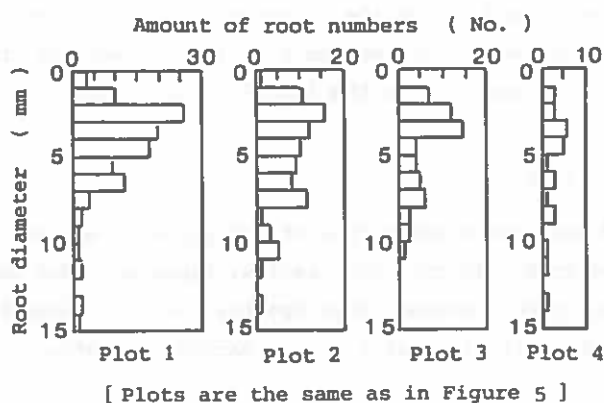


Fig. 8 Root diameter distributions at circumference

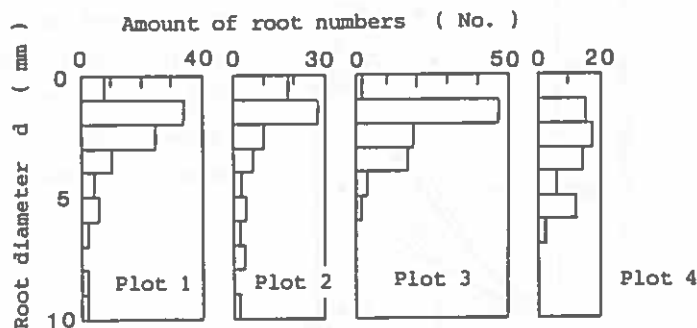


Fig. 9 Root diameter distributions on landslide bottom

Figure 9 shows the root diameter distributions on the landslide bottoms shown in Figure 7. In the figure, most of diameters are ranging from 1 mm to 4 mm in all sections. Especially in both the virgin forest and the broad leaved forest (P.1,3), the amount of root distribution is 2 or 3 times larger than the man-made forest (P.2,4). Then, the average density of root distribution with more than 5 mm in diameter seemed to be less than 0.01 No./m².

Consequently, comparing the root number on the circumference section with that on the bottom one, it appears that the root number on the circumference section is much larger than the bottom in all plots. This is why,

- (1) The soil layer depth on the circumference was comparatively thinner than that on the bottom and so the root distribution was naturally larger than the bottom.
- (2) Next, according to the soil test by vane, the soil hardness on the bottom was much harder than the circumference and so the roots on the bottom were more easily broken and also lost because of the friction between root and soil, when the landslide occurred.

2. Root tensile test

We designed and made a handy type of apparatus to measure the tensile strength of tree root. In this test series, Japanese cedar was selected first as the test tree because this species is a representative one in Japan, and so it is reasonable to standardize the effect of Japanese cedar (SUGI).

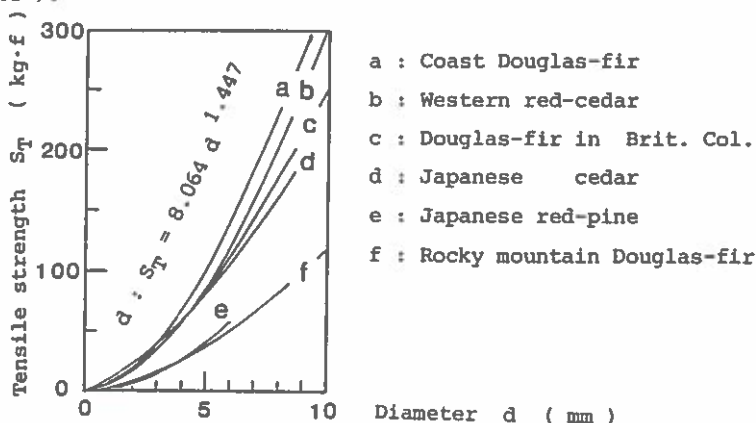


Fig. 10 Comparison of root tensile strength among other species

Figure 10 shows the relationship between the tensile strength and the root diameter of Japanese cedar, in addition to this, the same relationships among other live species were also shown in the figure (O'LOUGHLIN 1974, BURROUGH 1977, NAKANE 1983, ABE & IWAMOTO 1985). As shown in the figure, though differences in tensile strength obviously exist among each species, the value for Japanese cedar should be an average one and so a experimental equation (1) was obtained as follows.

$$ST_i = 8.064 \, di^{1.447} \quad (\text{kg} \cdot \text{f}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(0.1 < di < 8.5 \text{ mm}, r = 0.90)$$

where ST_i : Tensile strength (kg·f)

di : Root diameter inside bark (mm)

r : Coefficient of correlation

3. Consideration of tree root effect on slope stability

(1) Effect of roots on actual landslide surface

From on-site research on a landslide surface, both the number and diameter of roots were measured. In order to evaluate the root effect on slope stability, we tried to calculate the total root strength by using root number, root diameter and equation (1). The total root strength (ST) was about 22 ton·f .

Next, the force of the debris to the down slope (T) could be predicted by the equation (2).

$$T = \left[W \cdot l \cdot h \left\{ rs (1 - \lambda) + rw \cdot \lambda \right\} + N \cdot Tw \right] \sin \theta \quad \dots\dots (2)$$

where rs : Specific soil gravity

rw : Specific water gravity

w : Width of landslide (m)

l : Length of landslide (m)

h : Depth of landslide (m)

λ : Void ratio

N : Number of tree on landslide site

θ : Slope angle (°)

Tw : Tree weight (kgf)

In the equation, the values of each factors could be measured by field survey on the landslide site. Calculating equation (2), the value of debris force (T) was about 161 ton·f .

Consequently, it might be considered that when the landslide occurred, the resistant strength only by roots acting on the landslide surface and the roots effect seemed to be about 13 % of the debris force to down the slope.

(2) Effect of root distribution on slope stability

In order to observe the characteristics of root distribution in more detail, we dug up a whole root system of a Japanese cedar (30 years of age) near the landslide point and measured the diameters of all roots every 10 cm distance deeper from the ground surface. The stand condition was on the average 2000 No./ha (1 No./5 m²) and this is a representative number in a Japanese forest. The results of the measurement were summarized in Table III. According to the table, both the number and diameters of the roots seemed to decrease gradually with the depth, and the roots penetrated only to 70 cm deep.

Table III Numbers of roots in each diameter classes per a tree

Depth Z (cm)	Class of root diameter d_i (mm)									
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
0-10	22	23	17	9	2	11	3	2	7	1
10-20	26	17	9	8	3	5	2	2		
20-30	15	16	8	6	1	2				
30-40	12	11	5	3		1				
40-50	7	7	4	1						
50-60	4	3								
60-70	2									

From these results and equation (1), the tensile strengths of individual roots could be calculated and also summed on for each 10 cm of depth. A change of the total tensile strength per one tree (ST) to the depth direction is illustrated in Figure 11. According to the figure , the total tensile strength was extremely larger near the surface and gradually decreased with the depth.

On the other hand, cohesion (c) and internal friction angle (ϕ) of the soil varied with depth and were therefore determined to be , on the average, 300 kg·f/m² and 33° respectively from soil tests .

Next, the soil shear strength (τ) per unit area per one tree with 5 m² was calculated and also shown in Figure 11.

As shown in the figure, the total root tensile strength (ST) was so large near the ground surface that it appears to play an important role in the slope stability.

Consequently, the resistant strength against landslides (R) might be equal to the combined strength of both the soil shear strength (τ) and the root tensile strength (ST) even though the frictional strength of roots (SF) was not yet measured.

$$R = c + \sigma \tan \phi + ST + SF \quad \dots\dots\dots (3)$$

In the figure, the resistant strength (R) showed a considerably larger value near the ground surface mainly from the effect of root strength, and it gradually decreased with depth. At around 60 cm in depth, it showed a minimum value. Namely, it could be seen that the minimum value appeared at a certain depth where the root growth seemed to be almost stopped and so a shear plane of the landslide could occur there. Actually, when considering the frictional strength of roots (SF) in equation (3), it is possible that the shear plane might be a little deeper than 60 cm.

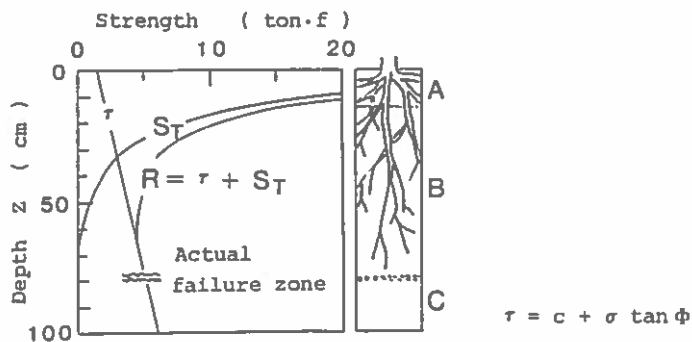


Fig. 11 Relationships between soil shear strength (τ) and root tensile strength (ST) in soil layer

CONCLUSION

In order to evaluate the effects of vegetation cover on slope stability, the authors made both the on-site research and the root tensile test. From the results of them, it could be seen that the

existence of vegetation covers in sub-alpine forest has the advantages of preventing the erosions and landslides as follows.

(1) In a heavy snow area, the stump density with more than 200 No./ha could completely prevent avalanches and densities ranging from 100 to 200 No./ha could also control snow-erosion.

(2) In a granitic mountain without snow, the erosion ratios in both bush and grassy land with 100 % of coverage were 0 cm. On the other hand, the ratio in bare land ranged from 5 to 10 cm in winter, 2 to 5 cm in summer.

(3) The existence of vegetation, especially trees, distribute their roots to a greater depth compared with grass land. In addition, the soil formation depth was in proportion to the root distribution. Thus, the tree was the most effective means to control soil erosion because of increasing both the coverage of vegetation cover and the soil layer depth.

(4) In a rainy season, the occurrence ratio of landslides seemed to be the smallest in the virgin forest because of both the vegetation cover and the large root distribution. Contrary to this, the young forest, especially an artificial one, was easily broken because of the lack of the vegetation effect.

(5) According to the results of the root tensile test, the effect of total root strength on slope stability was at least 13 % of the force of landslide debris.

LITERATURE CITED

- (1) ABE, K. & IWAMOTO, M., (1985) : Tree roots distribution on a landslide surface. Trans. 37th Mtg. Jap. For. Soc. (Kanto Branch), pp. 100 - 103
- (2) ABE, K. & IWAMOTO, M., (1985) : Effect of tree roots on soil shearing strength. Proc. Sabo Symp., ISEDD (Japan), pp. 341 - 346
- (3) BURROUGH, E. R. & THOMAS, B. R., (1977) : USDA Forest Service, Res. Paper INT - 190, pp. 1 - 27
- (4) IWAMOTO, M., (1985) : Effect of check dams on a torrent. Proc. Sabo Symp., ISEDD (Japan), pp. 407 - 412
- (5) NAKANE, K. & NAKAGAWA, K., (1983) : J. Jap. For. Soc., Vol. 65, No. 5, pp. 155 - 165
- (6) O'LOUGHLIN, C. L., (1974) : Can. J. For. Res. 4, pp. 107 - 114
- (7) SAEKI, M., NITTA, R. & OOZEKI, Y., (1981) : Proc. 17th IUFRO (Japan), Div. 1, pp. 187 - 196
- (8) WATANABE, S. & OOZEKI, Y., (1982) : Annu. Mtg. Jap. Snow Soc. pp. 142

DER EINFLUSS DER VEGETATIONSDECKE AUF DIE HANGSTABILITÄT
IM FLYSCH AM BEISPIEL GSCHLIEFGRABEN, GMUNDEN, OBERÖSTERREICH

THE INFLUENCE OF VEGETATION COVER ON THE STABILIZATION
OF SLOPES IN FLYSCH

Manfred Jedlitschka

Forsttechnischer Dienst für
Wildbach- und Lawinenverbauung
Austria

ZUSAMMENFASSUNG

Das 2.8 km² große Einzugsgebiet eines Schuttstromes im Grenzbereich von Kalk und Flysch wird vorerst charakterisiert. Die bis 1982 angestellten Untersuchungen und Ergebnisse werden als bekannter Wissensstand angeführt. In der Folge werden die angewandten Untersuchungsmethoden beschrieben und der Einfluß der verschiedenen Vegetationstypen auf die Hangstabilität nachgewiesen. Die zyklische Wiederkehr von Waldabbrüchen wird im ursächlichen Zusammenhang mit der sukzessiven Entwicklung der Vegetationsdecke begründet. Folgerungen für stabilisierende Maßnahmen werden diskutiert.

SUMMARY

First of all the 2.8 km² root area of a mudstream in the boundary zone of limestone and "flysch" (tertiary sediment) is characterized. The investigations and findings undertaken until 1982 are mentioned as a known state. Consequently the applied methods of investigations are described and the influence of the different types of vegetation on the slope stability is proved. The cyclic recurrence of slope failures is explained by a causal connexion of the successive development of vegetation cover. Finally conclusions for stabilizing measures are discussed.

1. EINLEITUNG

Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, ein Dienstzweig des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, ist unter anderem auch mit der Stabilisierung von Rutschgebieten befaßt. Im Rahmen dieses Aufgabenbereiches galt es, das Gefahrenpotential des Gschliefgrabens zu erfassen und ein Sanierungskonzept zu erstellen. In den Jahren 1979 bis 1985 wurde in dem 2,8 km² großen Einzugsgebiet des Gschliefgrabens das Nährgebiet eines mächtigen Schuttstromsystems in der Flyschzone untersucht, um die Ursachen seiner Entstehung und die Möglichkeiten seiner Stabilisierung zu erkunden. Schwerpunktartig wurde hierbei der Einfluß der Vegetationsdecke auf die Bodenstabilität untersucht.

2. CHARAKTERISTIK UND BEDEUTUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

2.1 GEOGRAFISCHE LAGE:

Das 2,8 km² große Einzugsgebiet des Gschliefgrabens liegt im Verzahnungsbereich der nördlichen Kalkalpen und der Flyschzone am Ostufer des Traunsees, Bezirk Gmunden, Oberösterreich. Das Niederschlagsgebiet erstreckt sich von 420 bis 1250 m Seehöhe, 13° 15' östliche Länge, 47° 53' nördliche Breite.

2.2 GEOLOGIE:

Der geologische Aufbau wird von folgenden großtektonischen Einheiten geprägt: von N nach S finden wir Flysch, Helvetikum als geologisches Fenster, Reste des südlichen Flyschschenkels, Klippenzone, Kalkalpen. Die Grabensohle besteht aus Sandstein, Mergel und tonigem Schiefer. Eine ausgeprägte, tektonische Störungslinie verläuft längs des Tales und erklärt das zerrüttete Gefüge und die Verwitterungsempfindlichkeit von Mergel und Tonschiefer. Der vorherrschende Bodentyp ist Pseudogley mit StauhORIZONTEN in unterschiedlicher Tiefe.

2.3 HYDROLOGIE:

Der Jahresniederschlag liegt je nach Seehöhe zwischen 1400 und 2000 mm. Der höchste Tagesniederschlag erreicht 200 mm. Es kommt zu Regenperioden bis zu 14 Tagen.

2.4 WIRTSCHAFT:

Das Einzugsgebiet ist zur Gänze Waldfläche mit Ausnahme eines Großteiles des Schuttkegels, der sowohl Wohngebiet ist als auch landwirtschaftlich genutzt wird. Seit 1895 bzw. 1910 sind die vernähten Standorte in Bann gelegt, wobei jegliche Nutzung ruht; das übrige Einzugsgebiet ist erklärter Schutzwald und wäre als Plenterbetrieb mit hundertjähriger Umlaufzeit zu bewirtschaften.

2.5 BEKANNTE KATASTROPHEN:

Um 1660 wird das Harschengut zerstört. 1713 Zerstörung von zwei Kalköfen, weitere zwei Liegenschaften werden vermut. 1723 Verschüttung eines Kalkofens. 1734 werden vier Gehöfte und sechs Liegenschaften in den Traunsee geschoben. 1899 zerstört ein Murgang das Haus Eisenau. 1910 zerstört ein Erdstrom einen Jungwald und einen Obstgarten und nähert sich drei Wohnhäusern, die wegen der drohenden Gefahr evakuiert werden. Kleine Vermurungen ereignen sich in den Jahren 1920, 1942, 1947, 1945 und 1977.

2.6 EROSIONSDYNAMIK:

Tiefen- und Seitenschurf führt zur Unterschneidung der Lehnen. Blattanbrüche über Tonmergel und Tonschiefern sind die häufigsten Erosionsformen. Am offenliegenden Tonschiefer setzt flächenhafte Erosion ein. Im Talschluß erfolgt eine Blockbewegung; durch rück-schreitende Erosion wird hier der auflastenden Kalkbreccie die tonige Unterlage entzogen. Die Berecciendecke zerbricht in Schollen, die langsam talwärts trift. Episodische Felsstürze an der Nordwand des Traunsteines dämmen den Hauptgraben ab und bewirken eine Zwischenakkumulation des Schuttganges.

2.7 WALDBAULICHE SITUATION: Mit der Bannlegung im Jahre 1885 und 1910 wurde sowohl die Waldweide als auch die Streunutzung unterbunden. Wegen der Bringung und der vorgeschriebenen stammweisen Nutzung unterblieb nahezu gänzlich die Bewirtschaftung des Waldes. Die Nutzung beschränkte sich bis 1970 auf die Servitutberechtigten. Die gleichaltrig und einschichtig aufgebauten Bestände in einem sehr guten Wuchsgebiet sind heute mit ca. 130 Jahren reichlich überaltert.

3. STAND DER UNTERSUCHUNGEN IM EINZUGSGEBIET UND DEREN ERGEBNISSE

3.1 Eine geomorphologische Kartierung des Schuttkegels ergibt eine Vielzahl von Erd- und Schuttgängen, die sich altersmäßig relativieren lassen.

3.2 Zwei Aufschlußbohrungen bis 16,5 und 61 m zeigen lagenweise Differenzierungen von zahlreichen Schuttstromdeponien, die sich auf Grund von organischen Fundstücken mit der Radiokarbonmethode absolut datieren ließen. Demnach sind die jüngsten Schuttströme jünger als 220 Jahre und die tiefsten Deponien sind 10.090 Jahre alt.

3.3 Kartierung der Wasserläufe, Quellaustritte und Bestimmung der unterirdischen Hangwasserzüge durch Einspeisung von Uranin.

3.4 Erfassen des Querschnittes des Schuttstromes mit Hilfe von Bodenson-dierungen. Die Tiefen liegen zwischen 3,5 und 12 m bei 30 bis 70 Metern Breite.

- 3.5 Mit Hilfe der sondierten Querschnitte und der beobachteten Geschwindigkeitsverteilung ergibt die jährliche Schuttfracht 4.200 m³. Das Massenpotential im Katastrophenfall wird mit 1,0 Mio. m³ gutachtlich festgelegt.
- 3.6 Niederschlag und Abfluß wird ganzjährig über einen Hydrograph und einen Abflußpegel beobachtet.
- 3.7 Die Schwebstofffracht wurde über Jahresabfluß und Schwebstoffkonzentration mit 2.160 t errechnet.

4. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Mit dem Ziel, jene natürlichen Vegetationseinheiten zu finden, die ein hohes Maß an Bodenstabilität bewirken, wurden die nachfolgenden Untersuchungen angestellt. Hierbei stand die Erkundung der natürlichen Sukzession im Vordergrund. Die einzelne Vegetationseinheit als umfassender Standortsindikator wurde das Bezugselement der Untersuchungsreihe. Von der Vegetationseinheit werden Rückschlüsse auf die relative Bodenstabilität erwartet. Die Untersuchungen erfolgten unter Beratung des Waldbauinstitutes (Prof. H. Mayer) und des Institutes für Wildbach- und Lawinenverbauung (Prof. Aulitzky) der Universität für Bodenkultur, Wien.

- 4.1 Ausscheiden und Kartieren der natürlichen Sukzessionsstufen.
- 4.2 Bestimmung der bodenphysikalischen Kennwerte in den charakteristischen Standortstypen durch die Bodenprüfstelle der O.Ö.Landesregierung.
- 4.3 Sondierung der Verwitterungsdecke mit der Schlagbohrsonde zur Erfassung von Konsistenzgrenzen und insbesondere zur Bestimmung von Gleithorizonten.
- 4.4 Geoelektrische Sondierung nach der symmetrischen Schlumbergeranordnung zur Erfassung von tiefliegenden Diskontinuitäten. Die Eichung der Sondierung erfolgte an den beiden Aufschlußbohrungen bis 16 m und 61 m Tiefe. Ausführung durch die Bundesanstalt für Geologie, Wien.
- 4.4 Flächenhafte Bestimmung und Kartierung der abgleitenden Schutt-schollen in den einzelnen Vegetationstypen und Messen des Bewegungsablaufes.
- 4.5 Beobachtung des Bodenwassers im Jahresgang zwischen 1980 und 1984 über drei Pegelschreiber und 44 Standrohre. Die Grundwasserpegel von 3 - 4 m Tiefe wurden im obersten Nährgebiet in Quer- und Längsprofile angeordnet, Mulden- und Kuppenlagen besonders betont und

die charakteristischen Vegetationseinheiten ausgewählt. (Abb.2)

5. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

5.1 SUKZESSIONSSTUFEN

Die Entwicklung beginnt auf wasserzügigen, tonreichen, wenig belüfteten und verdichteten Unterhangböden (Pseudogley). Mit zunehmender Transpirationskraft des Bestandes und reichlichem Streuabfall verliert der Boden seinen Wasserüberschuß in den obersten Horizonten, die Belüftung wird verbessert, ein humoser Mineralboden entwickelt sich und allmählich werden Standortbedingungen geschaffen, die anspruchsvollen ökologischen Artengruppen entsprechen. Die Entwicklungsserie entspricht der "Kühlen Rotbuchenstufe" (Aichinger) und beginnt mit dem Weiss-Erlenstadium, durchläuft das Eschen-Bergahornstadium und endet schließlich als Klimaxgesellschaft bei Fichten-Tannen-Buchenwald (H. Mayer).

5.11 WEISS-ERLENTYP

5.111 INITIALER WEISS-ERLENTYP: Alter 0 - 10 jährig, lockere Erstbestockung auf umgelagertem Rohboden;

Holzartenanteil 10 WEr, Höhe 1 - 8 m, Stammzahl/ha: 3000 - 6000;

Leitpflanzen: Huflattich (*Tussilago farfara*)

Bachkälberkropf (*Chaerophyllum cicutaria*)

Sumpfpippau (*Crepis paludosa*)

Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*)

Gr. Schachtelhalm (*Equisetum talmeteja*)

Hängesegge (*Carex pendula*)

5.112 OPTIMALER WEISS-ERLENTYP: Alter 10 - 20 jährig, Höhe 10 - 12 m

Holzartenanteil 10 WEr, Struktur zwei- bis mehrschichtig, Schlußgrad locker, Stammzahl/ha: 1.560; Grundfläche/ha 17,2 m²; Vorrat/ha: 79,2 vfm

Leitpflanzen: Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*)

Heckenkirsche (*Lonicera caprifolium*)

Riesenschwingel (*Festuca gigantea*)

Klettendistel (*Carduus personata*)

5.113 TERMINALER WEISS-ERLENTYP: Alter 20 - 30 jährig, Oberschichte WEr,

Eh, Unterschichte Fi, Höhe 15 - 18 m, Holzartenverteilung: 8 WEr, 2 Eh;

Stammzahlen/ha: 1.080, davon 700 WEr (40 +), 360 Eh, 20 Fi

Grundfläche/ha: 22,4 m², davon 18,7 WEr, 3,4 Eh, 0,3 Fi

Vorrat/ha: 188 vfm, davon 167 WEr, 20 Eh, 1 Fi

Leitpflanzen: Fichte (*Picea abies*)

Echtes Mädesüß (*Filipendula ulmaria*)

Weisse Pestwurt (*Petasites albus*)

Waldbinse (*Scirpus silvaticus*)

Rasenschmielen (*Deschampsia caespitosa*)

5.12 ESCHENTYP

- 5.121 INITIALER ESCHENTYP: Alter 30 - 40jährig, Eh dominiert mit WEr, Unterschichte Eh, Höhe 12 - 16 m, Struktur vielschichtig, Schlußgrad geschlossen;
 Holzartenverteilung: 4 Eh, 6 WEr;
 Stammzahl/ha: 7.050, davon 5.060 Eh, 1.610 WEr (170 +), 110 Fi, 270 Ul, Ah;
 Grundfläche/ha: 41 m², davon 16,6 Eh, 21,2 WEr (4,1 +), 2,2 Ah, Ul 1 Fi;
 Vorrat/ha: 274,5 vfm, davon 89 Eh, 164,5 WEr (28,5 +), 15 Ah, Ul, 6 Fi
 Leitpflanzen: Engelmurz (*Angelica silvestris*)
 Geflecktes Lungenkraut (*Pulmonaria maculosa*)
 Klebriger Salbei (*Salvia glutinosa*)
 Knotige Braunwurz (*Scrophularia nodosa*)
 Pfennigkraut (*Lysimachia nummularia*)
 Gilbweiderich (*Lysimachia vulgaris*)
- 5.122 TYPISCHE ESCHENPHASE: Alter 50-60 jährig, WEr bereits abgestorben, Oberschichte Eh, vereinzelt Fi, Unterschichte Bu, Höhe 18 - 22 m, Struktur zweischichtig, Schlußgrad geschlossen,
 Holzartenverteilung: 6 Eh, 2 WEr, 2 Fi
 Stammzahl/ha: 1.067, davon 720 Eh, 210 WEr, 120 Fi, 17 Bu
 Grundfläche/ha: 38 m², davon 18 Eh, 6 WEr, 12 Fi, 3 Bu
 Vorrat/ha: 324 vfm, davon 159 Eh, 28 WEr, 125 Fi, 12 Bu
 Leitpflanzen: Waldrebe (*Climatis vitalba*)
 Waldlabkraut (*Galium silvaticum*)
 Liguster (*Ligustrum vulgare*)
 Geißfuß (*Aegopodium podagraria*)
 Gelbes Windröschen (*Anemone ranunculoides*)
- 5.123 ESCHEN-BERGAHORNPHASE: Alter 60 - 70 jährig, Holzartenverteilung: 3 Eh, 4 Ah, 2 Ul, 1 Fi, Struktur zwei- bis mehrschichtig, Oberschichte Eh, Ah, Ul, Fi, Unterschichte Eh, Schlußgrad locker,
 Stammzahl/ha: 520, davon 220 Eh, 180 Ah, 40 Ul, 80 Fi,
 Grundfläche/ha: 29,5 m², davon 6,5 Eh, 15 Ah, 4,5 Ul, 3,5 Fi
 Vorrat/ha: 245 vfm, davon 47 Eh, 122 Ah, 43 Ul, 33 Fi
 Leitpflanzen: Gelbliche Hainsimse (*Lucula luzulina*)
 Wimperhainsimse (*Luzula pilosa*)
 Schattenblümchen (*Maianthemum bifolium*)
 Waldgeißbart (*Aruncus vulgaris*)
 Seidelbast (*Daphne mezereum*)
- 5.13 KLIMAXNAHE PHASE:
- 5.131 ESCHEN-FICHTEN-PHASE: Alter 80 - 100 jährig, Holzartenverteilung: 5 Fi, 3 Eh, 2 Ul; Struktur zwei- bis mehrschichtig, Schlußgrad locker,
 Stammzahl/ha: 760, davon 540 Fi, 180 Eh, 40 Ul
 Grundfläche/ha: 43,5 m², davon 27,8 Fi, 10,8 Eh, 4,9 Ul
 Vorrat/ha: 382 vfm, davon 244 Fi, 82 Eh, 56 Ul
 Leitpflanzen: Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*)
 Waldmeister (*Galium odoratum*)
 Sanikel (*Sanicula europaea*)
 Dreiblatt-Schaumkraut (*Cardamine trifolia*)
 Waldzist (*Stachys silvatica*)

Sauerklee (*Oxalis acetosella*)
 Weißsegge (*Carex silvatica*)

5.132 FICHTEN-TANNEN-BUCHEN-PHASE: Alter 100 - 150 jährig, Oberschichte Fi-Ta-Bu, Unterschichte Eh; Sturktur ein- bis zweischichtig, Holzartenverteilung: 7 Fi, 3 Bu; Schlußgrad locker; Stammzahl/ha: 773, davon 650 Fi, 117 Bu, 6 Ta Grundfläche/ha: 51 m², davon 37 Fi, 12 Bu, 2 Ta Vorrat/ha: 598, davon 400 Fi, 167 Bu, 31 Ta Leitpflanzen: Berg Ehrenpreis (*Veronica montana*)
 Einbeere (*Paris quadrifolia*)
 Lungenkraut (*Pulmonaria maculosa*)
 Sanikel (*Sanicula europaea*)
 Sauerklee (*Oxalis oxalis*)
 Frauenfarn (*Athyrium filix femina*)
 Waldwitwenblume (*Knautia silvatica*)
 Waldvergißmeinnicht (*Myosotis silvatica*)

5.14 KAHLSCHLAGFLÄCHE: Üppige Schlagvegetation auf Pseudogley, 4 - 7 jährige Fichtenkulturen.

5.15 SCHUTTGANG: ständig umgelagerter Schutt aus Tonschiefer, Sandstein und Mergel. Eingebettet Bäume, Wurzelstöcke, Breccienbrocken. Vegetationslos bis üppige Huflattichdecke.

5.2 BODENPHYSIKALISCHE KENNWERTE

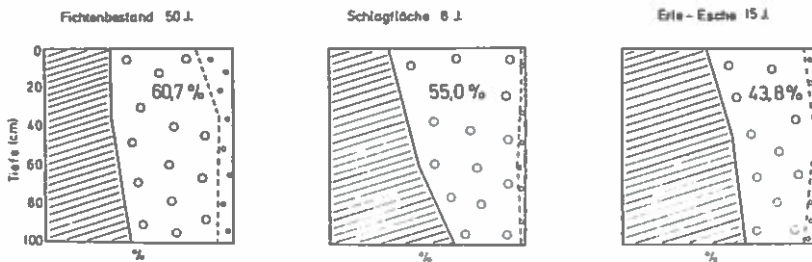
	Klimaxnahe Phase	Erlen- phase	Schlag- fläche	Schutt- gang	
Fließgrenze	95,5	50,3	47,0	47,3	43,2
Rollgrenze	36,3	28,6	22,2	22,6	23,1
Porenziffer	1,45	0,80	0,75	0,81	0,75
Sättigungsgrad	0,86	0,95	0,82	0,93	0,88
Raumdicke trocken	1,09	1,51	1,56	1,51	1,56
Raumdicke feucht	1,60	1,94	1,91	1,92	1,94
Wassergehalt (Gew.%)	46,6	27,8	22,5	27,6	24,2
Bruchspannung im Triaxialversuch bei Zelldruck 0 (N/cm ²)	4,2	4,2	2,6	3,3	2,6

Aus dieser Charakteristik entnehmen wir die bodenphysikalischen und forsthydrologischen Vorzüge der klimaxnahen Vegetationseinheit. Ihre "atterbergischen" Grenzen liegen fast doppelt so hoch wie bei allen übrigen, zumeist umgelagerten oder nachverdichteten Böden. Ähnliches gilt für das Porenvolumen und hohe Wasserspeicherefähigkeit; während der klimaxnahe Wald bei 46,6 Gewichtsprozent Bodenfeuchte erst 86 % seines Sättigungswertes erreicht hat, ist etwa der Erlenboden mit 27,8 Gewichtsprozent beinahe gesättigt. Sehr augenfällig wird dieses unterschiedliche Speicherverhalten beim Betrachten der Lagerungsdichte

und des Porenvolumens der Abb. 1, eine weitere Untersuchungsreihe vom Dezember 1982. Der bereits bei alten Rutschvorgängen zerstörte Erlenboden sowie das Material des Schuttstromes sind mehrfach umgelagert, der Schlagboden erfährt eine Nachverdichtung - insbesondere in tieferen Zonen - und somit haben diese Böden höhere Raumdichten, geringere Speicherkapazitäten, niedere Fließgrenzen und sind besonders rutschgefährdet. Hinzu kommt, daß das schluffige Material des Schuttstromes und des Bodens der Erlenphasen so reich an Feinstporen ist, sodaß ein Großteil kapillargebunden bleibt, ohne absickern zu können. Diese Böden sind immer vollgesogen wie ein Schwamm und können kaum Niederschläge speichern. Dies erklärt auch den ausgeglichenen Jahresgang des Sickerwasserpegels (Abb. 2).

LAGERUNGSDICHTE - PORENVOLUMEN GSCHUEFGRABEN

Abb. 1



5.3 LAGE VON POTENTIELLEN GLEITFLÄCHEN

5.31 RÜCKENLAGEN

Klimaxnahe Phase	Eschen- phase	Erlen- phase	Kahlschlag	Erd- und Schuttgang
Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe
5 (3,90)	9 (2,10)	2 (2,50)	3 (1,30)	
33 4,2	55 1,70	14 1,80		
34 4,0	56 2,30			
	57 1,90			
	58 3,10			

5.32 MULDENLAGEN, UNTERHANLAGEN

Klimaxnahe Phase	Eschen-phase	Erlen phase	Kahlschlag	Erd- und Schuttgang
Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe	Nr. Tiefe
1 2,40	15 2,10	29 2,0	6 1,50	16 1,0
4 2,20	17 2,30	30 1,8	11 3,10	12,0
3,90	18 1,50	31 1,0	12 3,50	41 3,8
8 2,10	29 2,0	32 1,30	13 3,80	42 3,20
10 2,60	30 1,7		7 -	43 3,30
3,90	31 1,0			44 1,20
33 3,3	32 1,2			45 2,10
34 4,0				46 0,30
53 4,2				47 1,70
54 3,10				48 1,40
				49 (2,0)
				50 2,20
				51 (2,10)
				52 2,40

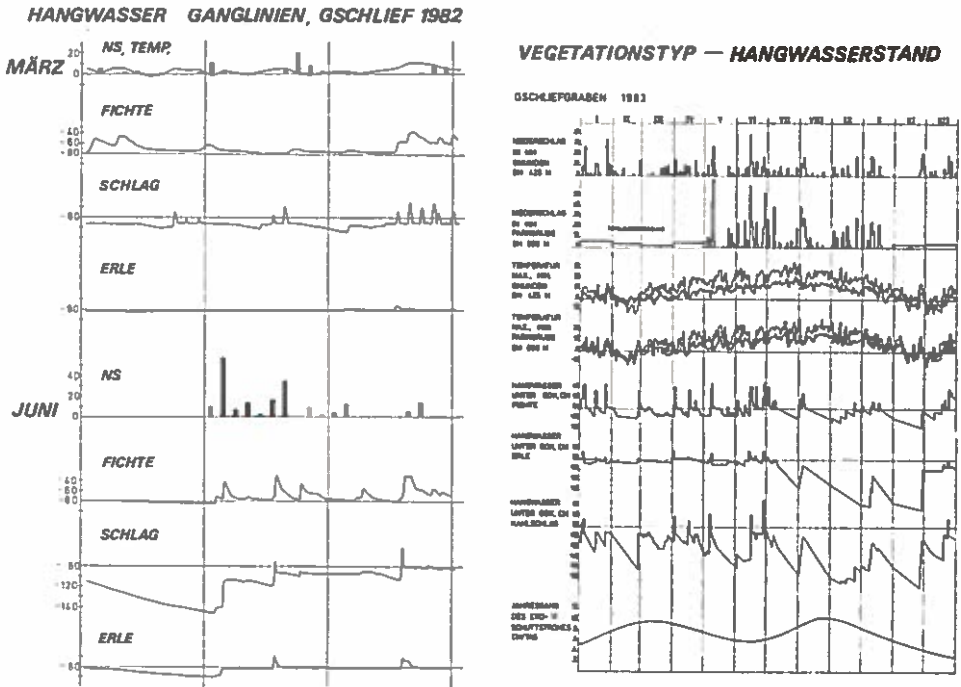
Wenngleich diese Sondierungspunkte auf 30 ha verteilt sind und die Ausbildung von Stauhorizonten von vielen Parametern abhängt, so fällt dennoch eine gewisse Gruppierung der Bodenaufschlüsse in Abhängigkeit von den Vegetationseinheiten auf; wenngleich die Lage der Gleithorizonte in der Eschenphase und in der Erlenphase so weit streut, so daß kein differenzierender Einfluß der Vegetationseinheit abgeleitet werden darf, so ist in der klimaxnahen Phase ein deutlich tiefer gelegener Gleithorizont wahrnehmbar. Ein stabilisierender Einfluß der reiferen Entwicklungsphasen ist auch in der steiferen Konsistenz des B-Horizontes augenfällig.

5.4 SCHOLLENFÖRMIGER BODENABTRAG (Abb. 4)

Die beiden Momentaufnahmen in den Jahren 1979 und 1985 über die schollenförmige Ablösung der Verwitterungsdecke zeigt auf den ersten Blick eine erhöhte Sensibilität in den jüngsten Entwicklungsphasen, im Kahlschlag und in der Klimaxgesellschaft des Fi-Ta-Bu-Waldes, während im Eschenstadium und auch im klimaxnahen Stadium des bis 100 jährigen Eh-Fi-Bestandes keine Ablösungen und keine Bewegungen beobachtet wurden. Eine starre Interpretation der Abb. 3 könnte fälschlich zum Schluß führen, daß die Entwicklungsstadien 1 und 2 sowie der Kahlschlag extrem instabil sind. Eine dynamische Betrachtungsweise der Erosionsvorgänge weist für den Kahlschlag die höchste Sensibilität aus. An zweiter Stelle folgt die überaltete Klimaxgesellschaft Fi-Ta-Bu-Wald. Die hohen Flächenanteile im Erlenstadium nehmen ihren Ausgang von der zusammengebrochenen Klimaxgesellschaft, die sich auf ihrer Talfahrt vorerst gänzlich zerstört und zu einem Schuttstrom deformiert und sich schließlich als initiales Erlenstadium neu besiedelt und konsolidiert. Die Verfestigung der Verwitterungsdecke nimmt somit ihren Ausgang im frühen Erlenstadium und erreicht im klimaxnahen Eh-Fi-Bestand ihr Optimum. Mit dem Ablösen von mächtigen, bestockten Verwitterungsschollen im Klimaxstadium ist der langjährige Erosionszyklus geschlossen.

5.5 GANGLINIEN DES HANGWASSERS

Abb. 2



Aus der vierjährigen Beobachtungszeit kann innerhalb der vier extremen Standortseinheiten das Typushafte der unterschiedlichen Ganglinie folgendermaßen interpretiert werden:

5.51 KLIMAXNAHE PHASE

Die Spiegelschwankungen erreichen im Maximum 80 cm und sind übereinstimmend mit den Niederschlägen über das Jahr verteilt. Der Pegelanstieg ist rasch und fällt sehr langsam ab, ein Ausdruck des Feinporengehaltes und der Speicherkapazität eines reifen Entwicklungsstadiums.

Abb. 3

Bodenabtrag

pro Jahr

in den einzelnen

Sukzessionen

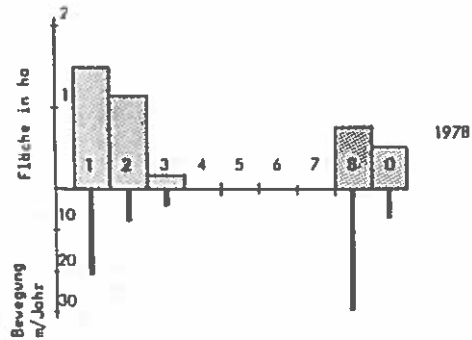
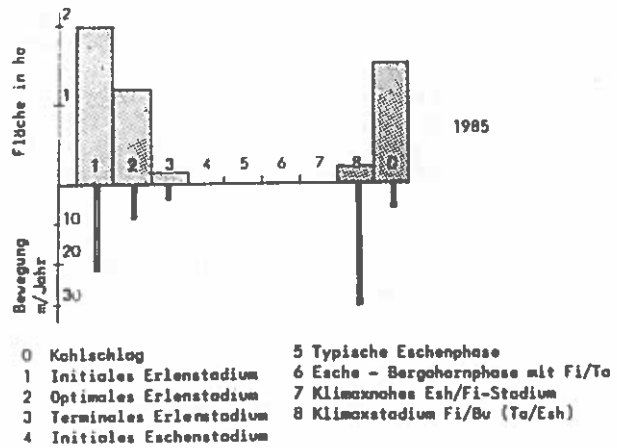


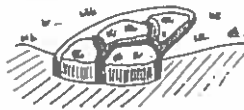
Abb. 4

Bewegungsphasen

des

Schuttstromes

1) RUTSCHUNG IN BLOCKFORM



2) DEFORMATIONS-PHASE



3) VISKOSES FLIEßEN



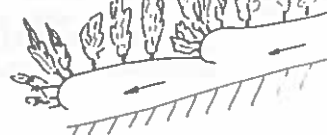
4) DER PROPPEN



5) ÜBERPLATTUNG



6) AUFKROPPFUNG



5.52 KAHLSCHLAG: Die Pegelablesungen schwanken bis zu 150 cm im Jahresgang und koinzidieren mit den Niederschlagsereignissen. An- und Abstieg der Hangwasserschwankungen sind steiler als im Waldboden. Die Schwankungen sind nahezu doppelt so hoch wie im Waldboden. Dies deutet auf einen erhöhten Anteil an groben Kapillaren hin, sowie auf eine Einbuße an Feinstporen. Auf den Abfluß wirkt somit die Schlagfläche verzögernd aber nur schwach reduzierend.

5.53 ERLPHASE: Die Spiegelschwankungen sind sehr schwach ausgeprägt. Der Sickerwasserstand liegt permanent sehr hoch und steigt nur bei Extremniederschlägen sprunghaft an und fällt jäh ab. Die Lagerungsdichte und das geringe Porenvolumen gestatten nahezu kein Speichervermögen.

5.55 SCHUTTGANG: Das Hangsickerwasser liegt ganzjährig knapp unter der Oberfläche. Die Spiegelschwankungen übersteigen kaum 20 cm im Jahresgang. Das hydrologische Verhalten des Schuttganges ist ähnlich jenem des initialen Erlenstadiums.

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die bisherigen Untersuchungen im Gschliefgraben haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- * Die Vegetationsentwicklung steht mit dem Substrat in einer engen Wechselbeziehung.
- * Mit der Fortentwicklung der einzelnen Sukzessionen wird die Hangstabilität des durchwurzelten Bodens meßbar erhöht (siehe Bodenkennwerte) und erreicht zyklushaft in der klimaxnahen Phase das Maximum.
- * Gerade im Klimaxstadium, in der die Bodenkennwerte am günstigsten sind, kommt es zum schollenartigen Abgleiten längs praeformierter Gleitbahnen. Ähnliches wurde vereinzelt auch im terminalen Erlenstadium beobachtet, in denen die Überleitung zum Eschenstadium gestört war oder dieses zu überspringen versuchte.
- * Kahlschlagflächen sind extrem labil, insbesondere nach Vermoderung des alten Wurzelsystems (5 - 10 Jahre).

6.1 KLÄRUNGSVERSUCH: Das schlagartige Ablösen der durchwurzelten Verwitterungsdecke in der späten Klimaxphase steht eigentlich im Widerspruch zu den bodenmechanischen Kennwerten und wird folgendermaßen zu klären versucht:

- * Die Bodenstruktur im B-Horizont mit ihrem stabilen Meßwert wird nicht zerstört. Der Scherbruch erfolgt am wasserstauenden C-Horizont.
- * Mit zunehmendem Alter nimmt die Transpirationskraft des Waldes ab (Mitscherlich), was eventuell für eine erhöhte Durchfeuchtung des Stauhorizontes wesentlich sein mag.
- * Die abgleitenden Klimaxstandorte befanden sich durchwegs exponiert. Einerseits sind sie auf Grund der eigenen Bestandeshöhe und auch wegen der vorherrschenden Rückenlage dem Wind ausgesetzt. Das Wiegen der hohen Kronen überträgt sich über einen starren Schaft stampfend auf den Wurzelstiel und führt hier zu Diskontinuitäten in der Verwitterungsdecke.

Andererseits sind die inselartigen Klimaxstandorte stets von Gräben mit kurzer aber steiler Uferböschung umgeben, so daß ein horstweises Loslösen erleichtert wird.

6.2 PRAKTISCHE BEDEUTUNG

Die Sukzessionsstufen 6 und 7 gelten nach fünfjährigen Beobachtungen und Messungen als die stabilsten. Es ist daher erstrebenswert, diese Stadien sowohl bald zu erreichen, als auch lange zu erhalten. Ein rasches Umsetzen in höhere ökologische Einheiten läßt sich durch zweierlei Eingriffe fördern. Zum einen mit gezielten Tiefdrainagen, die sehr wirkungsvoll auf kleinem Raum sein können, aber überaus kostspielig sind. Zum anderen durch Einbringen von Pflanzen auf ausgewählten Standorten, die zur nächsthöheren Sukzession überführen. Hiefür eignen sich je nach Entwicklungsstadium Esche, Tanne, Bergahorn in Form von Unterbau oder Voranbau. Wir warten nicht, bis die Natur das Umsetzen einleitet, sondern helfen - die Entwicklung abschätzend - vorausschauend mit. Sowohl die technischen als auch die biologischen Verfahren wurden im Gschlieffgraben mit Erfolg angewandt.

Die Entwicklung eines gleichaltrigen 150 jährigen Fi/Ta/Bu-Bestandes wird durch ein rechtzeitiges Überführen in einen Plenterbetrieb vermieden. Überaltete, klimaxnahe Bestände, wie sie leider in großem Maße vorhanden sind, werden femelartig verjüngt - ein Überleitungsprozeß auf großer Fläche, der in Anbetracht des gestörten Wasserhaushaltes für das gesamte Einzugsgebiet sicherlich ein Schwächestadium darstellt.

7. LITERATURHINWEIS

- Aichinger, E.: Pflanzen als forstliche Standortsanzeiger. Wien 1967
- Aulitzky, H. (1980): Vorläufige Studienblätter zu den Vorlesungen Wildbach- und Lawinenkunde, Universität für Bodenkultur
- Baumgartner, P. (1976): Die Massenbewegungen im Gschlieffgraben bei Gmunden. Unveröffentlichte Dissertation Universität Innsbruck.
- van Husen, D. (1977): Zur Facies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerung im Trauntal. Jb. Geol. B.-A., Wien, 1977
- Jedlitschka, M. (1976): Der Einfluß der mechanischen Bodenverdichtung auf den Wasserabfluß im Flysch. Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 28, Heft 3/4, 1976
- Jedlitschka, M. (1984): Untersuchung der Nährgebiete von Erdströmen im Hinblick auf deren Stabilisierung am Beispiel des Gschlieffgrabens bei Gmunden, OÖ. Interpraevent 1984, Villach
- Laatsch, W., Grottenthaler, W. (1972): Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. Forstwirtschaft. Zentralblatt, 91. Jg., H. 6, Hamburg-Berlin

- Mayer, H. (1974): Wälder des Ostalpenraumes, Fischer-Verlag 1974.
- Mayer, H. (1976): Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege, Fischer-Verlag
Stuttgart, 1976
- Prey, S. (1953): Der Gschlifgraben in der Flyschzone bei Gmunden.
Mitt. Geol. Ges. in Wien, Band 44, 1953, Wien.
- Richard, F. (1973): Porengrößenverteilung und Entwässerbarkeit von
Böden, Bündnerwald, 26, 3/4, 1973 Zürich

III . P F L A N Z E N D E C K E -
W A S S E R Q U A L I T Ä T U N D
- Q U A N T I T Ä T

DER EINFLUSS VON BODENNUTZUNG,
KULTURART UND ABFLUSS AUF DIE
WASSERQUALITÄT VON VORFLUTERN

THE IMPACT OF LAND USE, CROP SPECIES AND RUN-OFF
ON THE QUALITY OF STREAMS

von HANS SAMPL
Klagenfurt/Austria

EINLEITUNG

Im Rahmen einer Studie über den Einfluß von Nährstoffabschwemmung und Bodenerosion auf die Gewässereutrophierung wurde die Beziehung zwischen Bodenart, Bodennutzung, Kulturart sowie Abfluß und der Wasserqualität erhoben. Die Fernhaltung von Abwässern aus Seeneinzugsgebieten im Zuge des in Österreich durchgeführten Seensanierungsprogrammes hat die Frage aufgeworfen, welchen Anteil diejenigen Nährstoffmengen haben, die durch den Abtransport von landwirtschaftlichen Nutzflächen den Gewässern zugeführt werden.

Zu diesen Fragenkomplexen wurden gezielte Untersuchungen in ausgewählten Einzugsgebieten und an verschiedenen Versuchsfeldern durchgeführt. Der diffuse Stoffabtransport aus Einzugsgebieten kann in dreifacher Weise erfolgen:

- Auswaschung von gelösten Stoffen durch den Boden hindurch in das Grundwasser
- Abschwemmung von auf dem Boden aufgetragenen Stoffen (tierische Ausscheidungen, Abfälle aller Art, Gülle, Jauche, Senkgrubeninhalte, Mineraldünger, Abwasser)
- Erosion von festen Bodenbestandteilen

QUANTIFIZIERUNG DES NÄHRSTOFFABTRANSPORTES

Als natürliche Grundlast aus landwirtschaftlich ungenutzten Einzugsgebieten (Wald, Ödland, unberührtes Moor) wurde mit Ausnahme von Sonderfällen im Mittel folgender Abtransport an Nährstoffen bestimmt:

0,06 kg/ha.a Phosphor-gesamt

1,3 kg/ha.a Stickstoff (TIN)

Die Auswaschung mit dem Sickerwasser in den Untergrund wurde mit

0,06 kg/ha.a Phosphor-gesamt

auf Grund von Lysimeterversuchen ermittelt. Dieser Wert reiht sich gut in den Bereich der in der Literatur angegebenen Werte ein. Vielfach wurde in älterer Literatur die Meinung vertreten, daß Phosphor überhaupt nicht mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird. Dies hatte sicherlich jedoch nur methodische Gründe. Die Grund- und Quellwässer Kärntens, über die es eine Vielzahl diesbezüglicher Messungen gibt, weisen in der Regel nur sehr niedrige P-Konzentrationen auf (3-10 µg/l). Darüberliegende Werte deuten in der Regel auf Abwasser-einfluß hin. Einen Sonderfall stellen die Auswaschungsvorgänge bei der Moorentwässerung dar. Bei tiefgründig entwässerten Hochmoorflächen wurde eine Nährstoffauswaschung von 3,2 kg/ha.a Phosphor-gesamt am Beispiel des Bleistätter Moores in Kärnten (SAMPL u. SCHULZ 1979) festgestellt. Das vollständig drainierte Poldergebiet des Bleistätter Moores (Ossiacher See, Kärnten) stellt jedoch den höchsten Phosphoraustrag dar, der in Österreich gemessen wurde. Mengen in ähnlicher Größenordnung werden auch von BERNHARDT (1978) berichtet: 4-7 kg/ha.a Phosphor-gesamt, von KUNTZE (1974): 6-7 kg/ha.a und von KRETZSCHMAR (1979) sogar 14 kg/ha.a.

Große Unsicherheiten liegen in der Abschätzung des Nährstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und hier streuen die Angaben in der Literatur am größten, was sich jedoch daraus erklärt, daß nie eindeutig angegeben wird, ob das jeweilige Gewässer nicht auch durch Abwasser ("diffuse Abwasserbelastung") belastet ist. Die Untersuchungen an einigen mit Sicherheit nicht durch Abwasser belasteten Gewässern in Österreich, die landwirtschaftlich genutzten Flächen entstammen, ergaben einen Phosphorexport im Mittel von ca.

0,2 kg/ha.a P-gesamt.

Die Nährstoffmengen von 0,06 kg P/ha.a, die aus Wald, Ödland oder Moor abtransportiert werden, sind im Vergleich zu jenen, die aus landwirtschaftlich genutzten Flächen entstammen, deutlich geringer.

Bei allen anderen Gewässern, die höhere Nährstoffausträge aufweisen, ist entweder eine gewisse Abwasserbelastung gegeben oder es handelt sich um Sonderfälle, wie hohe Nährstofffrachten aus Gebieten mit einer hohen natürlichen Nährstofffracht (Wasser aus "Laublagen" oder aus Bereichen mit ständig hoher Erosion oder um Einzelereignisse wie Abschwemmung, Erosion oder um drainierte Mooregebiete). Der Wert von 0,2 kg/ha.a Phosphor-gesamt wurde in Einzugsgebieten gemessen, bei denen die vorgenannten Ausnahmen nicht zu beobachten waren und die eine übliche Bewirtschaftungsform aufweisen, wie dies

für das Kärntner Seengebiet oder für die Seen des Salzkammergutes zutrifft.

Sonderfälle stellen Hochwasserereignisse dar, wobei der Nährstoffabtransport jedoch nur in seltenen Fällen der landwirtschaftlichen Bodennutzung zuzuschreiben ist. Der Anteil der Nährstofffracht, der bei Hochwässern transportiert wird und der der landwirtschaftlichen Bodennutzung entstammt, läßt sich auf Grund von Messungen an Gewässern, die ein gewisses Gebiet entwässern, nicht abschätzen.

Dies ist jedoch möglich bei Messungen, die die direkte Abschwemmung und Erosion von landwirtschaftlichen Nutzflächen zum Gegenstand haben. Die Untersuchungen von kleinen Einzelparzellen geben jedoch auch keinen Aufschluß über die Gesamtmengen, sondern lediglich den relativen Abtransport bei unterschiedlicher Nutzungsform. Um die tatsächlichen Mengen abschätzen zu können, ist es möglich gewesen, auf Grund von Einzelereignissen die tatsächlichen Mengen zu bestimmen, die im Zuge von Schneeschmelze oder Starkregen abtransportiert werden. Wenn diese Mengen direkt in einen Vorfluter gelangen, bzw. in einen See, so können diese Mengen zweifelsohne für die Abschätzung des Nährstoffexportes von landwirtschaftlichen Nutzflächen herangezogen werden. Eine Reihe von Einzelbeobachtungen hat ergeben, daß der Abtransport in Form von abgeschwemmten oder erodiertem Material beim Einzelereignis innerhalb weniger Tage

0,4-1,0 kg/ha P-gesamt pro Einzelereignis betragen kann. Bei einem Auftreten von ca. 10 mal pro Jahr ergibt dies 4-10 kg/ha.a, im Mittel 7 kg/ha.a.

Von diesen Ereignissen sind jedoch niemals große Teile des Einzugsgebietes betroffen, sondern lediglich hängige Ackerflächen, die direkt an ein Gewässer heranreichen. Trotzdem kann ein derartiger Vorfall einen beträchtlichen Anteil des Jahreseintrages verursachen. Auf Grund der Tatsache, daß derartige Ereignisse aber bei Gewitterregen des öfteren stattfinden können, ist eine mehrmalige Menge der oben angegebenen Fracht durchaus im Bereich des Möglichen. Dieser Sachverhalt muß insbesondere dort berücksichtigt werden, wo Seen von intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Ackerbau in Hanglage umgeben sind.

Wie bereits festgehalten, setzt sich die Gewässerbelastung durch die landwirtschaftliche Bodennutzung aus 3 Komponenten zusammen:

- Auswaschung
- Abschwemmung
- Erosion

Wenn man die gewonnenen Ergebnisse auf die einzelnen Komponenten aufteilt, so ergibt sich nachstehendes Bild:

Die Auswaschung von Phosphor als Sickerwasser in den Untergrund ist in der Regel vernachlässigbar klein und beträgt - wie oben ausgeführt - für österreichische Verhältnisse im Mittel 0,06 kg/ha.a. Einen Sonderfall der Auswaschung stellt zweifelsohne die Dränagierung und Entwässerung von Hochmoorböden dar. Hier kommt es wegen des geringen Phosphorrückhaltevermögens derartiger Böden und auf Grund anaerober Verhältnisse im Boden zum Teil zu sehr hohen Auswaschungsverlusten, die bis zu einigen Kilogramm/ha.a betragen können. Als höchster Wert für Beispiele aus Österreich wurde 3,2 kg/ha.a im Poldergebiet des Bleistätter Moores am Ossiacher See gemessen.

Die Abschwemmung von gelösten Substanzen von landwirtschaftlichen Nutzflächen ließ sich nur auf Grund von Einzelbeobachtungen anlässlich von Schneeschmelzeereignissen erheben. Es kann zu einem Phosphorabtransport bis zu 3 kg/ha pro Einzelereignis kommen, wenn gefrorener Boden gedüngt wird, wie dies gelegentlich noch gehandhabt wird. Bei nicht gefrorenem Boden läßt sich der Anteil der Abschwemmung nicht vom Anteil der Erosion trennen, weil in der Regel neben gelösten Anteilen auch partikuläre Anteile abtransportiert werden.

Die Erosion landwirtschaftlich genutzter Böden kann in ungünstigen Fällen (Schneeschmelze, Starkregen) Werte von 0,4-1,0 kg/ha anlässlich eines Einzelereignisses erreichen. Dies trifft jedoch in der Regel nur bei Böden ohne ausreichende Vegetationsdecke (Brache, Mais) zu. Besondere Aufmerksamkeit verdient der Maisanbau in den Einzugsgebieten der Seen, da diese Kulturart lange Perioden mit fehlender oder geringer Vegetationsbedeckung schafft. So hat z.B. KARL 1979 im Experiment festgestellt, daß im Frühjahr 40 %, im Sommer 30 % und im Herbst nach der Ernte 88 % des Niederschlages oberflächlich abfließen (für Winterweizen betrugen die entsprechenden Werte 8 %, 0 % und 0 %).

In einem natürlichen Vorfluter, der eine landwirtschaftlich genutzte Fläche entwässert, sind alle 3 Komponenten: Auswaschung, Abschwemmung und Erosion enthalten. Es werden sowohl über Einsickern in das Grundwasser, über oberflächliche Abschwemmung als auch über erodiertes Bodenmaterial dem Vorfluter Nährstoffe zugeführt.

- Auswaschung von meliorierten Moorböden bis 3,2 kg/ha.a P-ges.
- Abschwemmung von gefrorenen gedüngten Flächen bis 3 kg P-ges./ha pro Einzelereignis
- Erosion anlässlich von Schneeschmelze und Starkregen Ø 7 kg/ha.a P-ges.

Im OECD-Bericht 1973 werden für den Phosphorabtransport durch Erosion 0,5-5 kg/ha.a angegeben, wobei dieser Wert größenordnungsmäßig mit den österreichischen Ergebnissen übereinstimmt.

Als Durchschnittswert für ackerbaulich genutzte Flächen geben WELTE und TIMMERMANN (1982) für die Bundesrepublik Deutschland 0,2 kg P-ges./ha.a an.

Dieser Wert stimmt mit den für österreichische Verhältnisse erhobenen ausgezeichnet überein. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Messungen in den nicht sehr großen Einzugsgebieten österreichischer Seen gemacht wurden und somit für diese gelten. Allerdings kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob dieser Wert auch für anders strukturierte oder sehr flache und große Gebiete zutrifft.

In diesem Zusammenhang wird festgehalten, daß der Stickstoffabtransport aus landwirtschaftlichen Nutzflächen kein Problem der Gewässereutrophierung, sondern vielmehr ein Problem für die Trinkwassernutzung von Grundwasser infolge Nitratanreicherung darstellt (KEMMERLING 1983).

EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN DIFFUSEN NÄHRSTOFFAUSSTRAG VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZFLÄCHEN

Boden

Mit Hilfe von Versuchen an der Lysimeteranlage der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft in Gumpenstein (Steiermark) konnte der Einfluß der Bodenart auf die Auswaschung erfaßt werden. Inwieweit die Bodenart auch einen Einfluß auf Abschwemmung und Erosion hat, konnte auf Grund der eigenen Versuche und Freilandmessungen nicht eindeutig erfaßt werden. Angaben in der Literatur belegen jedoch, daß Bodenart und Oberflächenbeschaffenheit u.a. einen ausschlaggebenden Einfluß auf das Ausmaß der Erosion haben (Erosivität nach SCHWERTMANN 1980). Eigene Daten liegen lediglich hinsichtlich der Auswaschung in das Grundwasser vor.

Bei den Lysimeterversuchen Gumpenstein waren die einzelnen Lysimeter mit Braunerde- und Humuskarbonatboden in verschiedenen Profiltiefen gefüllt. Dabei hat sich sehr klar erkennen lassen, daß die Phosphorauswaschung in den Untergrund sehr gering ist, wobei kein Unterschied zwischen Humuskarbonaterde und Braunerde gegeben ist. Auf die geringe Mobilität des Phosphors im Boden wird in der gesamten einschlägigen Literatur deutlich hingewiesen (u.a. FURRER 1975, OTTO 1978), allerdings gibt es auch Einzelbeobachtungen, die von höheren Werten sprechen, dies dürfte allerdings auf die jeweilige Versuchsanordnung, Profiltiefe und Bodenart zurückzuführen sein.

Bei den Lysimeterversuchen Gumpenstein wurde in einer längeren Meßserie nachstehender Phosphorabtransport mit dem Sickerwasser (aus einer Bodensäule von 0,5-1,5 m Mächtigkeit) festgestellt:

Humuskarbonatboden 0,05-0,07 kg P-ges./ha.a
Braunerdeboden 0,02-0,07 kg P-ges./ha.a

Hinsichtlich der Nitratauswaschung ist im Gegensatz zum Phosphor ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Bodenarten zu erkennen (Abb. 1):

Humuskarbonatboden 1,2-38,7 kg NO₃-N/ha.a
Braunerdeboden 0,9-8,1 kg NO₃-N/ha.a

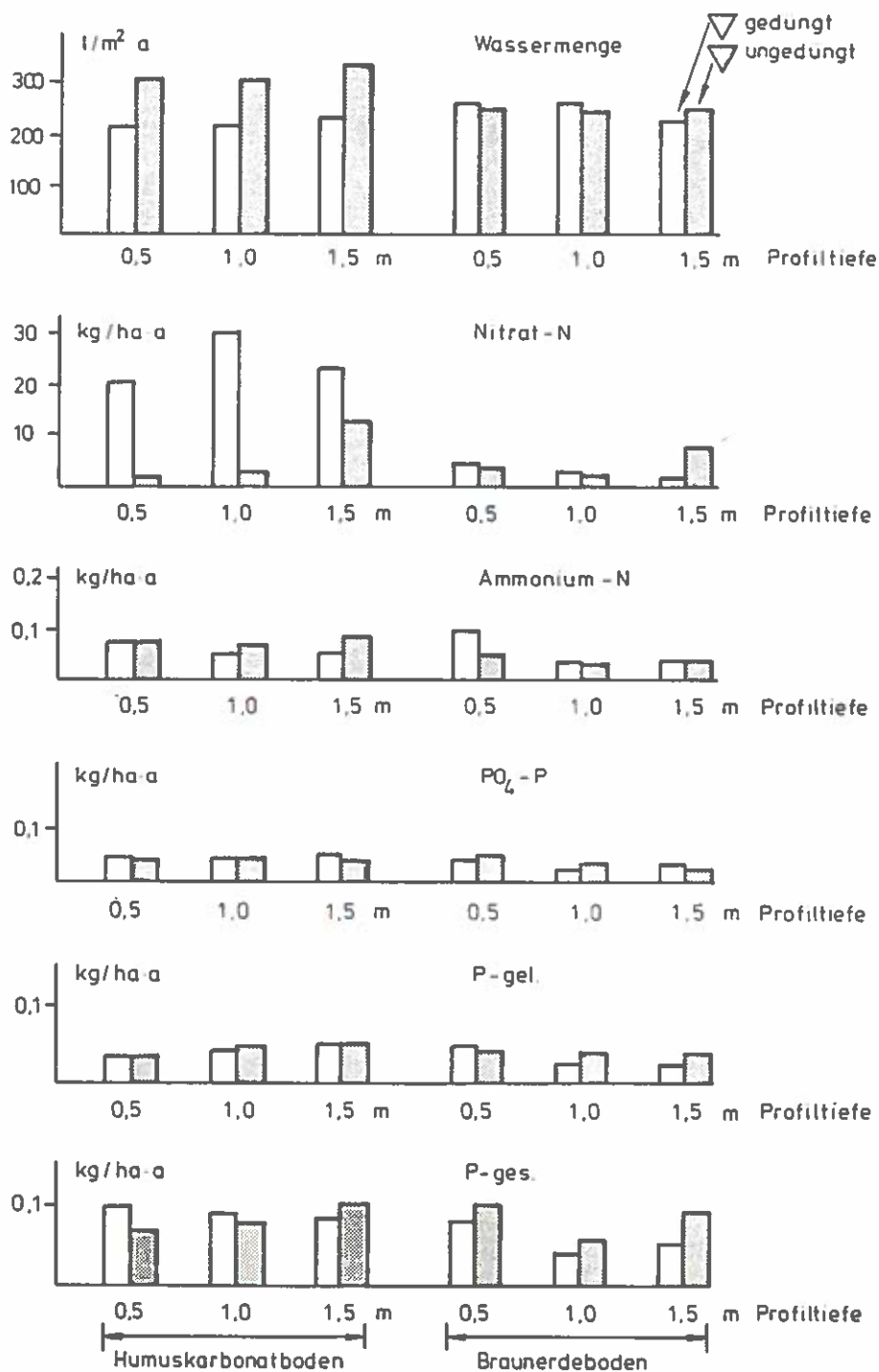


Abb. 1: Nährstoffauswaschung
Lysimeteranlage Gumpenstein (Stmk.)

Bodennutzung (Bearbeitung und Düngung)

Der Einfluß dieser beiden Faktoren ist naturgegebenermaßen groß, doch stößt die allgemeine Quantifizierung in der Regel auf große Schwierigkeiten. Betrachtet man die einzelnen Faktoren des Nährstoffabtransportes - Auswaschung - Abschwemmung - Erosion im einzelnen, so lassen sich einige allgemeine Feststellungen ableiten.

Auswaschungsverluste in das Grundwasser sind bei gedüngtem oder ungedüngtem Boden hinsichtlich des Phosphors nicht signifikant unterschiedlich. Die festgestellten Unterschiede sind zwar in ihrem Prozentanteil relativ groß, doch in absoluten Mengen so gering, daß sie überhaupt nicht ins Gewicht fallen. Es ist sogar häufig zu beobachten, daß gedüngte Böden einer geringeren Phosphorauswaschung unterliegen als ungedüngte. Dies gilt sowohl für unterschiedliche Bodentypen als auch für die unterschiedlichen Profiltiefen bei den verwendeten Lysimetern sowie für die Phosphorfraktionen P-gelöst und P-gesamt. Mit dem Verhalten des Phosphors in gedüngten und ungedüngten Lysimetern wird von FURRER 1975 ausführlich berichtet: "Die im Perkulationswasser gefundenen Mengen an gelöstem Phosphat lassen keine Steigerung der P-Auswaschung durch hohe Düngergaben erkennen. Die Menge des Perkulationswassers wird durch die Bepflanzung mit Gras deutlich reduziert, ohne jedoch den P-Gehalt/l zu beeinflussen. Daraus ergibt sich ein höherer P-Verlust/Lysimeter, wenn dieser unbepflanzt bleibt. Ein durch reichlichere Düngung gesteigertes Graswachstum bewirkt ebenfalls eine Reduktion des Perkulationswassers. Dabei erscheint auch hier der P-Gehalt/l kaum beeinflusst, so daß im Mittel bei den stark mit Phosphor gedüngten Lysimetern eher eine geringere P-Menge ausgewaschen wird als in den ungedüngten oder nur schwach gedüngten Lysimetern die bisherigen Resultate unseres Versuches mit Lysimetern zeigen, daß der verwendete mineralische Boden die P-Verbindungen der verschiedenen Düngestoffe 100 %ig zurückhält. Selbst extrem hohe P-Gaben (das 10- bis 15-fache einer P-Düngung) erhöhten die P-Verluste durch Auswaschung nicht. Zudem konnte beobachtet werden, daß ein kräftiges Pflanzenwachstum die P-Auswaschung reduziert ...".

Ähnliche Verhältnisse konnten in den Lysimetern Gumpenstein festgestellt werden. Dabei zeigte sich, daß auch die Wassermengen, die den Boden durchsickern, bei den ungedüngten Versuchsflächen größer waren. Ähnliches gilt auch für das Ammonium-Ion. Andere Verhältnisse liegen beim Nitrat vor, wo stets die ungedüngten Lysimeter die geringere Nitratauswaschung aufwiesen.

Der Einfluß von Düngung und Bodenbearbeitung auf die beiden anderen Faktoren Abschwemmung und Bodenerosion ist uneinheitlich zu beurteilen. Selbstverständlich bestehen große Unterschiede, wenn frisch gedüngter Boden abgeschwemmt oder erodiert wird, da hierbei naturgegebenermaßen höhere Frachten auftreten müssen als bei ungedüngten oder nicht bearbeiteten Böden. Allgemein lassen sich jedoch diese Unterschiede nicht quantifizieren, sie hängen vielmehr vom Einzelfall ab. Eine

Quantifizierung ist auch deswegen kaum möglich, da zumeist nicht bekannt ist, ob nicht auch andere Einflußfaktoren, wie Hangneigung und Niederschlagsintensität, und damit zusammenhängend, die Menge des erodierten Bodenmaterials eine Rolle spielen und dadurch die Einflußfaktoren Düngung und Bodenbearbeitung gleichsam "überdecken".

Nach SCHWERTMANN 1980 und einer Reihe anderer Autoren, ist auch die Bodenbearbeitung ausschlaggebend für die Erosion, doch ist dieses Faktum schwer zu quantifizieren und generalisieren.

Wie im folgenden noch näher ausgeführt wird, besteht zwischen der Größe des Einzugsgebietes und dem Nährstoffaustrag die Beziehung, daß mit der Zunahme der Größe des Einzugsgebietes sowohl die Wasserfracht als auch die Nährstofffracht pro Flächeneinheit abnimmt. Dies wird z.T. durch natürliche Selbstreinigungsvorgänge zu erklären sein, die mit zunehmender Fließstrecke zum Tragen kommen. Bei Bächen, die vornehmlich kleinen landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten entstammen, konnten Düngephasen in Form von erhöhten Konzentrationen von Phosphor und Stickstoff gefunden werden. Die Konzentrationserhöhungen beim Nitrat zeigen ursächliche Zusammenhänge zwischen der Stickstoffdüngung der Maiskulturen in der zweiten Junihälfte. Auch zeigen die Frachten an Phosphor einen deutlichen Anstieg im April, welche durch die Phosphordüngung in der zweiten Monatshälfte ausgelöst wurde. Gelegentlich auftretende hohe Ammonium-Stickstofffrachten zu Jahresbeginn können mit der jährlichen Düngung mit Stallmist auf gefrorenem Boden in Verbindung gebracht werden. Unter diesen Umständen kommt es gelegentlich zu einer sehr hohen Abschwemmung des Düngers in die Bäche, wenn die Düngung mit Tauwetterperioden zusammenfällt. Die eben geschilderten Beziehungen gelten jedoch vorwiegend für sehr kleine Einzugsgebiete. Bei größeren Einzugsgebieten werden diese Effekte durch andere Einflüsse "überdeckt" (Selbstreinigung, Sedimentation, Verdünnung, etc.). Bei größeren Einzugsgebieten liegen die Verhältnisse in der Regel anders. Es können vor allem hinsichtlich des Jahresganges der Phosphorkonzentrationen und -frachten keine Unterschiede zu Einzugsgebieten ohne landwirtschaftliche Nutzung erkannt werden, wohl aber der Höhe der P-Konzentration.

Düngung und Bodenbearbeitung spielen offensichtlich nur dann eine erkennbare Rolle, wenn Abschwemmungs- und Erosionsvorgänge im großen Umfange stattfinden, wobei ein direkter Zufluß in ein Oberflächengewässer stattfinden muß.

Die Bodenbearbeitung spielt insofern eine Rolle, daß sie die Erosionsanfälligkeit erhöht, diese Effekte kommen nur zum Tragen, wenn zur gleichen Zeit erosionswirksame Starkregen stattfinden.

Kulturart

Der Einfluß der Kulturart auf den Nährstoffabtransport konnte

auf Grund der Messungen an den Abschwemmungsparzellen Gumpenstein erfaßt werden, allerdings nur in relativen Größen. Auf Grund der geringen Größe der Abschwemmungsparzellen kommt es naturgegebenmaßen nicht zu ausgeprägten Abschwemmungs- und Erosionserscheinungen, wie dies bei großen Flächen häufig der Fall ist. In absoluten Größen sind die Nährstoffverluste in den Versuchsparzellen außerordentlich niedrig und betragen zwischen 0,001 und 0,01 kg P-gesamt/ha.a. Es sind dies Mengen, die weit unterhalb der "natürlichen Grundlast" liegen. Die Versuchsparzellen Gumpenstein wiesen als Kulturart Brache, Dauergrünland, Acker-Kartoffel und Acker-Getreide auf. Die größten Phosphorverluste wies mit 0,011 kg/ha.a die Brache auf, Dauergrünland, Kartoffel und Getreide wiesen einen Phosphorabtransport von 0,001 und 0,002 kg/ha.a auf. Auch die gelösten Phosphorfractionen ließen die gleiche Reihenfolge erkennen (Abb. 2).

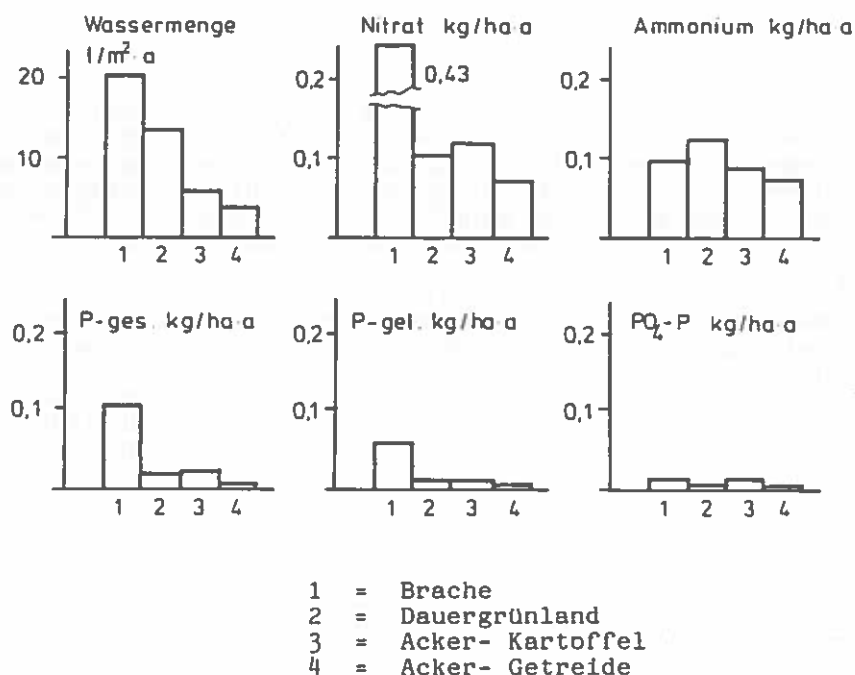


Abb. 2: Nährstoffabschwemmung und Erosion in Abhängigkeit von der Kulturart (Hangneigung 25 %)

Die Abschwemmungs- und Erosionsversuche in Gumpenstein zeigten somit bei gleicher Hangneigung obige Ergebnisse. Die Abschwemmung und Erosion von Nitrat und Gesamtphosphor ist bei Brache am größten, bei Dauergrünland, Kartoffel und Getreide etwa in ähnlicher Größe. Ammoniumstickstoff wurde bei allen Kulturgattungen in gleicher Größenordnung abtransportiert, das gleiche gilt auch für Phosphat-Phosphor, wobei

hier insgesamt sehr geringe Mengen abgeschwemmt wurden. Der deutlich höhere abtransportierte Gesamtphosphor bei der Brache erklärt sich aus der Bodenerosion, da wegen der fehlenden Bodenbedeckung der Abtransport von Partikeln bei der Brache naturgegebenmaßen am größten ist.

Ein Vergleich des Nährstoffabtransportes von Versuchsflächen mit "Mais" und "Wiese" ergab im oberflächlichen Abflußwasser hohe Nährstoffgehalte bei der Versuchsfläche Mais und nur sehr geringe Nährstoffkonzentrationen bei der Versuchsfläche Wiese. Allerdings war bei dieser Versuchsanordnung die Neigung der Probestellen nicht gleich groß. Die Größe der Nährstoffabschwemmung ist somit in großem Umfang von der Bodenbedeckung bzw. von der Kulturart abhängig. Ähnliche Verhältnisse werden von KEMMERLING (1983) hinsichtlich der Stickstoffauwaschung in das Grundwasser berichtet (Sonderkulturen, Kartoffel, Zuckerrüben, Getreide, Grünland, in abnehmender Reihenfolge).

Niederschlag und Abfluß

Unter den Einflußfaktoren auf den Abtransport von Nährstoffen ist der Niederschlag einer der bedeutendsten. Der Oberflächenabfluß hängt in erster Linie von der Menge des Niederschlages und seiner Intensität ab, je größer die Niederschlagsmenge, desto mehr kann auf einer Hangfläche oberflächlich abfließen. Nach JUNG und BRECHTL (1980) versickert etwa 90 % des Niederschlages, nur 10 % fließen oberflächlich ab. Natürlich spielen die Bodenbedeckung, die Struktur der Bodenoberfläche, die Aufnahmefähigkeit des Bodens für Wasser, die Durchwurzelung, der Anteil an organischer Substanz und die Bewirtschaftungsform in Hinblick auf den Oberflächenabfluß eine bedeutende Rolle. Man wird nicht fehl gehen, wenn man mit JUNG und BRECHTEL (1980) annimmt, daß bei einer Regenintensität von 0,3 mm/min. der Oberflächenabfluß beginnt, der den Bodenabtrag auslöst.

Das in den Boden einsickernde Wasser löst unter den in der Regel üblichen Bedingungen kaum Phosphorverbindungen aus dem Boden. Wie bereits mehrfach betont wurde, stellt die Auswaschung von Phosphor (mit wenigen Ausnahmen) keine Gefahr für das Grundwasser bzw. in der Folge auch für ein Oberflächengewässer dar, da die Phosphorverbindungen bereits in den obersten Bodenschichten festgelegt werden.

Hingegen kann es durch oberflächliche Abschwemmung und Bodenerosion zu einem beträchtlichen Abtransport von Phosphorverbindungen kommen, da 80 % der Phosphorverbindungen in leicht abschwemmbarer Feinteile gebunden sind, die bereits bei einem geringen Oberflächenabfluß mobil werden. Daher hängt die Phosphormenge, die bei Abschwemmung und Erosion von Flächen abtransportiert werden, vom jeweiligen Nährstoffgehalt der obersten Bodenschichten ab. Wenn nährstoffarme Böden abgeschwemmt oder erodiert werden, so gelangt nur ein geringer Anteil an Nährstoffen in einen Vofluter, wird jedoch nährstoffreicher z.B. gedüngter, intensiv bewirtschafteter Boden betroffen, so ist der Nährstoffabtransport ein entsprechend

großer. Da der Phosphorabtransport von wirtschaftlich genutzten Flächen vorwiegend durch oberflächlichen Niederschlagsabfluß ausgelöst wird, kann durch geeignete Maßnahmen zum Teil Abhilfe geschaffen werden.

Der Nährstoffabtransport von Flächen hängt vom Zusammenwirken zahlreicher Faktoren ab (OTTO 1978):

- Intensität des Niederschlages
- Form des Abflusses (flächenhaft oder linear)
- Dauer des Abflusses pro Abflußereignis
- Vorrat an abschwemmbar Stoffen an der Bodenoberfläche
- Erodierbarkeit des Bodens
- Nährstoffgehalt des erodierten Bodenmaterials

Mit zunehmender Starkregenhäufigkeit nimmt die Menge des Oberflächenabflusses zu, aus diesem Grund wird auch der Stoffabtransport pro Flächeneinheit entsprechend größer. Somit haben starkregenreiche Gebiete einen um ein Vielfaches größeren Nährstoffabfluß als Gewässer in regenarmen Gebieten.

Mit zunehmender Wassermenge wird die Abschwemmung und Erosion von Phosphor als Gesamtfracht größer. Der den photoautotrophen Organismen zur Verfügung stehende gelöste Phosphor steigt jedoch nicht in dem Maße an, wie dies auf Grund des Gesamtphosphors zu erwarten wäre. Allerdings kann man kaum abschätzen, welche Anteile des partikulären Phosphors in einem stehenden Gewässer unter gewissen Bedingungen in Lösung gehen und somit in den Stoffkreislauf eingreifen können.

Welche Anteile des erodierten Bodenmaterials der landwirtschaftlichen Bodennutzung und welche Anteile der Erosion dem landwirtschaftlich nicht genutzten Bereich zuzuschreiben sind, kann nur im Einzelfall beurteilt werden. Eine globale Abschätzung ist hierbei keinesfalls möglich, es ist nämlich zu berücksichtigen, daß durch natürliche Erosionsvorgänge häufig auch beachtliche Nährstoffmengen abtransportiert werden. So ist beispielsweise bekannt, daß in Steillagen bei der Anlage von Forstwegen, Straßen, Böschungen, Kanalsträngen u.ä. Baumaßnahmen beachtliche Erosionserscheinungen ausgelöst werden können, die naturgegebenermaßen nicht der landwirtschaftlichen Bodennutzung zuzuschreiben sind. Gleiches gilt für den z.T. hohen Nährstoffabtransport nach Frühjahrshochwässern, wo sämtliche Nährstoffe, die sich beispielsweise auf dem Schnee angesammelt haben, bei der Schneeschmelze abtransportiert werden.

Summary

The relationship between run-off from catchment areas characterized by different types of vegetation and land use, on the one hand, and the amount of run-off, on the other, has been the subject of numerous studies. The impact of the type of soil, land-use and crop as well as of the amount of run-off from precipitations on the quality of the draining stream has been studied - in the course of extensive series of

measurement - in the framework of a project entitled "The Impact of erosion of nutrients and soil particles on the eutrophication of waters". The relevant publication is part of the cited project. The eroded nutrients and soil particles are part of the total nutrient load of stagnant waters. Within the context of the restoration of the quality of lakes, the magnitude of that factor has become a matter of interest.

The removal of substances from a catchment area occurs in three different ways:

- leaching of dissolved substances out of the soil and into the ground water;
- removal of substances deposited on the ground (animal excretions, waste materials of all kinds, liquid manure, sludges from cesspools, mineral fertilizers, waste waters);
- erosion of solid soil particles.

The following rates of erosion of nutrients have been determined for particular catchment areas:

- uncultivated catchment areas (forests, waste lands, swamps):
0,06 kg P_{total} /ha.year
- catchment areas under various types of cultivation
0,20 kg P_{total} /ha.year

In the course of singular events like snow meltings and heavy rainfalls, however, substantially higher amounts of nutrients are carried away:

- on frozen ground with spreaded manure: up to 3 kg/ha per event;
- average erosion in the course of snow melting and heavy rainfall: 7 kg/ha.year.

The nutrient removal of up to 3,2 kg/ha.year which was determined downstream of a swamp drained in great depth (Bleistätter Moor, Carinthia), constitutes rather an exceptional case.

The most significant factors influencing the removal of nutrients are:

- type of soil;
- type of land-use (type of cultivation and fertilization);
- type of crop (vegetation);
- precepitation and run-off.

Whereas the loss of phosphorus is very small in comparison with that of nitrates when leaching into the underground takes place, the loss of phosphorus becomes significant when erosion and removal occurs on the ground surface, particularly, when the top soil layer has been enriched with phosphorus and made

more erodible due to cultivation practices.

The significance of the type of crop is demonstrated by the fact that the removal of substances and the rate of run-off are highest on fallow land. The amount of precipitation is of greatest importance in the removal of substances because of its effect of surface erosion and transport; in fact, surface run-off and consequently nutrient loads in the streams increase with the magnitude of heavy rainfalls.

LITERATUR

- Bernhardt, H., 1978: Phosphor, Wege und Verbleib in der Bundesrepublik Deutschland, Probleme des Umweltschutzes und der Rohstoffversorgung. Verlag Chemie-Weinheim-New York.
- Furrer, O.J., 1975: Die Phosphorbelastung der Gewässer durch die Landwirtschaft. Mitteilungen Eidgenöss. Anstalt für das forstliche Versuchswesen 51: 267-283.
- Jung, L. u. Brechtel, R., 1980: Messungen von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden der Bundesrepublik Deutschland. - Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau 48: 1-139.
- Karl, J., 1979: Der Einfluß von Standort und Bodennutzung auf Oberflächenabfluß und Bodenabtrag. - Gewässerpflege-Bodennutzung, Landschaftsschutz, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau Heft 40: 268-281.
- Kemmerling, W., 1983: Grundlagenstudie Nitratbelastung des Grundwassers. - Wasserwirtschaft, Wasservorsorge, Forschungsarbeiten, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 1-200.
- Kretzschmar, R., 1979: Der Einfluß unterschiedlicher Bodennutzungen auf die Nährstoff-Fracht eines Gewässers. - Gewässerpflege - Bodennutzung - Landschaftsschutz, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, 40: 251-267, Verlag Paul Parey.
- Kuntze, H., 1974: Bodennutzung und -düngung als Grundwassergefahr? Dtsch. gewässerkundl. Mitteilung 8: 38-44.
- Otto, A., 1978: Fremdstoffbelastung der Gewässer in der Bundesrepublik Deutschland durch Land- und Forstwirtschaft. - Landwirtschaft - Angewandte Wissenschaft, Heft 214: 1-210. Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Zusammenarbeit mit dem Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V.
- Sampl, H. und Schulz, N. 1979: Untersuchungen über die Eutrophierungsursachen am Ossiacher See. Die Ausschwemmung von Nährstoffen aus dem Bleistätter Moor. - Wasserwirtschaft-Wasservorsorge-Forschungsarbeiten. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Sektion IV.

- Sampl, H., 1986: Einfluß von Nährstoffabschwemmung und Boden-
erosion auf die Gewässereutrophierung. - Forschungsarbei-
ten Wasserwirtschaft Wasservorsorge, Bundesministerium
für Land- und Forstwirtschaft: 1-213.
- Welte, E. und Timmermann, F., 1982: Über den Nährstoffeintrag
in Grundwasser und Oberflächengewässer aus Boden und
Düngung. - Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Unter-
suchungs- und Forschungsarbeiten, VDLUFA-Schriftenreihe:
1-236.

Anschrift des Verfassers:

Univ.Doiz. Dr. Hans SAMPL
Amt der Kärntner Landesregierung
Abt. 15 U - Umweltschutz
Flatschacherstraße 70
A-9010 Klagenfurt

Klagenfurt, 1986 - 08 - 29

DIE HYDROBIOLOGISCHEN GRUNDLAGEN FÜR EINE ÖKOLOGISCHE FLIESSGEWÄSSERGESTALTUNG

Ingo Merwald

Institut für Wildbachkunde
Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Österreich

Einleitung

In meinen bisher durchgeführten Untersuchungen sind sowohl die schutztechnisch notwendigen Baumaßnahmen als auch die hydrobiologischen Erfordernisse beurteilt und entsprechend gewichtet worden. Es wurde versucht zu klären, ob etwa bei gleich hohem Schutzeffekt eine weniger fischfreundliche Bauweise gegen eine hydrobiologisch günstigere zu ersetzen wäre, wenn die Kosten gleich bleiben oder sich nur geringfügig erhöhen würden. Die hydrobiologischen Untersuchungen wurden zum überwiegenden Teil im Dixelbach, der in der Gem. Nußdorf a. Attersee liegt, durchgeführt. Daraus konnten die einzelnen hydrobiologischen Kriterien für die Wildbachverbauung erarbeitet werden (MERWALD, MOOG u. JUNGWIRTH, 1981 u. 1984; MERWALD, 1984). Auf sie wird hier ausführlich eingegangen.

Klassifizierung der Wildbäche

Auf Grund der Einteilung der Wildbäche in murstoßfähige, geschiebe- und hochwasserführende (AULITZKY, 1973), die auch als Grundlage für die Gefahrenzonenplanung gilt, können auch vom Fischereibiologen gute Schlüsse gezogen werden, weil das Verhalten des Baches in seiner Gesamtheit darin zum Ausdruck kommt.

Murstoßfähige Bäche können sicher ohne Rücksicht auf eine eventuell sich zeitweise bildende Fischpopulation nach (hydro-) technischen, schutztechnischen und ökonomischen Grundsätzen verbaut werden. Erst nach dem Wirken der forst- und wasserbautechnischen Maßnahmen, kann sich diese vermehren und im Bachregime weiter ausbreiten.

Bei Murbächen erwartet der Wildbachverbauer meist keine oder nur eine unbedeutende Fischpopulation, die sich nach jeder Katastrophe hauptsächlich vom Vorfluter her wieder ausbreitet. Die Untersuchungen am Dixelbach zeigten aber, daß sich der Fischbestand auch aus Zubringern des obersten Einzugsgebietes und aus nicht murenden Seitengräben wieder erneuert. Bei vie-

len Wildbächen ist das Wiederbesiedeln teils durch hydrobiologisch ungünstige Verbauungen, teils durch trockene Bachabschnitte, vor allem während des im Herbst stattfindenden Laichaufstieges, oft nur aus Oberlauf oder Zubringern möglich.

In geschiebeführenden Wildbächen bietet die Verbauung mit angemessenem Geschieberückhalt durch Retentionssperren bis zur Verfüllung der Stauräume eine gute Entwicklung des Fischbestandes in den einzelnen verbauten Gerinneabschnitten, gefährdet aber Fische sowohl bei der Abdrift als auch bei der Abwanderung und verhindert den Fischzug vollständig. Der dosierte Geschiebetransport, wie er für viele Vorfluter aus hydrotechnischen Gründen notwendig ist, bringt dem Fischbestand wesentliche Verbesserungen, da die Fische keinem plötzlichen Geschiebeeinstoß mehr ausgesetzt sind, und Bachumlagerungen auf den Ablagerungsplatz des Dosierwerkes beschränkt bleiben. Die Beruhigung der Bachstrecke fördert das Benthosleben, erhöht dadurch dessen Biomasse und in weiterer Folge auch die Fischbiomasse.

Bei nur hochwasserführenden Bächen und Wildflüssen wird bereits heute in den meisten Fällen auf den Fischbestand Rücksicht genommen. Da aber der Techniker in seiner hydrotechnischen Denkweise noch immer sehr tief verwurzelt ist, nimmt er hydrobiologische Vorschläge nur dann auf, wenn diese in sein Verbauungskonzept passen. Meist werden sie aber schablonenhaft, ohne auf die Eigenarten des jeweiligen Gewässers zu achten, angewandt. Die hydrobiologischen Forderungen müßten daher auf den jeweiligen Gewässercharakter abgestimmt werden. So könnte bei nur hochwasserführenden Gewässern in Staffelsecken ohne Bedenken eine auf Niederwasser dimensionierte Abflußsektion bei den einzelnen Schwellen ausgeführt werden; dadurch würde der Fischaufstieg begünstigt. Da keine Auflandungstendenzen bestehen, könnten die Tosbecken auch breiter ausgeformt werden. Durch die breiteren Kolke wird das Biotop vergrößert, es entstehen sichere Fischstände und eine große Breiten- und Tiefenheterogenität, die für den gesamten Fischbestand Vorteile bringen. Dies wären nur einige Vorschläge für hydrobiologische Verbesserungen in Staffelsecken.

Das Kriterium der Wassertemperatur

Wurde der Bach nach dieser Wildbach-Dreiteilung (AULITZKY, 1973) klassifiziert, gilt es zu unterscheiden, ob ein warmes oder kaltes Gewässer vorliegt.

Wird dabei festgestellt, daß das Gewässer ein warmes, frühjahrs-warmes oder herbstwarmes ist, dann ist das KRITERIUM DER Wassertemperatur besonders zu beachten. Um eine Verbauung hydrobiologisch richtig durchzuführen, sind folgende Punkte wichtig:

1. Bei kleinen ($< 0,1 \text{ m}^3/\text{sec}$. Niederwasser) und warmen Salmonidengewässern darf der Abfluß unter keinen Umständen verlangsamt werden.
2. Ein Freistellen des Gewässers ist wegen der Zunahme der Wassertemperatur unbedingt zu vermeiden.
3. Das Einleiten von allen ungeklärten Abwässern erhöht die pflanzliche Produktion im Gewässer und ist daher zu untersagen. Der künstliche Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft nimmt immer mehr zu und fördert wie die häus-

liche Abwassereinleitung, die sehr viele Tenside zusätzlich einbringt, die Pflanzenproduktion der Gewässer. Durch jede Erwärmung (z. B. Warmwassereinleitung aus der Industrie), die über das Temperaturoptimum hinausreicht, wird die Zunahme der pathogenen Keime stark gefördert. Auswirkungen des sauren Regens können in Fließgewässern kaum festgestellt werden, da die Schadstoffe abgeschwemmt werden.

4. Der Grundwasserbegleitstrom wäre durch Baumaßnahmen dem Gewässer zuzuführen. Er bewirkt in sommerlichen Trockenperioden eine Zunahme und ein Abkühlen des Bachwassers. Im Winter begünstigt der vergrößerte Abfluß und das Erwärmen des Gewässers die Tierfauna.
5. Quellen, Quellbäche und Quellüberläufe sind dem Gewässer auf kürzestem Weg über die Absturzbauwerke zuzuleiten, da sie im Winter durch Wärmezufuhr und ein gutes Durchmischen des stagnierenden Kolkwassers das Vereisen einschränken. Diese Zuleitungen sind oft bei Trockenperioden in einzelnen Kolken, in denen sich ein Überbesatz von gestreßten Fischen befindet, sowohl durch den erhöhten Zufluß als auch wegen des Abkühlens des Bachwassers lebensrettend.
6. Die Abflußsektionen sind mit einem Niederwasserprofil auszustatten, damit auch bei kleinen Abflüssen durch die Überfallskonzentration ein Sauerstoffeintrag und ein gutes Durchmischen des Kolkwassers erfolgt. Im Winter wird dadurch das gefährliche Vereisen der Kolke eingeschränkt und im Herbst bei Niederwasser der Fischauftstieg über niedere Bauwerke ermöglicht.

D a s A b f l u ß k r i t e r i u m

Dieses Kriterium ist bei Gewässern mit kleinen Abflüssen ($< 0,1 \text{ m}^3$ pro sec. bei Niederwasser) zu beachten und trifft besonders für Kalk- und überlagerte Flyschwildbäche zu. Besonders in Trockenzeiten ist ein erhöhter Sauerstoffeintrag durch einen konzentrierten Überfall für das Überleben zahlreicher Fische in diesen Zufluchtstätten notwendig, da sie zusätzlich stark gestreßt sind und daher mehr Sauerstoff verbrauchen. Für die Herbstlaicher muß der Fischzug auch bei extremen Niederwasserständen gesichert sein.

Diesen Forderungen kann nur mit einer eventuellen Abflußverzögerung, dem Einleiten von Quellen und Grundwasser in das Gewässer, einem zusätzlichen Dimensionieren der Gerinne und Abflußsektionen auf Niederwasser, dem Vermeiden von zu hoch im Gelände liegenden Staffelstrecken und einzelner Absturzbauten sowie von Dammbächen entsprochen werden.

Das bereits erwähnte Einbeziehen des Grundwasserbegleitstromes und dichte Sperrenbauten, wodurch der gesamte Wasserabfluß über die Kronen erfolgt, tragen noch wesentlich zur Verbesserung bei.

D a s K r i t e r i u m d e r T i e f e n - u n d B r e i t e n h e t e r o g e n i t ä t

Benthos- und fischereibiologische Untersuchungen brachten deutlich zum Ausdruck, daß Breiten- und Tiefenheterogenität eines Gewässers, gleichgültig ob künstlich geschaffen oder natürlich vorhanden, einen ausgewogenen, selbstproduzierenden und ertragreichen Fischbestand zur Folge haben.

In Kolken gefangene Fische sind durchschnittlich älter und daher größer; die lin. Regression der Fischlängen mit den Maximaltiefen zeigt, daß die Maximaltiefe ein wesentlicher Parameter für die Größe der Fische eines Baches ist (JUNGWIRTH, 1984; MERWALD, 1984), wie dies Tabelle 1 und die Abbildungen 1 bis 3 veranschaulichen.

Aber auch die Flachstrecken sind unbedingt wichtig, da sie der Lebensbereich der Brütlinge und Jungfische sind. Sie weisen meist das geeignete Laichsubstrat, die geeignete Wassertiefe und Geschwindigkeit auf, die zur Anlage von Laichplätzen erforderlich sind.

Von baulicher Seite ist für die Migrationsmöglichkeit zwischen Kolken und Flachstrecken auch bei Niederwasser zu sorgen; es ist auf stabile und tiefe Kolke mit sicheren Fischeinständen - auch künstliche sind wünschenswert - zu achten. Aus diesen Gründen sind Sperren mit seichten Kolken oder zu geringem Wasserpoller über den Wurfsteinen sowie solche mit zu hohem Überfall zu vermeiden, ebenso bedielte Vorfelder.

Die Breitenheterogenität kann einerseits verbauungstechnisch durch nur einseitige Uferverbauungen (Prallufer), Buhnen, geneigte Abflußsektionen (Niederwasser) durch eine Abkehr von langen und gleichförmigen Verbauungsabschnitten etc. erreicht werden, andererseits durch das Vermeiden von Begradigungen, durch das Belassen von natürlichen Gewässerabschnitten und dgl. erhalten bleiben.

Tab. 1: Morphologische Verhältnisse und Bestandsdaten der Bachforellen in natürlichen Gumpen und Flachstrecken im Bereich der unverbauten Schluchtstrecke zwischen hm 19,40 bis hm 22,10 im Dixelbach. F = Flachstrecke

Fl(m ²)	t _{max} (cm)	Stk.	MW L (mm)	Strukt.
F hm 19,40	22	10	127,5	fein
F hm 19,72	36	14	154	fein-mittel
F hm 19,95	25	11	149,5	fein
Gumpen hm 21,30	56	5	201,8	sehr stark
Gumpen hm 21,40	61	7	176	mittel-stark
Gumpen u. Mühle hm 22,00	42	7	183,8	mittel-stark
Gumpen Mühle hm 22,05	39	5	190,6	stark
Gumpen hm 23,70	62	10	202,1	sehr stark

Korr. F. = 0,8231542243

K = 1,431419245

y = 111,7903999

Abb. 1: Beziehung zwischen Maximaltiefen und den Längen der Bachforellen in natürlichen Gumpen und Flachstrecken des unverbauten Schluchtbereiches zwischen hm 19,40 und hm 22,10, nach der E-Befischung von 1983, Werte aus Tab. 1: Korrelationsfaktor = 0,82315422

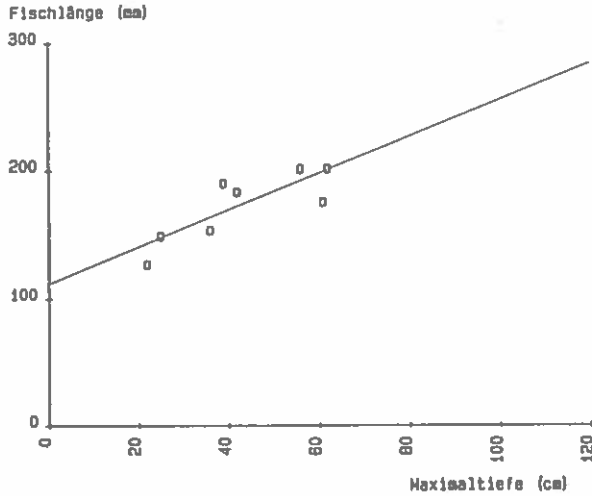


Abb. 2: Beziehung zwischen Maximaltiefen und Längen der Bachforellen der untersten Staffelstrecke (hm 12,15 bis 14,36); 10 Sperrenkolke und daran anschließende Flachstrecken wurden im Dexelbach untersucht (E-Befischung 1983). Korrelationsfaktor = 0,81650265

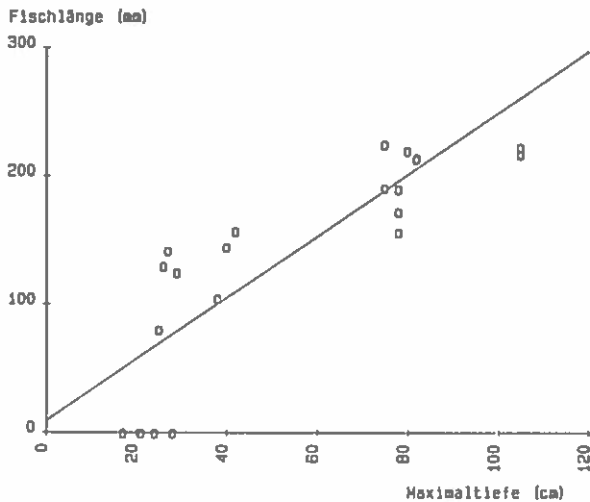
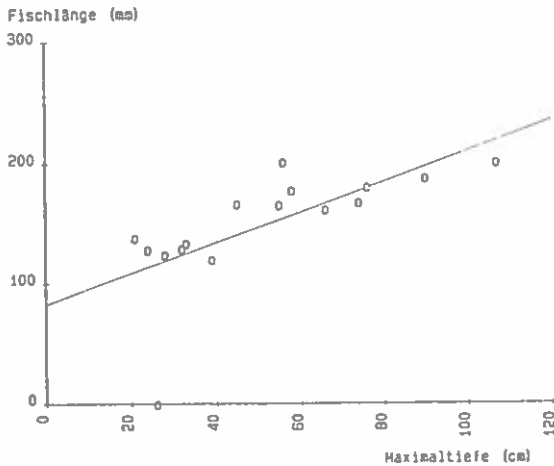


Abb. 3: Beziehung zwischen Maximaltiefen und den Längen der Bachforellen in 8 Sperrenkolken (Nr. 22 bis Nr. 29) und den daran anschließenden Flachstrecken im Bereich der mittleren Staffelstrecke von hm 16,68 bis 18,05 im Dixelbach nach der E-Befischung 1983.
Korrelationsfaktor = 0,67500145



Das Kriterium des ungehinderten Fischzuges

Der Fischzug aus Gewässern, in denen keine geeigneten Laichplätze mehr bestehen - dazu zählen viele Gewässer der I. bis III. Ordnung - muß in die Laichgewässer ermöglicht und dort die weitere Wanderung nicht nur der allochthonen, sondern auch der autochthonen Fischarten gesichert werden. Trotz Beachtens des notwendigen Schutzeffektes gibt es viele Baumaßnahmen, die den Fischzug nicht unterbinden.

Bei den Untersuchungen der Aufstiegsarten habe ich eine Einteilung in schwimmende, springend-schwimmende und nur springende Bewegungsformen getroffen (MERWALD, 1984).

Bei der rein schwimmenden Art wurde bei einer Wassergeschwindigkeit bis 2,5 m/sec. ohne Startkolk eine Höhe von 1 m in einer ausgerundeten Künetten-Sinoidalschwellenkombination von Fischen mit Längen von 160 bis 240 mm überschwommen.

Bei der springend-schwimmenden Fortbewegungsart, die die häufigste ist, betrug die überwundene Höhe 1,45 m bei Kolkstiefen von 0,9 bis 1,00 m im Start- und rund 0,8 m im Absprungbereich. Dies sind 70 % bzw. 60 % der Überfallshöhe. Eine Mindestwasserführung von 0,3 m³/sec. auf einem 1,5 m breiten Kronenbereich war dazu aber erforderlich. Diese hohen Überfälle konnten aber nur von Fischen mit bester Kondition überwunden werden. Für aufstiegswillige Jungfische sind diese Überfallshöhen jedoch zu hoch. Bei freiem Sprung konnten nur Höhen von maximal 0,60 m bei einer Kolktiefe von ebenfalls 0,9 m festgestellt werden. Zu beachten ist, daß nach BAINBRIDGE (1962) für eine Forelle von 300 mm Länge die Start-Sprintgeschwindigkeit für den ersten Me-

ter 3 m/sec. beträgt und dann aber rapide abfällt. Für das Kriterium des ungehinderten Fischzuges sind nun die erwähnten Sprunghöhen und die Schwimmgeschwindigkeiten der Salmoniden in erster Linie einer hydrobiologisch einwandfreien Verbauung zugrunde zu legen.

Dies bedeutet bei einer Planung allgemein:

Vorfluter dürfen keine größeren Niveauunterschiede zum Laichgewässer aufweisen. Dies sollte nicht nur aus Gründen der Sprunghöhen beachtet werden, sondern vielmehr um die Wasserströmung für die aufsteigwilligen Forellen als "Auslöser" wahrnehmbar zu machen. Dies ist auch für funktionierende Fischpässe eine Grundvoraussetzung.

Künetten- und Schalenbauten sowie das Abriegeln des Unterlaufes bereits durch unüberwindbare Sperrenbauten sind zu vermeiden. Kronenoffene Bauwerke können dagegen auch am Talausgang errichtet werden.

Staffelungen sollten mit überspringbaren Absturzhöhen gebaut und schutztechnisch unbedingt notwendige hohe Konsolidierungs- oder Rückhaltesperren weit bachaufwärts verlegt werden.

Kleine Konsolidierungswerke wirken sich durch Gerinneberuhigung günstig auf den Fischbestand aus (Tiefenheterogenität). Um einen günstigen Wasserrückhalt zu schaffen, ist die Bewirtschaftung des Einzugsgebietes durchzuführen.

Bei den Querwerkstypen wäre in hydrobiologischer Sicht zu beachten:

- Absturzbauwerke sollten nur aus besonderen schutztechnischen Gründen Überfallshöhen von über 1,50 m erreichen.
- Kronenoffene Sperren sind sehr günstig, wenn der Fischanstieg vom Unterwasser her möglich ist.
- Häufiges Verwenden von Sohlrampen bei Flachlandwildbächen ist wünschenswert.
- Die Abflußsektionen müssen zusätzlich auf Niederwasser (Ausmulden der Abflußsektion, schräge Krone etc.) dimensioniert werden.
- Die Abrißkante an der Auskragung darf nicht scharfkantig sein; sie soll bachaufwärts fallen, damit ein Wasserpolster entsteht und der Fisch am Ende des Sprunges nicht hart aufschlägt.
- Alle Kolke müssen für die Wasserhaltung tief und stabil sein.

Längswerke und ihre hydrobiologischen Nachteile:

Die Geschwindigkeit wird bei Hochwasser für die Fische zu hoch, sodaß sie ausweichen oder abwandern müssen, vielfach werden sie abgedriftet. Die Funktion des hyporheischen Interstitials wird durch diese Bauweise für Benthostiere, Brütlinge und Jungfische völlig unterbunden. Daher sollte nur eine Verbauung des Prallufers erfolgen, denn dann können die Fische bei Hochwasser in den langsamer überströmten Uferbereich ausweichen. Dies gilt sowohl für die einstehenden als auch für die aufsteigenden Fische:

Bei den Bautypen wären folgende Punkte zu beachten:

- Ufermauern sollten möglichst rauh gebaut werden; dies wegen der Geschwindigkeitsverminderung und um im überfluteten Bereich ein leichteres Besiedeln für sessile und teilsessile Organismen zu ermöglichen (Simuliden); überdies sollten Fischeinstände im Fundament eingebaut werden. Sehr günstig wirkt sich das Vorwerfen von "Fischsteinen" oder eines Vorhängebauwerkes aus.

- Steinwürfe und Steinschlichtungen fördern das Benthosleben, da sie das Interstitial nicht zerstören, die Wassergeschwindigkeit verringern und eine gute Substratunterlage abgeben. Sie sind beste Fischeinstände, fügen sich nach dem Bepflanzen und Verwachsen gut in das Landschaftsbild ein. Dadurch ist für die wichtige Beschattung gesorgt und eine Biotopvergrößerung für Insekten, Vögel, Kleinsäuger und dgl. erreicht.
- Schalen und Künetten müssen auf das schutztechnische Mindestmaß beschränkt bleiben und sollten nur unter Berücksichtigung folgender Punkte gebaut werden:

1. Ausbau eines Niederwasserprofiles
2. Kompromiß zwischen der für den Geschiebetransport erforderlichen Geschwindigkeit und jener für den Fischaufstieg noch möglichen; das Maximum der Geschwindigkeit soll 2,5 m/sec. nicht überschreiten.
3. Einbau von Rastplätzen mit Abständen je nach Wassergeschwindigkeit (mindestens alle 30 m).
4. Niveauunterschiede bei der Einmündung der Schale in den Vorfluter sollten vermieden werden.
5. Kolke müssen bei einem derartigen Bauwerk genügend tief sein.

Bei Nichtbeachtung dieser Punkte tritt folgendes unvermeidbar ein:

- Verlust von produktiver Wasserfläche
- Ausbleiben der Selbstreinigung
- Beschleunigung des Wasserabflusses und eventuelle Grundwasserabsenkung
- Unterbindung entweder des gesamten Fischzuges oder zumindest jenes für die aufstiegswilligen Jungfische
- Buhnen sind in Wildbachunterläufen und Wildflüssen eine hydrobiologisch äußerst günstige Bauform.

D a s K r i t e r i u m d e r B a c h s o h l e n - s t r u k t u r

Die Unterschiede in der Bettstruktur der unverbauten und verbauten Abschnitte sind sowohl für Benthosorganismen als auch in weiterer Folge für einen guten und ausgewogenen Forellenbestand von großer Bedeutung. Typische Verteilungsmuster, die auf eine Substrat- und Strömungsabhängigkeit hinweisen, wurden in der Staffelstrecke des Dixelbaches ersichtlich, wo in den lenitisch durchströmten Kolken zahlreiche, aber meist kleinere Organismen leben, während in den lotischen Flachstrecken die großen strömungsliebenden Larven zu finden waren, die hohe Biomassewerte brachten (Tab.2).

Tab. 2: Individuenzahl, Biomasse und Strömungsverhältnisse im Bereich der Kolke und der darunterliegenden Flachstrecken.

Sperre	Probennummer	Individuenzahlen		Biomasse		Strömung (m/sec)	
		Strömung	Kolk	Strömung	Kolk	Strömung	Kolk
21	8,9	820	1980	4,89	2,27	0,59	0,05
28	10,11	650	1430	1,65	1,34	0,58	0,05

Da stark strukturierte Fließgewässerabschnitte wesentlich höhere Fischdichten und Biomassen als schwach oder nicht strukturierte Gerinnestrecken aufweisen, sind vorhandene Sohlenstrukturierungen bei Baueingriffen möglichst zu schonen, bzw. wieder herzustellen. Daher sollten Bachräumungen nur im Fall einer schutztechnischen Notwendigkeit durchgeführt werden. Zu schematisch ausgeführte Bachräumungen müssen vermieden werden, da sie die hydrobiologisch so günstige Breiten- und Tiefenheterogenität und das hyporheische Interstitial zerstören. Das Substrat der Bachsohle sollte daher rau und sehr unterschiedlich bleiben, wodurch auch die Wassergeschwindigkeit verschieden hoch ist, die nach EINSELE (1960) als herrschender Faktor bei der limnologischen Gestaltung der Gewässer gilt.

Das Kriterium der Laichmöglichkeit und des Laichplatzes

Das Vorhandensein von Laichplätzen ist für einen natürlichen Fischbestand und daher für eine hydrobiologisch einwandfreie Verbauung ein Kriterium.

Die wichtigsten Voraussetzungen für die Anlage eines Laichplatzes sind das geeignete Laichsubstrat, sauerstoffreiches Wasser, die passende Strömungsgeschwindigkeit über den Laichplätzen ($v > 0,20$ bis $< 0,30$ m/sec.) und in den Laichgruben meist $< 0,15$ m/sec., die jedoch bei den Bachforellen vom Mutterfisch innerhalb der Laichgruben selbst noch etwas reguliert werden, die Wassertiefe (< 10 cm) und eventuell eine geschützte Lage. Ob weitere instinktmäßige Ursachen vorliegen, konnte bis heute noch durch keine Untersuchungen geklärt werden.

Die Untersuchungen von 82 Laichplätzen und neun unbelaichten Substratproben aus unmittelbarer Nähe der Laichplätze ergab, daß knapp unter 50 % des Geschiebesubstrates auf die Grobkiesfraktion (63 - 20 mm) nach ÖNORM B 4412 und etwa 35 % auf den Mittelskies entfielen (20 - 6,3 mm). Von den übrigen Fraktionen lag keine über 10 %.

Der Vergleich mit den unbelaichten Proben benachbarter Substrate ergab bei diesen einen deutlichen Überhang der Mittel- und Feinkiesfraktion. Daraus wird auch die Arbeit des Mutterfisches bei dem Freilegen sowohl des Laichplatzes als auch ganz besonders der Laichgruben ersichtlich.

Bei einer hydrobiologisch einwandfreien Verbauung ist darauf zu achten, daß die Laichstrecken unter keinen Umständen verbaut werden dürfen und der Fischzug bis dorthin gesichert sein muß. Sind die Laichplätze durch Baueingriffe nicht verringert worden und ist die Laichwanderung im gesamten Bachregime möglich, so ist mit keinerlei Besatzmaßnahmen einzugreifen, wenn keine zu intensive Befischung erfolgt.

Von bautechnischer Seite ist weiter darauf zu achten, daß bei Aushubarbeiten und Bachräumungen durch abgespültes Feinmaterial keine Verdichtung oder Überlagerung des bachabwärts liegenden Laichsubstrates erfolgt. Bei Winterbaustellen kommt es häufig bereits zu einer Überlagerung der Eier mit Feinmaterial, wodurch diese dann verpilzen und durch Sauerstoffmangel absterben. Daher ist der Zeitpunkt dieser Eingriffe sorgfältig zu wählen und auf die jeweilige Fischpopulation und die Lage der Laichplätze abzustimmen. Besondere Vorsicht muß bei allen chemischen Betonzusatzmitteln und Anstrichen walten.

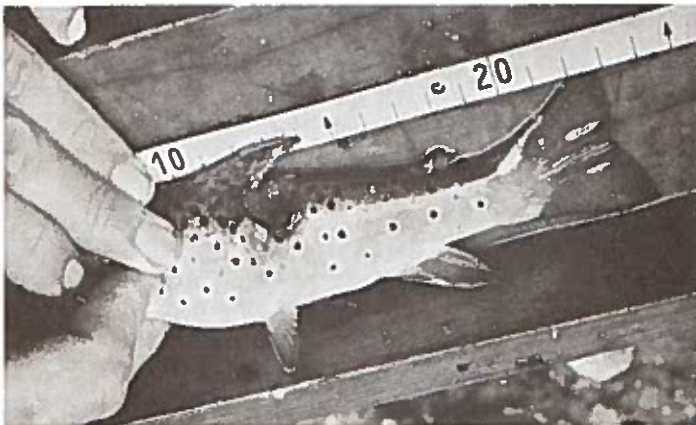
Da in der heutigen Zeit in den Flußregimen der I. bis zur III. Ordnung die meisten Laichstrecken durch anthropogene Einflüsse, besonders durch Laufstau mit ihren schwankenden Wasserständen, Ableitungen, Verschlammungen und dgl. vernichtet sind, obliegt es dem Wildbachverbauer dafür Sorge zu tragen, den Aufstieg von den Vorflutern zu sichern und nicht an jedem Talausgang durch eine zu hohe Sperre, eine zu lange Schale oder andere Bauwerke den Fischzug zu unterbinden.

Das Kriterium der Abdrift, der Ab- und Kompensationswanderung

Am Dixelbach wurde die längste Abdrift einer Bachforelle (BF 91) mit 1.008 m bei einer Gesamtlänge des Baches von 4,6 km in der Zeit vom 13.9.81 - Ende 1984 festgestellt. Diese Bachforelle wurde über 20 Wildbachsperren und Grundschwellen bis zu einer Höhe von 4,2 m und über 12 natürliche Abstürze bis zu einer Höhe von 3 m, jedoch bei schräger Gefällsüberführung, abgedriftet, hatte aber überlebt und wurde standortstreu. Da mehrere verletzte und erschlagnete Fische nach Hochwässern wiederholt gefunden wurden, sind die Ursachen dafür untersucht worden.

In hydrobiologisch schlecht verbauten Gerinnen sind oft zu wenig geeignete Fischeinstände vorhanden. Durch die erhöhte Wassergeschwindigkeit, gerade in Verbauungsstrecken, kommt es zu wesentlich mehr Abdriften als in natürlichen Gerinnen, da hier bessere Einstände vorhanden sind und ein Ausweichen in die langsame überströmten Uferbereiche möglich ist. Um Abdrift- und Abwanderungsschäden auszuschalten oder zu vermindern, sind folgende Punkte zu beachten.

- zahlreiche hochwassersichere Einstände müssen vorhanden sein
- ausreichend tiefe Kolke
- vorspringende Fundamente, Piloten, verlorene Schalungen,



Diese Bachforelle war bei einem Hochwasser über eine 2,2 m hohe Sperre abgedriftet und beim Aufschlagen auf das vorspringende Fundament oder auf einen Wurfstein im Kolk verletzt worden.

Spundwände, Wurfsteine und dgl. dürfen sich in keinem Kolk befinden.

- Sohlrampen dürfen nicht bis zur Sperre herangezogen werden und nicht scharfkantig sein.
- das überfallende Wasser soll nicht auf das Bauwerk aufschlagen
- der konzentrierte Überfall ist einem breiten vorzuziehen

Da viele Fische nach der Abdrift (passive Wanderung) wieder zu ihren ursprünglichen Einständen aufsteigen wollen, kommt es zur sogenannten Kompensationswanderung.

D a s K r i t e r i u m d e r U f e r v e g e t a t i o n

Eine Ufervegetation in Strauch- oder Baumform ist wegen der bereits erwähnten Beschattung, die das gefährliche Aufheizen eines Kleingewässers verhindert, für jedes Fließgewässer notwendig. Sie war ursprünglich bei jedem natürlichen Wasserlauf unterhalb der alpinen Region auch vorhanden. Die Ufervegetation ist nicht nur der Lebensraum für die am und im Wasser lebenden Insekten, Vögel, Kleinsäuger und dgl., sondern sie ermöglicht über den allochthonen Eintrag des Laubes, das als Startenergie für die niedere Fauna gilt, erst den Beginn des aquatischen Lebens unterhalb der Quellgebiete. Dies wurde bisher kaum beachtet. Sie dient heute noch verstärkt der Holzherzeugung.

1. DIE UFERVEGETATION UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE BIOZÖNOSE

1.1. Durch den allochthonen Eintrag wird im Krenal (fischleere Quellzone) und im Epi- und Metarhithral (Forellenregion) die überwiegende Startenergie für ein aquatisches Leben geschaffen.

1.2. Im Epi- und Metarhithral kommt dem Nahrungsangebot durch die Ufervegetation noch eine große Bedeutung zu. Sie führt nicht nur zu starkem allochthonen Eintrag des Falllaubes, sondern auch zum ersten direkten Futteranfall für die Fische (Endkonsumenten) durch verschiedene ins Wasser stürzende Wasser- und Landinsekten.

1.3. Gewässer mit Ufergehölzen bieten ein günstiges Biotop für die schlüpfenden Insekten.

1.4. Die Ufervegetation vermindert die Temperaturextreme im Jahres- und Tagesgang.

1.5. Ufergehölze verhindern durch Abschirmen der direkten Einstrahlung das Aufheizen des Gewässers und die damit zusammenhängende Abnahme des im Wasser gelösten Sauerstoffes (15°C 9,7 mg/l, 20°C 8,8 u. 25°C 8,1 mg/l). Dies ist bei abwasserbelasteten Gewässern besonders gefährlich.

1.6. Das Ufergehölz vermindert überdies die Verdunstung und schränkt die Abfuhr der über dem Wasser befindlichen erwärmten Luftschichten ein.

1.7. Eingeschlossener Vegetationsgürtel entlang der Ufer verhindert bei bereits langsam strömenden Gewässerabschnitten das starke Wachstum der Wasserpflanzen mit stark überhöhter Sauerstoffproduktion während des Tages und einem Sauerstoffdefizit in den Nachtstunden.

1.8. Die Wurzeln der Ufervegetation, besonders jene der tiefwurzelnden Bäume, bewirken ein Ausfiltern bei überdüngten Gewässern und sichere Fischeinstände.

1.9. Die Vergrößerung des Biotops fördert das Entstehen zahl-

reicher Habitate für Insekten, Vögel und Reptilien sowie für Kleinsäuger und schafft Einstände für Raub-, Reh- und Rotwild.

1.10. Die Ufergehölze sollen aber nicht das ganze Gewässer hermetisch vor dem Betrachter abschließen, sondern einen Durchblick auf unser einzig bewegtes Landschaftselement gestatten.

1.11. Die Ufervegetation bremst bei Hochwasser die Wassergeschwindigkeit ab und ermöglicht den Fischen während eines Hochwassers in die langsamdurchströmten Uferbereiche auszuweichen.

1.12. Der Gehölzsaum am Ufer verhindert das Abschwemmen von Düngemitteln aus der Landwirtschaft in das Gewässer und daher in weiterer Folge ein Fischsterben.

1.13. Die Holzgewinnung sollte beachtet werden.

2. DIE UFERVEGETATION UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DEN SCHUTZWASSERBAU IN ALPINEN GEBIETEN

Die rein biologische Verbauung ist bei Wildbächen gegenüber anderen Schutzwasserbauten großen Einschränkungen unterworfen. Da im Hochgebirge den Hochwasser- und Murereignissen andere Baumaßnahmen entgegengesetzt werden müssen, um die geforderte Schutzfunktion zu wahren, als bei den Flußregulierungen in Tal-lagen, kann hier den Forderungen von Natur- und Landschafts-schutz meist nicht Rechnung getragen werden.

2.1. Die strauchförmige Ufervegetation sichert die Böschung gegen das Unterkolken und die Erosion durch eine feste Durchwurzelung, durch das Aufbereiten des Bodens für ein Versickern und Speichern des Niederschlagswassers, wobei aber eine entsprechende tiefe Bodenkrume vorhanden sein muß. Weiters schützt die Ufervegetation die Bodenoberfläche durch das Abdecken mit den elastischen Ruten der Strauchweiden gegen direkten Wasseran-griff und durch ein wesentliches Vermindern der Wassergeschwin-digkeit (Purpur-, Schwarz-, Reifweide u. a.).

2.2. Die grasförmige Ufervegetation schützt ähnlich wie die Strauchvegetation, aber nur bis 5 kp/m². Daher ist die Verwen-dung nur bei hochwasserführenden Bächen und Flüssen anzuwenden. Der regelmäßige Grasschnitt ist aber erforderlich.

2.3. Gras- und strauchförmige Ufervegetation mit Baumüberbau an der Dammkrone: Diese Kombination hat eine gute landschaftsge-staltende Wirkung und erfüllt alle bereits aufgezählten Vor-teile. Das zusätzlich tiefe Durchwurzeln des Dammmaterials för-dert dessen Standfestigkeit erheblich. Die Holzgewinnung ist hier bereits beträchtlich gesteigert.

2.4. Bei natürlichen Gewässern und künstlichen Dammbächen ver-festigen die Wurzeln von starken Bäumen über längere Strecken das Böschungsmaterial sehr gut, schaffen aber bei ungenügender Pflege und Überalterung bei Katastrophenhochwässern Verklau-sungen.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Bei der Fließgewässergestaltung sollten neben der unbe-stritten an wichtigster Stelle stehenden Schutzfunktion auch die acht hydrobiologischen Kriterien sehr beachtet werden, da-mit ein ausgewogener und sich selbst erneuernder Fischbestand, der als Parameter eines naturnahen Gewässers gilt, erhalten oder geschaffen wird.

Bei Wildbächen und Wildflüssen ist im Verbauungskonzept zusätz-lich die Unterscheidung in murstoßfähige, geschiebe- oder hoch-

wasserführende Gewässer zu treffen.

Wenn das Verbaunungskonzept nach hydrobiologischen Grundlagen erstellt und eine entsprechende Bauwerkstypenwahl durchgeführt wird, die Baumaßnahmen selektiv und funktional überlegt werden, dann wird der Fortbestand der Fischpopulation selbst in einem verbaunten Wildbach gesichert und kann sogar wesentlich verbessert werden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- Aulitzky, H., 1973: Berücksichtigung der Wildbach- und Lawinengefahrengelände als Grundlage der Raumordnung von Gebirgs-ländern. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, Band IV, Teil 2.
- Bagenal, T., 1978: FULTON'S Condition Faktor in T. Bagenal IBP Handbook, Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters, Oxford.
- Bainbridge, R., 1962: Training, speed and stamina in trout. Journal Experimental Biological, 39 (4).
- Brett, J.R., 1964: The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. Journal Fisheries Research Board of Canada.
- Eckel, O., 1960: Temperatur der Fließgewässer; Klimatographie von Österreich. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Springer Verlag.
- Einsele, W., 1960: Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der limnologischen Gestaltung der Gewässer; Österreichs Fischerei, Heft 2.
- Florineth, F., 1982: Ingenieurbiologische Maßnahmen bei Fließgewässern in Südtirol. Landschaftswasserbau 2, Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, Techn. Universität Wien.
- Jungwirth, M., 1984: Auswirkungen von Fließgewässerregulierungen auf Fischbestände; Teil II, Wasserwirtschaft, Wasservorsorge, Forschungsarbeiten BMLF.
- Merwald, I.E., 1984: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbaunung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation. Diss. Univ. f. Bodenkultur, 335 S.
- Merwald, I.E., Moog, O., Jungwirth, M., 1985: Hydrobiologische Charakteristik des Dexelbaches; Wildbach- und Lawinenverbaun, 49. Jg. Okt. 1985, Heft 100, S. 51 - 88.
- Schiechtl, H.M., 1982: Pflanzenauswahl, Pflanzenbeschaffung, Pflege, Kosten. Landschaftswasserbau 3, Ökologie von Fließgewässern; Techn. Universität Wien.
- Stuart, T.A., 1957: The migration and homing behavior of brown trout. Science Invest. Freshwater Fish. Scot. 18.
- Talling, J.F., 1957: The phytoplankton population as a compound photosynthetic system. New. Phytol. 56, S. 133 - 149.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Lektor Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. I.E. Merwald
Institut für Wildbachkunde Isbarygasse 11
Forstliche Bundesversuchsanstalt A-1140 Wien
Schönbrunn - Tirolergarten, A-1131 Wien

ASPECTS CONCERNANT L'EFFET DES
TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT DE CERTAINS
PETITS BASSINS HYDROGRAPHIQUES
TORRENTIELS DE ROUMANIE

C. TRACI, R. GASPAR, S. A. MUNTEANTU

Institut de Recherches et d'Aménagements des Forêts
Bucharest-Roumanie

- SUMMARY -

The essay presents the results of the research on the effects of the management works carried out in 7 small torrential watersheds characteristic for different zones of Romania

The management works consisted of: the turning of some grazing and arable grounds situated on severe slopes, into hayfields or forests; afforestation of degraded lands; improvement of degraded forests etc. All these works were carried out in a proportion of 50-75% of the necessary amounts. The hydrotechnical works, on the torrential beds were carried out in a proportion of 25-50% of the necessary amount.

10-25 years after such works were carried out the following most important effects were recorded:

- The area affected by active degrading processes (erosion and landslides) decreased by 39-79%, i. e. 55% on an average. On afforested lands the area affected by active erosion processes decreased by 75-100%, i. e. 85% on an average:

- The maximum liquid discharge decreased by 16-36%, i. e. 29% on an average;

- The specific erosion lowered from 15.1 to 9.4 m³/ha/year, i. e. 38%. In watersheds where the management works were carried out in great proportion the specific erosion was below 5 m³/ha/year;

- The best results gave the forest cultures of Pinus nigra and P. silvestris (4 m³/ha/year), Robinia pseudoacacia (5 m³/ha/year), Populus euramericana and Salix sp. (7 m³/ha/year), Alnus incana (5 m³/ha/year), Hippophaë rhamnoides etc.

- 10-25 years after the plantations were established on severe eroded lands a soil layer began to form of 10-25 cm. with contents of organic substances of 1.5-5% in the first 5-7 cm

INTRODUCTION

Au cours des années et notamment après 1930, on a exécuté de nombreux travaux de boisement des terrains dégradés et de correction des torrents. Dès

1948 l'action d'afforestation a été intensifiée, prenant des dimensions de plus en plus grandes imposées en principal par le développement impétueux de l'économie nationale.

Dans les dernières 10 années on a fait des recherches détaillées de l'effet des travaux et des mesures d'aménagement sur la dynamique des processus d'érosion et torrentiels en 7 bassins hydrographiques torrentiels, représentatifs pour beaucoup de conditions stationnelles des bassins des rivières Argeş, Buzău, Mureş et Olt, respectivement dans les bassins hydrographiques torrentiels Presaca du bassin d'Argeş, Cătiaş et Olteni du bassin Buzău, Valea Cheii et Valea Ciuchii sur la vallée d'Ampoi et respectivement d'Arieş du bassin du Mureş et Sărăciineşti du bassin moyen de l'Olt(3).

MÉTHODES DE RECHERCHE

Les recherches se sont rapportées sur les suivants aspects plus importants: l'évolution des processus de dégradation du terrain, surtout des processus de dégradation active ^{x)} l'évolution du débit liquid maximum de la crue et du charriage.

Les déterminations des éléments sus-mentionnés (dégradation du terrain, débit liquid maximum et charriage) ont été faites pour deux moments distincts: la situation existante avant l'exécution des travaux d'aménagement et la situation existante en 1978 respectivement 10-25 ans après l'exécution des travaux dans les bassins étudiés.

Les données concernant la situation existante avant l'exécution des travaux d'aménagements respectivement la dégradation du terrain, le changement de l'emploi du terrain ainsi que les travaux et les mesures d'aménagement proposés ont été recueillies des documentations techniques rédigées en ce but; quant aux travaux et les mesures effectivement mis en pratique ils ont été fournis par les circonscriptions forestières et recueillis des travaux d'aménagement. Tous les données ont été complétées et adaptées à la méthodologie de recherche selon laquelle on a travaillé.

L'effet hydrologique des travaux d'aménagement des bassins hydrographiques torrentiels a été établi par rapport aux paramètres hydrologiques des bassins étudiés avant et après l'aménagement des paramètres déterminés par la "méthode de la surface active" (R. Gaspar /1/). L'effet concernant la diminution du charriage a été déterminé en appliquant la méthode Gaspar-Apostol (2) tant dans les conditions du bassin non-aménagé que dans celles du bassin aménagé.

x) Par les processus de dégradation active on a compris les processus d'érosion et de glissement qui dépassent les limites normales. En ce sens, on remarque des terrains à une dégradation active non-stabilisée (terrains sans végétation sur lesquels se produisent des glissements et d'érosion violents) et terrains à dégradation active semi-stabilisée (terrains avec une végétation pauvre sur lesquels les processus d'érosion et de glissement sont évidents mais sans présenter des formes graves).

Parallèlement aux recherches et aux déterminations suscitées, on a recherché, en détail, le rôle des cultures forestières installées sur des terrains dégradés sur la diminuation des processus de dégradation du terrain ainsi que dans la formation et l'amélioration du sol. Les recherches ont résidé en cartographies stationnelles concernant l'état de dégradation du terrain, la formation du sol et d'accumulation des substances organiques dans le sol. En même temps ont été fait des déterminations sur la production de bois réalisée par les divers espèces utilisées sur de différentes catégories de terrains dégradés.

Dans tous les bassins où on a fait des recherches, ont été exécuté des travaux d'aménagement et pris des mesures pour la diminuation des processus de dégradation du terrain et de ceux torrentiels. Par les mesures prises on peut citer: le changement de l'emploi du terrain (notamment la transformation de certains pâturages dégradés et terrains arables, avec une érosion avancée en forêts ou en prairies) et la cesse ou la diminuation du pâtage dans la forêt. Les plus fréquents travaux d'aménagement ont consisté de: boisements sur des terrains à dégradation avancée et travaux hydrotechniques exécutés dans le réseau hydrographique torrentiel (barrages, seuils en maçonnerie à sec ou en gablons, clayonnages et canaux d'écoulement des eaux). On a aussi exécuté, dans une proportion réduite, certains travaux de consolidation des versants (clayonnages), de préparation du terrain (terrasses, trous en entonnoir pour la rétention de l'eau), fossés d'évacuation des eaux en excès sur des terrains glissants, ainsi que des travaux d'amélioration des prairies (seulement dans le bassin d'Obia).

Dans aucun bassin étudié n'a pas été exécuté tout le complexe des travaux d'aménagement qui permettent l'arrêt du processus de dégradation du terrain et des processus torrentiels. Dans les 7 bassins analysés, ont été réalisés des travaux d'aménagement en proportion de 50-75% du nécessaire en ce qui concerne le changement de l'emploi du terrain, y inclus le boisement des terrains dégradés, et de 25-50% du nécessaire par rapport aux travaux hydrotechniques sur le réseau hydrographique et à ceux de consolidations des versants, de préparation du terrain et de la captation et d'évacuation des eaux en excès provenant des zones avec des terrains glissants.

RESULTATS ET CONCLUSIONS

Dans les circonstances sus-mentionnées et seulement 10-25 ans après l'exécution des travaux, on a obtenu des résultats très positifs. Il faut mentionner que les effets ont été d'autant plus grands que les travaux d'aménagement étaient plus complètes, surtout sous le rapport du recouvrement des terrains à dégradation active avec une végétation consistante et sous le rapport de la consolidation des lits torrentiels par des travaux hydrotechniques adéquats (solides).

Par les plus importants effets obtenus, il faut mentionner:

1. L'évolution des processus de dégradation du terrain a été directement influencée des travaux exécutés et de la nature d'emploi du terrain.

- a. Sur l'ensemble des bassins étudiés, la surface sur laquelle avaient

apparu des processus de dégradation active a diminué à 39-79% en moyenne a 55% la réduction la plus importante étant enregistrée dans les bassins où les terrains à érosion active ont été boisés d'une proportion élevée

b. Sur les terrains boisés anciens pâturages terrains arables ou peuplements dégradés par pâturage, situés sur de grandes pentes (15-45⁰) avec des intenses processus de dégradation, la surface affectée de dégradation active a diminuée 7 fois environ 'sur 73-100% en moyenne 85% de la superficie la dégradation active a été stabilisée)

c. Sur les terrains transformés en prairies, antérieurement employés comme pâturages ou terres arables, situés sur des pentes de 10-25⁰, avec une dégradation modérée du terrain la surface affectée de dégradation active a diminué à 52-100%, en moyenne à 85% (plus de 6 fois).

d Sur les terrains dont l'emploi du terrain n'a pas changé, la surface atteinte de processus de dégradation active a augmenté à:

- 17% dans le cas des forêts dégradées;
- 37% pour les prairies utilisées comme pâturages au printemps et après le fauchage (ont notamment accru les glissement de terrain);
- 112% dans les pâturages intensément exploités, situés sur des pentes de 15-35⁰;
- 209% et même plus élevé sur les terres arables, situées sur des pentes de 10-20⁰

Sur les surfaces couvertes de forêts consistantes ne se sont pas produits des phénomènes de dégradation du terrain sauf la réseau hydrographique au long duquel se sont écoulées les eaux provenant des bassins supérieurs, surfaces employées en proportion élevée comme pâturages, terre arable ou prairies à un grand pourcentage de terrains dégradés De même, on n'a pas remarqué des phénomènes évitants de dégradation active sur les prairies consistantes, notamment si les pentes n'étaient trop grandes et si leur substratum lithologique n'était pas prédisposée au glissement

2. Le débit liquid maximum de la crue avait baissé à 16-36% (en moyenne a 29%) dans le cas de la pluie à une fréquence de 1/100 années Si les bassins avaient été complètement boisés le débit liquid maximum aurait été réduit à 46% Aux pluies ayant une fréquence plus grande (1/150 1/20 1/10 ou 1/5 années) l'effet des travaux est bien plus grand (Table 1)

3. Le charriage a diminué à 30-48% (en moyenne à 37%). Sur les versants le charriage a diminué à 26-57% (la moyenne a 41%) et sur les lits à 28-50% (en moyenne a 36%)/Table 2/ La réduction du charriage des lits est due à la baisse des débits de crue (en proportion de 15%) et la rétention réalisée par les travaux hydrotechniques transversals (en proportion de 21%) L'érosion spécifique moyenne globale a été réduite à 38% (de 15,1 m³/ha.an à 9,4 m³/ha.an, respectivement à 5,7 m³/ha.an

Dans l'hypothèse que le boisement des versants fût en totalité et que des travaux hydrotechniques fussent réalisés sur le réseau hydrographique tout entier le total du charriage aurait réduit à 80%, c'est-à dire de 15,1 m³/ha.an à 3,1 m³/ha.an, respectivement dans des limites admissibles.

4 En dehors du rôle de protection, les cultures forestières installées sur les terrains dégradés ont une contribution importante dans la formation et l'amélioration du sol et dans la valorisation de ces terrains.

a) Au-dessous des cultures forestières de pin, acacia, aulne, argousier

blanc, installées sur des terrains à une érosion excessive aussi que sur les talus de ravin, respectivement sur des roches découvertes et au-dessous des cultures de peuplier euro-américain, saule et aulne, installées sur des dépôts alluviaux pauvres, d'âges de 10-25 ans, s'était formé une couche de sol de 10-15 cm sur des roches dures (grès, schistes cristallins), de 15-25 cm sur des roches tendres (glaises, graviers à sable, complexe de marnes et grès) et de 15-30 cm sur des dépôts alluviaux ayant un contenu de substances organiques de 1 5-5% dans les premiers 5-7 cm et 1-2% dans les suivants 5-20(25) cm. Du total des substances organiques on estime qu'environ 80% représentent l'apport de la végétation forestière récemment installée et 20% des substances organiques restées du vieux sol or apportées par érosion et déposées sur les superficies plantées

b) La production de bois réalisée par les principales cultures forestières, exécutées sur les terrains dégradés a été de 4 m³/ha.an au pin, 5 m³/ha.an au robinier, de 7 m³/ha.an au saule et peuplier euro-américain et de 5 m³/ha.an à aulne

BIBLIOGRAPHIE

- GASPAR R 1974: Recherches sur l'efficience hydrologique des travaux de correction des torrents, These de doctorat Bragov (l. roumaine)
 MUNTEANU S A GASPAR R BALOIU V 1970: Correction des torrents et le combat de l'érosion des terrains. Section XIV Manuel de l'ingénieur hydrotechnicien. Ed-Technique, Bucarest (l. roumaine)
 TRACI, C., GASPAR, MUNTEANU, S. A. et leurs collaborateurs: Effet des travaux d'aménagement de certains petits bassins torrentiels. ICAS Serie II Bucarest (l. roumaine)

Janvier 18, 1986

Bucarest

Table 1

Les principaux paramètres hydrologiques des bassins hydrographiques torrentiels-évalués à l'aide de la méthode de la "surface active"/R GASPAR) avant l'exécution des travaux d'aménagement (X_1) et après leur exécution (X_2) et les indices de l'efficacité hydrologique: l'effet hydrologique ($\Delta X = X_2 - X_1$) et le coefficient de l'efficacité hydrologique: K_x (%)

No crt	Bassin hydro-graphique torrentiel	S ha	Symbol	Paramètres hydrologiques du bassin hydrographique torrentiel					m ³ /s	
				Z	f	P	t _c	C		Q _{max} 1%
mm										
min										
1	Presaca	140,12	X ₁	5,5	5,5	2,91	27,9	0,51	21,6	
			X ₂	6,5	6,9	3,60	35,9	0,89	13,9	
			ΔX	1,0	1,4	0,69	8,0	-0,12	-7,7	
			K _x (%)	18,2	25,5	23,7	28,7	-23,5	-35,6	
2	Obia	196,41	X ₁	3,3	4,4	2,68	40,1	0,58	28,5	
			X ₂	4,3	5,1	2,98	54,0	0,51	20,0	
			ΔX	1,0	0,7	0,30	13,9	-0,07	-8,5	
			K _x (%)	30,3	15,9	11,2	34,7	-12,1	-29,8	
3	Cătiag	1979,42	X ₁	4,1	5,1	2,38	62,9	0,61	194,9	
			X ₂	5,3	6,2	2,57	77,2	0,57	158,3	
			ΔX	1,2	1,1	0,19	14,3	-0,04	-36,6	
			K _x (%)	29,3	21,6	8,0	22,8	-6,6	-18,8	

Table 1 (continuation)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Olteni	218,93	X_1 X_2 ΔX $K_x(\%)$	2,5 5,3 2,8 112,0	4,2 6,0 1,8 42,9	2,17 2,75 0,58 26,7	29,5 36,3 6,8 23,1	0,65 0,53 -0,12 -18,5	38,6 27,6 -11,0 -28,5
5	Valea Cheli	727,53	X_1 X_2 ΔX $K_x(\%)$	3,6 4,6 1,0 27,8	4,8 5,5 0,7 14,6	2,60 2,80 0,20 7,7	59,3 68,5 9,2 15,5	0,52 0,40 -0,12 -23,1	48,5 34,5 -14,0 -28,9
6	Valea Ciuchii	54,93	X_1 X_2 ΔX $K_x(\%)$	3,3 5,1 1,8 54,5	4,0 5,5 1,5 37,5	2,66 2,99 0,33 12,7	24,7 29,4 4,7 19,0	0,57 0,49 -0,08 -14,0	7,5 6,1 -1,4 -19,2
7	Sărăciinești	718,10	X_1 X_2 ΔX $K_x(\%)$	5,1 5,5 0,4 7,8	5,9 6,2 0,3 5,1	3,02 3,16 0,14 4,6	38,5 48,1 9,6 24,9	0,50 0,47 -0,03 -6,0	77,1 64,8 -12,3 -16,0

Notations: S = surface du bassin; Z = l'interception et le stockage au cas d'une pluie torrentielle de fréquence 1%.
 accompagnée d'orage; γ = coefficient de rugosité des versants; P = catégorie de perméabilité du sol (notation
 Armand); t = temps de concentration de l'écoulement; C = coefficient moyen d'écoulement; $Q_{\max} 1\%$ = débit
 maximum de crue, généré par la pluie à une probabilité de dépassement de 1%

Table 2

Charriage moyen annuel (W_v) provenu des vers ants (Wav) et du réseau des lits (Waa) avant (I) et respectivement après l'aménagement partiel des bassins hydrographiques torrentiels (D) et les indices de l'efficacité antiérosionale des travaux d'aménagement: "l'effet antiérosional" ($\Delta W_a = W_a, I - W_a, D$) et "le coefficient de l'efficacité antiérosionale" ($Kwa = 100 \cdot \Delta W_a / W_a, I$), selon la méthode Gaspar-Apostol

No. crt.	Bassin hydro-graphique	Surface B.h.t.		Date	Wa		Wav		Waa		ΔW_a	K_{wa}
		versants	lits		S	m^3/an	Total	100	Total	100		
		S_v	Sa		ha	m^3/an	ha	$m^3/an/ha$	m^3/an	m^3/an	m^3/an	%
1.	Presaca	135,71	4,41	140,12	I	2032	14,86	350	16,81	1732	83,19	31,3
					D	1430	10,20	209	14,62	1221	15,38	
2.	Obia	190,23	6,18	196,41	I	2426	12,35	263	10,84	2163	89,16	30,0
					D	1698	8,65	131	7,71	1567	92,29	
3	Căltiaș	1949,65	29,77	1979,42	I	17474	8,83	4931	28,22	12543	71,78	33,5
					D	11622	5,87	3548	30,53	8074	69,47	
4	Olteni	214,58	3,75	218,33	I	5522	25,29	1068	19,34	4454	80,66	38,3
					D	3409	15,61	458	13,43	2951	86,56	
5	V. Cheli	710,60	16,93	727,53	I	7102	9,76	1477	20,80	5625	79,20	42,9
					D	4052	5,57	919	22,68	3133	77,32	
6	V. Ciuchii	53,86	1,07	54,93	I	1141	20,77	183	15,95	958	83,96	47,9
					D	595	10,83	118	19,83	477	80,17	
7	Săracinești	701,26	17,24	718,50	I	9900	13,78	1237	12,49	8663	87,51	31,7
					D	6760	9,41	921	13,62	5839	86,38	

SHORT TERM RESPONSES OF STREAMFLOW FOLLOWING CLEARCUTTING IN EUCALYPTUS
GLOBULUS STANDS IN CENTRAL PORTUGAL.

David, J.S.⁽¹⁾, Henriques, M.O.⁽¹⁾, Rego, Z.C.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Superior de Agronomia, Forest Research Centre, Tapada da
Ajuda, 1399 Lisboa Codex, Portugal.

ABSTRACT

To study the hydrological influences of Eucalyptus globulus, two experimental catchments were set up in Central Portugal. The results have so far shown that, after clearcutting in stands of this fast growing species, there are significant increases in water yield, in peak flows and in the volume of the slow components of streamflow. These results suggest that Eucalypt plantations, compared to shorter vegetation, tend to reduce the magnitude of floods as well as the total amount of water available to other users. The results also show that the hydrological behaviour of catchments covered with even-aged E. globulus stands, frequently repeatedly harvested by extensive clearcut techniques at short time intervals (10/12years), may oscillate strongly in time. Proper forest management practices should thus be recommended to avoid this problem.

INTRODUCTION

Eucalyptus globulus plantations account for about 13% of the forest land in Portugal, occupying an area of c. 400 000 ha (Carvalho, pers. comm.). Growth rates are high reaching up to $20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Eucalyptus globulus plantations for pulpwood are coppiced with a 10-12 rotation period. Growth of sprouts is rapid immediately after cut. According to Pereira *et al* (1984), average shoot height 6 months after winter and spring cutting varies between 1.0 and 1.5 meters. Three to four rotations are possible from an economic stand point.

The eventually adverse impact of this forest species on hydrology has been a subject of great debate in Portugal over the past few years. New plantation programs are facing a growing resistance from environmentalists and rural communities. This is mainly due to the generalised belief that Eucalypt stands have an extremely high consumption of water, through evapotranspiration, thus inducing significant reductions in streamflow and groundwater recharge. Similar criticisms to the eventual negative effects of fast growing forest species are also commonly reported in the literature for other countries. This is the case, for instance, of Pinus radiata in Australia (Dunin and Mackay 1982) and of Eucalypt and Pine plantations in Brasil (Lima e Freire 1976, Lima 1986) and South Africa (Pereira 1973).

This paper reports on a study carried out in two small Eucalyptus globulus catchments in central Portugal, aiming to assess the hydrological effects of this forest species. Short term effects of clearcutting on runoff are particularly emphasized.

THE STUDY AREA

Two adjacent small catchments, some 60km north of Lisbon, Portugal, were selected for this study (Fig. 1). The average annual rainfall of the area is of the order of 800 mm and mean annual open water evaporation is about 850 mm. Most rainfall falls during winter, while the summer is usually very dry. Temperatures range from a mean summer maximum and minimum of 27°C and 13°C to a mean winter maximum and minimum of 14°C and 5°C . The approximate co-ordinates of the site are $39^{\circ}15'\text{N}$ and $09^{\circ}01'\text{W}$. Catchment 1, located towards

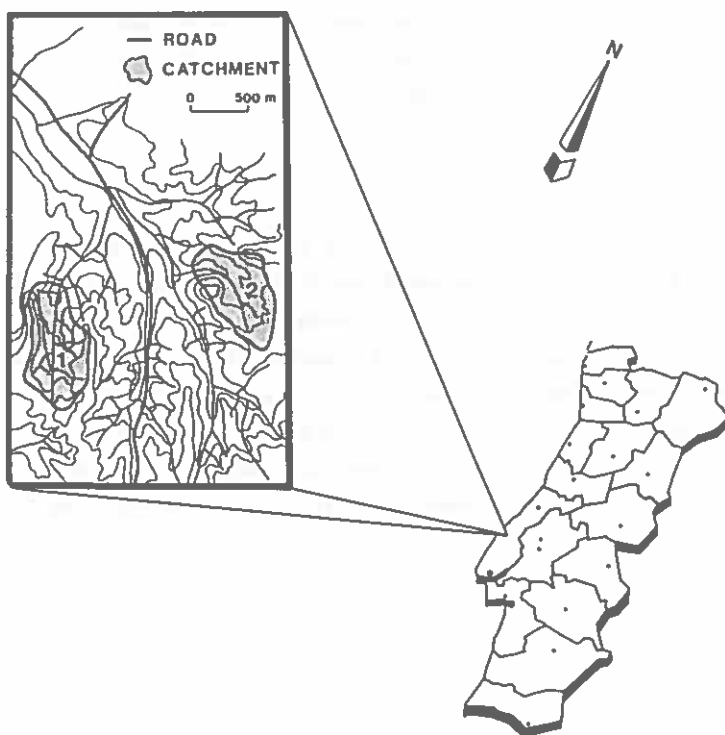


Fig. 1 - Location of the experimental site.

the West, is 152060 m^2 in area, 1688 m in perimeter and the altitude ranges from 114 to 169 m (above sea level). Catchment 2 is 132800 m^2 in area, 1530 m in perimeter and the altitude ranges from 110 to 157 m. Geology and soils are very similar in the two catchments. Humic Cambisols (FAO/UNESCO 1974) usually with a significant amount of clay (12-20%), varying in depth between 25 and 45 cm, overly jurassic and cretaceous sandstones. Bulk density of the sandstones, 50 cm below soil surface, is of the order of $1.7\text{-}1.8 \text{ g/cm}^3$. These values suggest that leakage through deep percolation is probably not of great significance in the two catchments.

Vegetative cover on both cathments consists of even-aged Eucalyptus globulus stands at $2 \times 2.5 \text{ m}$ spacing, with almost no understory. At the begining of this study (October 1982), the Eucalipt stand of catchment 1 was

10/11 years-old (2nd rotation) and the Eucalipt stand of catchment 2 was 1 year-old (3rd rotation). After a 14 month observation period, catchment 1 was harvested (from January to March 1984).

METHODS

The hydrological behaviour of the two catchments has been monitored since October 1982. Runoff was measured continuously at the outlet of the catchments using 90°V notch weirs and OTT water level recorders. The stage-discharge relationship was checked in a reduced laboratory model specially built for this purpose. Maximum expected errors are of the order of 5%. A standard meteorological station was also installed, midway between the catchments. Daily rainfall, rainfall intensity, temperature, humidity, solar radiation, wind speed and open water evaporation are obtained from the available instrumentation.

RESULTS

Annual and Monthly Runoff

Annual hydrological data for the water years 1982/83, 1983/84 and 1984/85 have been summarized in Table 1*. The first year of records was dry and during the following two years annual rainfall (P) was above average. Annual runoff (Q) from the catchments was always very small never reaching more than 6% of annual rainfall.

The differences Rainfall-Runoff (P-Q) in 1983/84 and 1984/85 were quite close to the estimated open water evaporation, had the catchments been cut or not. Such differences could be considered adequate estimates of annual evapotranspiration provided that, on an annual basis, changes in soil moisture and water losses through deep percolation (seepage) could be considered negligible. However, and before it is possible to quantify all the water balance parameters, it will not be safe to estimate annual evapotranspiration based on the differences Rainfall-Runoff.

* Water years begin on the 1st of October and finish on the 30th of September.

Table 1. Some components of the annual water balance of the experimental catchments.

HYDROLOGICAL YEAR	CATCHMENT 1 ^R			CATCHMENT 2 ^{RR}			OPEN WATER EVAPORATION	
	P (mm)	Q (mm)	P-Q (mm)	P (mm)	Q (mm)	P-Q (mm)	Perman (mm)	Classe A Pan (mm)
1982/83	571,20	0,14	571,06	571,20	3,88	567,32	—	—
1983/84	837,00	8,38	828,62	837,00	24,63	812,37	865,97	855,19
1984/85	938,90	61,33	877,57	938,90	20,31	918,59	912,50	885,69

P-RAINFALL Q-RUNOFF

* 10/11 year-old Eucalyptus globulus stand (after the first cut) in October 1982. Harvested from January to March 1984.

** 1 year-old Eucalyptus globulus stand (after the second cut) in October 1982.

According to Table 1, during the pre-cut year (1982/83) annual runoff from catchment 2 (covered by an younger E. globulus stand) was higher than that from catchment 1. This pattern continued during the following year, though catchment 1 was harvested during that water year (January to March 1984). However, most of the 1983/84 precipitation occurred before a significant part of the catchment had been cut. Runoff values originated from January 1984 to the end of the water year (after the cut) were 1.4 and 1.1 mm for catchments 1 and 2. These values represent only 16.7% and 4.5% of annual runoff of the two catchments, respectively. It is thus clear that during 1983/84, there was already some impact, though very small, of harvesting on annual runoff from catchment 1. During 1984/85, the cut influence was quite obvious. Runoff from the recently cut catchment 1 was now significantly higher than runoff from catchment 2.

Assuming that:

1) 1983/84 characterizes reasonably well the annual runoff response pattern from catchments 1 and 2 for the pre-cut period
and

2) E. globulus growth in catchment 2, between 1983/84 and 1984/85, had a minor effect on hydrology compared to the influence of harvesting;

it is possible to have a rough quantitative estimate of harvesting on annual runoff, based on 1983/84 and 1984/85 data. Under the above conditionning, it

can be said that during the post-cut year, annual runoff from catchment 1 increased approximately 9 times. Fig. 2 shows monthly runoff increase following clearcut in catchment 1.

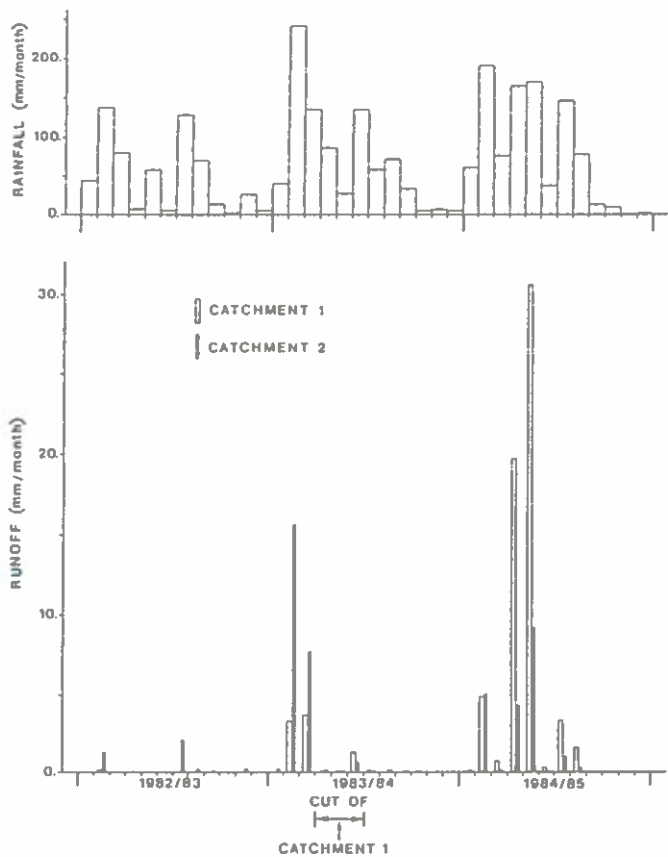


Fig. 2 - Influence of clearcutting on monthly runoff.

Daily Runoff and Storm Hydrographs

Patterns of daily runoff distribution on time, for the two catchments, are shown in Figs. 3, 4 and 5 respectively for 1982/83, 1983/84 and 1984/85. Flow occurs mostly during the rainy winter and, though in usually much smaller quantities, during spring months. A long dry spell of no flow usually occurs

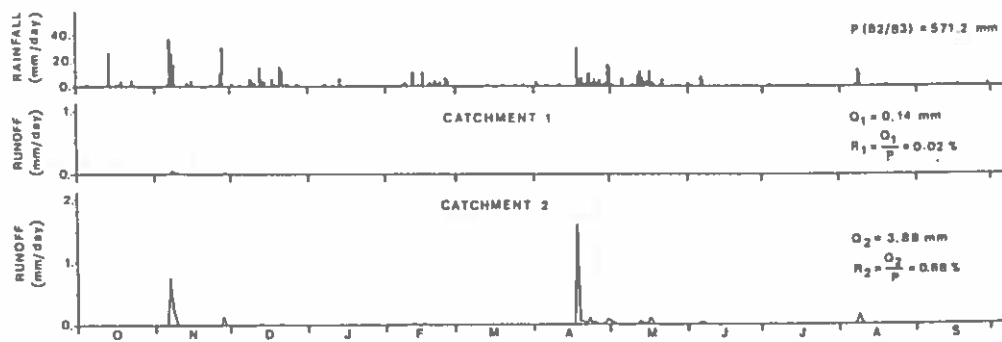


Fig. 3 - Daily rainfall and daily runoff for 1982/83.

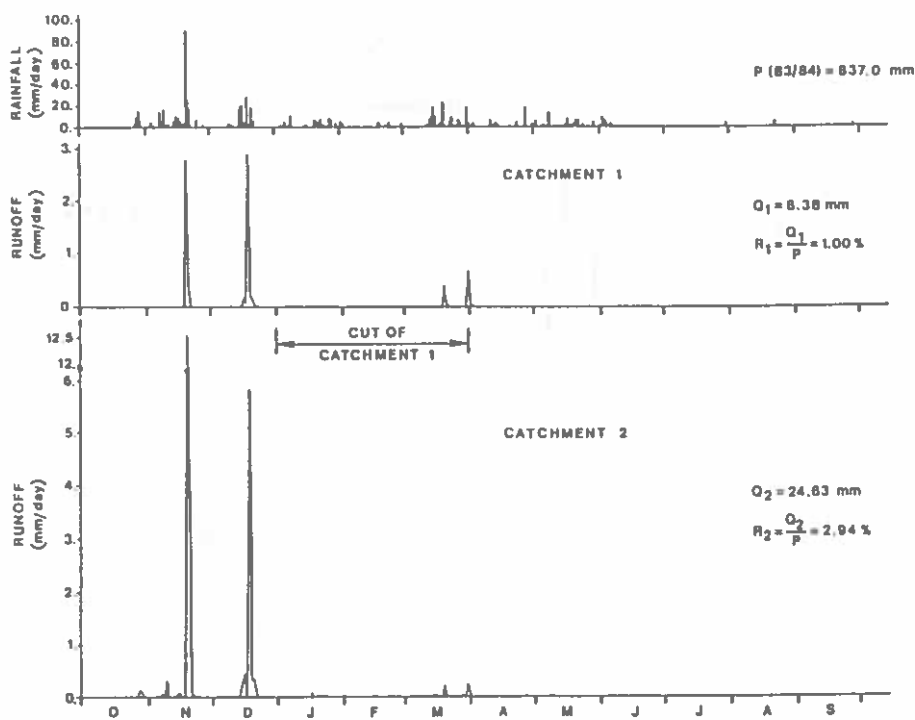


Fig. 4 - Daily rainfall and daily runoff for 1983/84.

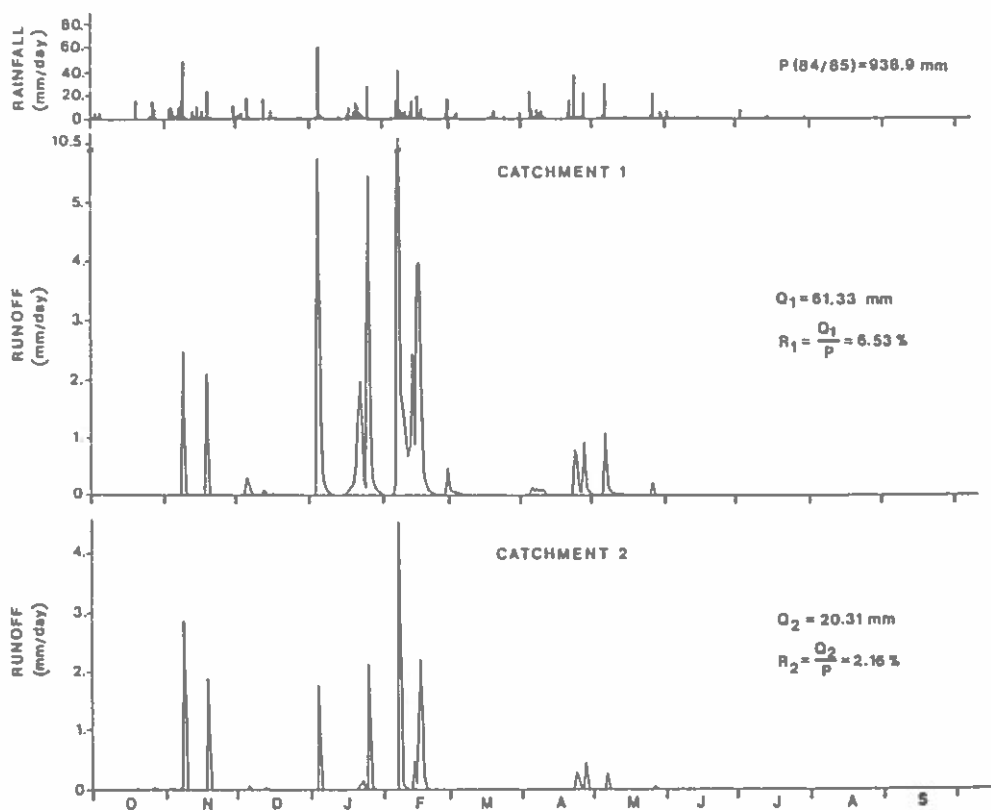


Fig. 5 - Daily rainfall and daily runoff for 1984/85

during summer. Smaller periods of no flow can also occur at any time of the year. The longer recorded periods of continuous flow were of 67 days in catchment 1 during 1984/85 (after the cut) and 21 days in catchment 2 during 1983/84.

Clearcut influence on daily runoff is shown in Figs. 3, 4 and 5. In fact, following harvesting catchment 1, daily runoff from this catchment became higher than that of catchment 2. A completely different pattern of daily runoff distribution for the two catchments was observed during the pre-cut period, with the lowest values occurring on catchment 1.

Runoff hydrograph characteristics in the two catchments were investigated for the most significant events considering peak flow rate (Q_p), event flow volume (Q), runoff/rainfall ratio (R), quick flow volume (Q_s) and delayed flow volume (Q_b)*. Figs. 6 and 7 show the more critical storm hydrographs observed during the pre-cut and post-cut periods. In qualitative terms, these hydrographs typify the general characteristics of most storm hydrographs observed before and after clearcutting catchment 1. Figs. 6 and 7 show that clearcutting induced significant increases in peak flow, event flow volume, quick flow volume and delayed flow volume. Unfortunately the number of events occurring before and after the cut, particularly before the cut, was not enough to allow reliable quantitative estimates of clearcut influence on hydrograph characteristics. However, and using data shown in Figs. 6 and 7, it is possible to have a rough quantitative idea of the influence of clearcutting on hydrograph characteristics assuming that:

1) these more critical hydrographs typify reasonably well other events for the pre-cut and post-cut periods

and

2) the hydrological impact of stand growth on catchment 2, between the two events, is irrelevant compared to the cut influence.

Data from these two events suggest, under the above conditioning, post-cut increases of the order of 7 times on peak flow rate; 10 times on event flow volume; 8 times on quick flow volume and 14 times on delayed flow volume. As was mentioned, these values should be considered as rough indicators for the clearcut influence on runoff events since hydrograph characteristics vary

* Flow components were separated by joining with a straight line the end of the preceding recession limb to a point 2.5 hours after peak flow.

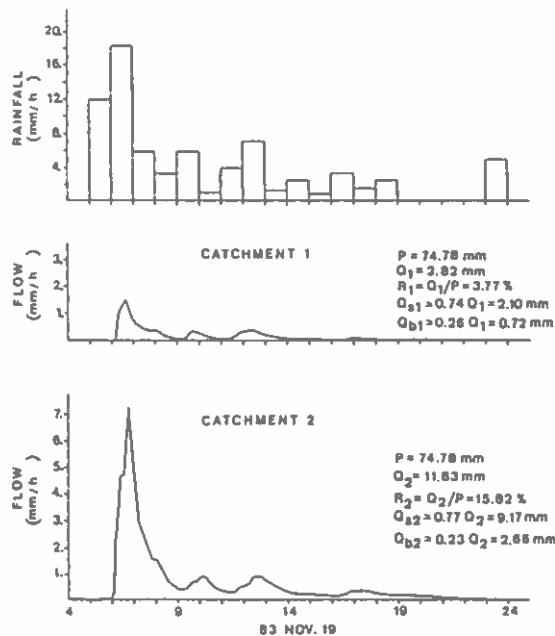


Fig. 6 - Most critical storm hydrograph recorded before clearcut of catchment 1.

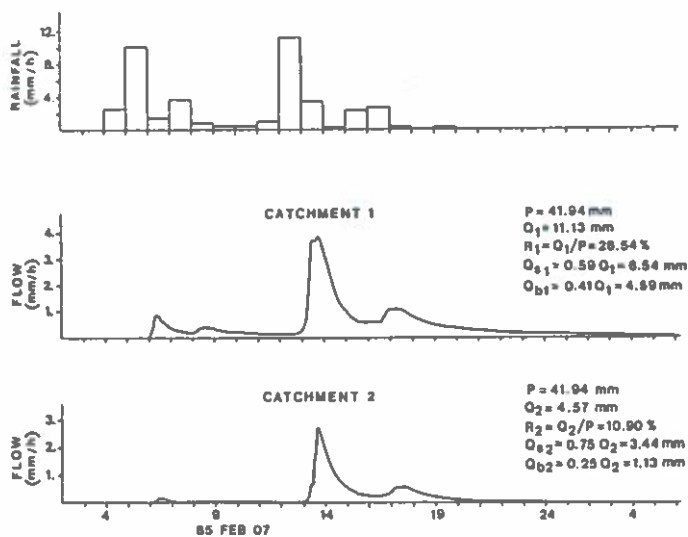


Fig. 7 - Most critical storm hydrograph recorded after clearcut of catchment 1.

from event to event. Fig. 8 shows the influence of cutting on the increase of peak flow rate based on data from all recorded events with peak discharges, in both catchments, greater than 0.01 mm/h.

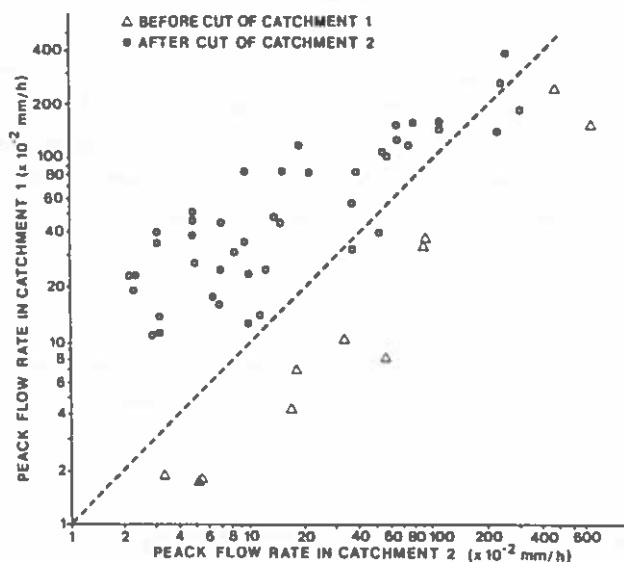


Fig. 8 - Peack flow rates for the two catchments before and after clearcut of catchment 1.

DISCUSSION

The present study shows that significant increases in water yield, peak flow rates and in the quick and delayed flow components may be expected after cleacutting Eucalyptus globulus stands in Central Portugal. These results suggest that E. globulus plantations, compared to shorter vegetation, tend to reduce the magnitude of floods as well as the total amount of water available to other users.

These conclusions are qualitatively in agreement with the hydrological influences usually ascribed to other forest species (Lee 1980, Bosch and Hewlett 1982, Miller 1977, Holmes and Wronski 1982). This study does not allow quantitative comparisons between the hydrological effects of Eucalypts and

other alternative forest types. However, recent literature reviews on the subject (Poore and Fries 1985, Lima 1984 and 1986, Bosch and Hewlett 1982) suggest that the differences are probably not of great significance. Further research, particularly for the Portuguese case, is needed in this field.

The results also show that the hydrological behaviour of catchments covered with even-aged Eucalyptus globulus stands, repeatedly harvested by extensive clearcut techniques at short time intervals (10/12 years), may oscillate strongly in time. This variability in catchment behaviour may be quite negative for local water resources planning programs. Proper forest management practices should thus be recommended to avoid this problem.

REFERENCES

- BOSCH, J.M. and HEWLETT, J.D. (1982) - A Review of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration. Journal of Hydrology, 55: 3-23.
- DUNIN, F.X. and MACKAY, S.M. (1982) - Evaporation by Eucalypt and Coniferous Forest Communities. In "The First National Symposium on Forest Hydrology", Melbourne 11-13 May 1982, the Institution of Engineers, National Conference Publication No. 82/6, Australia, pp. 18-25.
- FAO/UNESCO (1974) - Soil Map of the World (1: 5 000 000). Volume I - Legend. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Paris.
- HOLMES, J.W. and WRONSKI, E.B. (1982) - On the Water Harvest from Afforested Catchments. In "The First National Symposium on Forest Hydrology", Melbourne 11-13 May 1982, The Institution of Engineers, National Conference Publication No. 82/6, Australia, pp. 1-6.
- LEE, R. (1980) - Forest Hydrology. Columbia Univ. Press, New York.
- LIMA, W.P. (1984) - The Hydrology of Eucalypt Forests in Australia - A Review. IPEF, Piracicaba, 28: 11-32.

- LIMA, W.P. (1986) - Influências Hidrológicas dos Eucaliptos: Revisão de Aspectos Relevantes em Diversas Zonas do Globo Terrestre. (Hydrological Influences of Eucalypts: Review of Relevant Aspect in Different Parts of the World). Paper presented at Seminário "O Eucalipto, A Água e o Solo", Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais, Lisbon 1-2 April 1986. p. 62.
- LIMA, W.P. and FREIRE, O. (1976) - Evapotranspiração em Plantações de Eucalipto e de Pinheiro, e em Vegetação Herbácea Natural. (Evapotranspiration in Eucalypt and Pinus Plantations, and in Natural Grasslands). IPEF, Piracicaba, 12: 103-117.
- MILLER, D.H. (1977) - Water at the Surface of the Earth. An Introduction to Ecosystem Hydrodynamics. International Geophysics Series, Vol. 21, Academic Press, New York.
- PEREIRA, H.C. (1973) - Land Use and Water Resources. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- PEREIRA, J.S.; ALMEIDA, I.; ESQUÍVEL, M.G.; NOVAIS, M.C. and SANTOS, R.M. (1984) - Annual Variation in Sprouting Capacity of Stumps of Coppiced Eucalyptus Globulus. In "Bioenergy 84", Volume II, Biomass Resources, Edited by Egnéus, H. and Ellegard, A., Elsevier Applied Science Publishers, London, pp. 127-131.
- POORE, M.E.D. and FRIES, C. (1985) - The Ecological Effects of Eucalypts. FAO Forestry Paper 59, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

THE EFFECT OF FORESTS ON THE HYDROLOGICAL BUDGET

MILAN JAŘABÁČ - ALOIS CHLEBEK

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

Summary

A 31-year long series of forestry-hydrological measurements in two small experimental watersheds in the Beskydy mountains collected from the gauging period /1953-65/ and from the period of continuous felling /1966-84/ did not establish any differences in the volume of annual water run-offs as a result of the fellings. The climate had the decisive influence on run-offs regime. The hydric effect of forests was presumably substituted by the effect of low-level vegetation.

Zusammenfassung

Die 31-jährigen forsthydrologischen Messungen in zwei kleinen experimentellen Einzugsgebieten in den Beskyden im Laufe der Kalibrationsperiode /1953-65/ und der Walderneuerungsperiode /1966-84/ haben keine wesentlichen Differenzen der jährlichen Abflussspenden als Folge des Waldschlages gezeigt. Das Klima bildet das Hauptelement des Abflussprozesses. Das Wildkraut hat wahrscheinlich den hydrischen Effekt der Waldbäume im Wasserkreislauf fast übernommen.

Introduction

Forestry hydrology has been concerned for more than 100 years with the laws of water circulation in a forest environment, but many problems still remain unresolved. The processes involved are very complex and of very long duration by comparison with the human life-span. There is currently interest not only in establishing the effect of forests on the components of the hydrological budget, but also increasingly in verifying the extent to which ecological measures can strengthen water resources and reduce fluctuations in water run-offs. Many published results relate to investigations carried out under experimental

conditions which are, however, not fully comparable because of differences in experimental methods and environmental conditions. In most cases, measurements are taken of precipitation and of water run-off. Additional measurements may relate to other environmental factors influencing the hydrological budget, energy and matter balances either in experimental flow systems or in drainage watersheds. A large number of variables affect the discharge regime, with the result that it is difficult to establish whether afforestation has an effect. In these circumstances, the best method is to use gauged systems with definable hydrological and ecological influences. However, it has been claimed /Brechtel, Krečmer, 1971/ that all the research methods used hitherto have disadvantages.

In Czechoslovakia, hydrological research in forest environments has been carried out for more than 60 years; the best known results are based on measurements made by Válek since 1927. Following a method developed in Switzerland, he measured the precipitation and water run-off in two mountainous areas - Kýčová, which was fully forested, and Zděchovka unforested. The more balanced drainage regime in the forested watershed was attributed to the beneficial influence of the forests.

Water consumption in Czechoslovakia is continuing to rise and it is therefore necessary to establish whether, in mid-European conditions, it is possible to intervene in the forest growths so as to increase water yields. For this purpose, an experimental watershed was set up in 1953 at Malá Ráztoka and Červík. The streams are only 10 km apart, and in these comparable natural conditions should give conclusive data on the water dynamics of the ecosystem not only in the gauging period but also in relation to its changes during the period of growth renewal.

Beskydy experimental watersheds

The watershed of the Malá Ráztoka stream is situated about 18°16' east of Gr. and 49°30' north at a height of 609 to 1084 m above sea level. It covers an area of 2.076 km²; the average incline of the slopes is around 50% and the predominant exposure NW. It is in the foothills of the Carpathian range, consisting mainly of sandstone covered by brown forest soil. It is 100% covered by forest. The watershed was gauged between 1953 and 1966. Towards the end of the gauging period, the average age of the forest was 83 years. The forest comprised 70% *Fagus silvatica*, 25% *Picea excelsa* and 5% *Abies alba*. The average density of timber was 326 m³ha⁻¹ for beech and 218 m³ha⁻¹ for spruce; the total volume of timber in the watershed was 60,149 m³. Since 1966 a renewal of the forest has been in progress, using the technique of clearing and replanting the forest in strips. By the end of 1984, 106.81 ha of forest had been harvested /51.45% of the watershed area/ and 50,866 m³ of timber had been cut and transported away. The wood is transported by cable lifts to forest roads whose density is now 41.1 m ha⁻¹. The average yearly temperature /1953-83/ in the basin was 6.9°C, the average yearly rainfall 1259.6 mm, the average specific outflow 27.7 L s⁻¹km⁻², and the run-off coefficient 0.696.

The Červík watershed is situated 18°23' east of Gr. and 49°27' north. Its area is 1.849 km², the average incline of the slopes is 30% and the predominant exposure is to the NE. The geological bed is formed by sandstone interspersed with slate, on which forest soils with a mixture of sand and clay develop. Gauging has been carried out in this watershed since 1953. Because Červík is naturally divided in a Y-shape into two parts /part A covering 0.88 km² and part B 0.84 km²/, a method of paired comparisons should be used. Unfortunately, it was only at the end of the gauging period /1964/ that separate measuring drains were installed to provide the necessary paired measurements. At the start of the vegetation renewal period in 1966 the mean age of the forest in the watershed was 70 years, with 99% representation of *Picea excelsa*. The timber density was 453 m³ha⁻¹ and the overall supply of timber in the basin 78,022 m³. Intensive renewal of the plantations is being carried out in part A; up to the end of 1984 76.47 ha of plantation had been renewed, i.e. 41.40% of the area of whole watershed, 86.90% of part A and 51,933 m³ of timber harvested. For the purposes of comparison, part B remains unfelled. The timber is removed from steeper slopes by cable lifts, elsewhere mainly by skidders. As part of the technological build-up, 6 km of asphalted roads /density 70.1 m ha⁻¹/ were constructed in part A. The average yearly temperature in the watershed was 6.0°C, the average precipitation 1141.6 mm, the average yearly specific run-off 20.04 L s⁻¹km⁻² and the run-off coefficient 0.554.

Methods of measurement

The aim of the long-term research is to clarify how, in the given environmental conditions of both experimental watersheds, the renewal of plantations through strip cuttings affects the water input-output process. Apart from basic measurements of the hydrological budget, measurements have been taken of the erosion intensity /since 1958/, interception by forest /1963/ and of the matter cycle /1981/. All these other processes, however, are analysed separately. The precipitation is measured at four points in the watershed with totalizers, three on the boundary and the fourth in the centre of the watershed. In addition, during the warm season there are 2 to 4 pluviographs. The quantity of precipitation in the watershed is being assessed by the polygon method of Horton. The run-offs are measured in four gauged troughs with rectangular profiles connected by a shaft on which a limniograph is mounted.

Analysis of data

The research has shown that it is not sufficient merely to compare surface run-offs from the watershed before and after the felling of plantations. It is necessary to use a statistical method which seeks to solve the functional relationship

$$H_R' = F / H_P / ,$$

where H_R' are annual values of run-off volume and H_P are annual precipitation volumes, both expressed in mm. The prime // indicates values calculated from the equation, as opposed to measured values. The relationship was analysed in two ways:

1. A linear regression based on the model

$$y = a + bx$$

was used. This method takes no account of the distribution of precipitation during the year, which considerably affect variations in the run-offs /e.g. point 29 in Fig. 8/. The regression lines in the illustration are shown as solid lines, the dotted lines representing 95% confidence bands for the estimation of y from x . The upper and lower confidence limits y_U , y_L are calculated as

$$\begin{aligned} y_U &= y' + t s_{yx} \\ y_L &= y' - t s_{yx} \end{aligned}$$

where t denotes the 95% point of the Student's distribution with $n - 2$ degrees of freedom, and the standard deviation

$$s_{yx} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n - 2} \right]^{0.5}$$

2. Analysis of matched pairs between cumulative sums of two time series which are to be compared. For homogeneous series the relationship is linear and a deviation of the double mass curve from specified boundaries implies significance of the measured series. The homogeneity of the series was tested by an F-test /Dyck, 1980/. The null hypothesis of no difference between the segments of the time series investigated is rejected when the calculated F exceeds the tabulated F on 1 and $n - 3$ degrees of freedom at the desired significance level, n being the sample size. With significance level .05, the tabulated values are 4.2 for $n = 30$ and $n = 31$, 4.5 for $n = 18$ and $n = 19$. For ease of reference, Fig. 9 shows double mass curves as broken lines and straight lines are fitted to the set of points.

Results of analysis

The results of the analysis of cumulative values of the precipitation-run-off relationship are presented in tables and graphs.

Tables 1 and 2 give an overview of the hydrological budget for the two experimental watersheds. The hydrological year commences in both on 1st October; the annual budget includes snow precipitation, which in some years can occur as early as the end of October. The annual values range from 59 to 159 per cent of the norm, depending on the change in climatic elements. The budget includes the undivided Cervík watershed. We assume that the extreme values in the 1979/80 hydrological year in the Malá Ráztoka watershed are due to drifting of a fairly large quantity of snow from the neighbouring watershed and also to an extreme distribution of precipitation in the following warm season.

Fig. 5 shows average values of precipitation /empty columns/ and run-off /shaded columns/ and their total values

during the year, from measurements taken in the Červík watershed between 1953 and 1983. The presentation of values for Malá Ráztoka is similar.

The relation $H_R = F / H_P$ was calculated for Malá Ráztoka from values shown in Table 1 as

$$H_R' = 0.85 H_P - 193.4 ,$$

with correlation coefficient $r = 0.787$, standard deviation $SH_{H_P} = 148.7$ mm and c.v. 17%. For the Červík watershed the calculated relationship was

$$H_R' = 0.6742 H_P - 137.0 ,$$

with $r = 0.866$, $SH_{H_P} = 76.4$ mm, c.v. 12.1%. These correlations are highly significant, the critical value for significance at the .01 level for sample size 31 being 0.456. The above equations show in a simple and objective way the development of the precipitation-run-off process in the watershed analysed. A graphical representation of these relationships is given in Fig. 6 and 7.

In parts A and B of the Červík watershed the relationship between run-offs was investigated in a similar manner /Fig. 8/, resulting in the equation

$$H_R^A = 1.142 H_R^B + 208.1 ,$$

with correlation coefficient 0.895, standard deviation 77.5 mm and c.v. 10.1%.

The application of a double cusum and an F-test produced the following results:

For testing the series of precipitations and run-offs for the first period $n_1 = 25$ /years 1 to 25/ and for the second period $n_2 = 6$ /years 26 to 31/ the F-values of 28.5 for Malá Ráztoka and 0.6 for Červík were calculated. The effect of point 27 for Malá Ráztoka is apparent from Fig. 6; when this is eliminated the calculated F-value is reduced to 23.8, which still shows that the series are not homogeneous, i.e. in Malá Ráztoka trend has altered in the last 5 years. The series of precipitations and run-offs in part A /F = 1.7/ and in part B /F = 1.6/ remain homogeneous, however.

A comparison of the precipitation series for the whole of the Červík watershed with the series of precipitation measured in a local meteorological station with regular daily service has demonstrated their homogeneity. By comparison of the Červík and Malá Ráztoka watersheds for the last 6 years is somewhat less variable than during the first 25 years, showing the effect of wide areas of felling. The precipitation series for parts A and B of Červík are homogeneous, however, the F-value being 0.5. The testing of run-off series in Malá Ráztoka and Červík gave F = 2.9. The series are also homogeneous in parts A and B of Červík.

Conclusions

In order to establish the hydric effects of the forests, it is necessary to work with gauged watersheds and to make felling interventions in the plantations. With continuing felling of forest plantations, stable conditions for the measurement of precipitation are disturbed; this has to be taken into account in choosing locations for precipitation measure-

ment. The homogeneity of precipitation and run-off series has to be statistically tested.

The input-output relationship is linear in character and incorporates the genetic conditions of the run-off process. Individual annual values can deviate from the equilibrium line up to $\pm 30\%$, according to the calculated 95% confidence limits. These variations are caused by different climatic conditions in individual years and cannot be influenced by human intervention.

From the analysed material it is possible to conjecture that the felling of the forest plantations did not cause everywhere substantial changes in run-off volume. An important factor affecting the hydrological budget is low-lying vegetation, which can to a large extent replace the hydric effect of forest trees. However, no tendency toward a catastrophic evolution of the hydrological budget of a forest ecosystem after felling of plantations was established.

The possibility of long term strengthening of water resources by intervention in forestry economy cannot be considered realistic in the context of normal forest management. It would be necessary to arrange that elements of the negative components of the hydrological budget reinforced each other, rather than cancelling out /e.g. by simultaneously suppressing evaporation and transpiration/. In any case, increasing the ground water yield does not necessarily increase the amount of water available for human needs.

Literature

- Brechtel, H.M. and Krečmer, V., 1971: Die Bedeutung des Waldes als Hochwasserschutz. Oesterreichische Wasserwirtschaft, Jhg. 23, H. 7/8, S. 166-177
- Dyck, S., 1980: Angewandte Hydrologie. 1. und 2. Teil, Verlag für Bauwesen, Berlin, S. 1072
- Jařabáć, M. and Chlebek, A., 1984: Der Einfluss des Kahlschlages im Flyschgebiet auf den Ablauf und die Trübung der HQ-Wellen. Intern. Symp. INTER-PRAEVENT 1984, Villach, Tagungspublikation, Bd. 1, S. 93-106
- Válek, Z., 1959: Beitrag zur hydrologischen und hydrotechnischen Verwendbarkeit der Holzarten. Publ. No 48 de l Association intern. d hydrologie scientifique, Gentbrugge
- Válek, Z., 1962: Forests, fields and pastures in the hydrology of headwaters. Water Management Research Institute, Prague, No 106, 115 pp. /in Czech/

September 1985

Table 1 - Hydrological budget in the Malá Ráztoka watershed

Serial number	Hydrol. year	Annual precip. mm	Annual run-off mm	Specific run-off L/s.km ²	Run-off coeffic.
1	1953/54	804.8	513.9	16.30	0.639
2	1954/55	1,285.4	1,076.5	34.13	0.837
3	1955/56	1,044.6	747.7	23.64	0.716
4	1956/57	1,209.5	785.5	24.91	0.649
5	1957/58	1,405.6	965.5	30.61	0.687
6	1958/59	1,277.5	848.6	26.91	0.664
7	1959/60	1,388.6	831.4	26.29	0.600
8	1960/61	1,149.2	554.8	17.59	0.482
9	1961/62	1,292.9	852.4	27.03	0.659
10	1962/63	1,170.5	642.9	20.39	0.539
11	1963/64	891.6	575.0	18.18	0.645
12	1964/65	1,600.6	1,158.6	36.74	0.724
13	1965/66	1,711.4	1,208.6	38.32	0.706
14	1966/67	1,388.3	797.6	25.29	0.575
15	1967/68	1,420.6	933.9	29.53	0.657
16	1968/69	968.9	611.9	19.40	0.632
17	1969/70	1,247.9	788.7	25.01	0.632
18	1970/71	1,231.9	736.2	23.35	0.598
19	1971/72	1,625.0	1,077.8	34.08	0.663
20	1972/73	1,083.9	560.3	17.77	0.517
21	1973/74	1,196.7	694.8	22.03	0.581
22	1974/75	1,487.9	1,141.3	36.19	0.767
23	1975/76	1,119.3	680.0	21.51	0.608
24	1976/77	1,641.2	1,333.0	42.27	0.812
25	1977/78	1,084.7	699.9	22.20	0.645
26	1978/79	1,141.2	959.8	30.44	0.841
27	1979/80	1,381.0	1,393.5	43.98	1.008
28	1980/81	1,227.7	970.4	30.77	0.790
29	1981/82	1,370.3	1,220.2	38.47	0.890
30	1982/83	1,042.6	831.9	31.40	0.798
31	1983/84	1,072.2	931.2	29.40	0.868
$\bar{x}$	1953/84	1,256.9	875.0	27.70	0.696

Table 2 - Hydrological budget in the Červík watershed

Serial number	Hydrol. year	Annual precip. mm	Annual run-off mm	Specific run-off L/s.km ²	Run-off coeffic.
1	1953/54	728.9	373.3	11.84	0.512
2	1954/55	1,152.3	797.0	25.27	0.692
3	1955/56	1,014.5	591.0	18.69	0.583
4	1956/57	1,065.9	548.0	17.37	0.514
5	1957/58	1,109.8	614.7	19.49	0.554
6	1958/59	918.3	607.1	19.25	0.661
7	1959/60	1,024.9	547.8	17.32	0.534
8	1960/61	1,077.2	492.0	15.60	0.457
9	1961/62	1,035.8	647.8	20.54	0.625
10	1962/63	1,091.1	464.5	14.73	0.426
11	1963/64	799.5	398.4	12.60	0.498
12	1964/65	1,373.7	894.8	23.38	0.651
13	1965/66	1,407.4	890.3	28.23	0.633
14	1966/67	1,344.0	647.6	20.54	0.482
15	1967/68	1,247.7	696.7	22.03	0.558
16	1968/69	845.1	410.6	13.02	0.486
17	1969/70	1,100.0	617.3	19.57	0.561
18	1970/71	1,208.7	649.4	20.59	0.537
19	1971/72	1,253.2	720.6	22.79	0.575
20	1972/73	901.7	455.8	14.45	0.505
21	1973/74	1,004.1	524.2	16.62	0.522
22	1974/75	1,355.2	846.9	26.86	0.625
23	1975/76	1,162.1	482.0	15.24	0.415
24	1976/77	1,488.6	850.0	26.96	0.571
25	1977/78	1,257.1	685.7	21.74	0.545
26	1978/79	1,143.4	659.9	20.92	0.577
27	1979/80	1,248.2	791.3	24.99	0.634
28	1980/81	1,258.3	747.0	23.59	0.594
29	1981/82	1,494.5	849.0	26.82	0.568
30	1982/83	1,277.7	616.0	19.53	0.482
31	1983/84	1,001.5	496.1	15.69	0.495
$\bar{x}$	1953/84	1,141.6	632.7	20.04	0.554



Fig. 1 - Malá Ráztoka experimental watershed, 1984



Fig. 2 - Červík experimental watershed, 1984

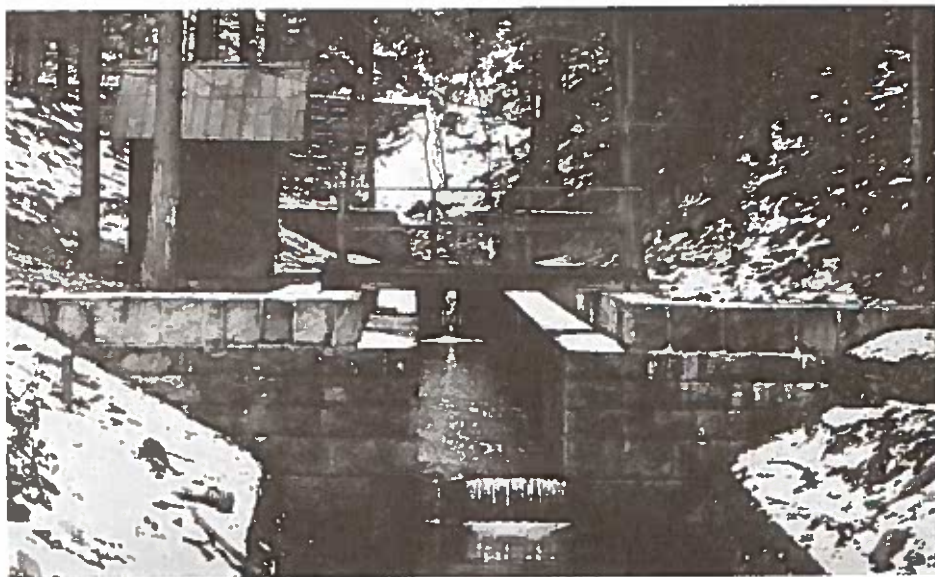


Fig. 3 - Gauging drain for measuring run-offs

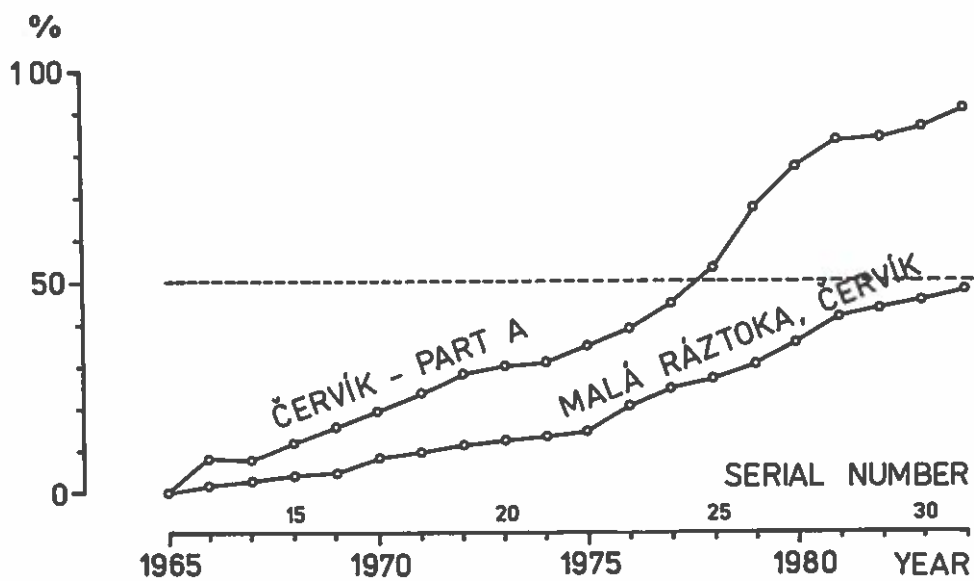


Fig. 4 - Forest growth renewal in % of experimental area

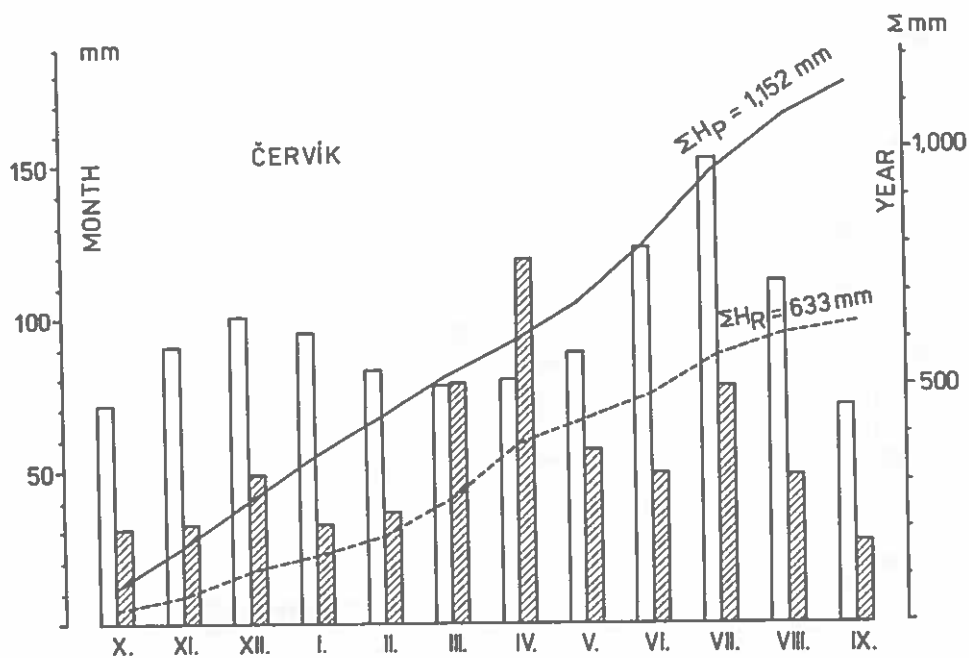


Fig. 5 - Average monthly precipitation in the Červík watershed

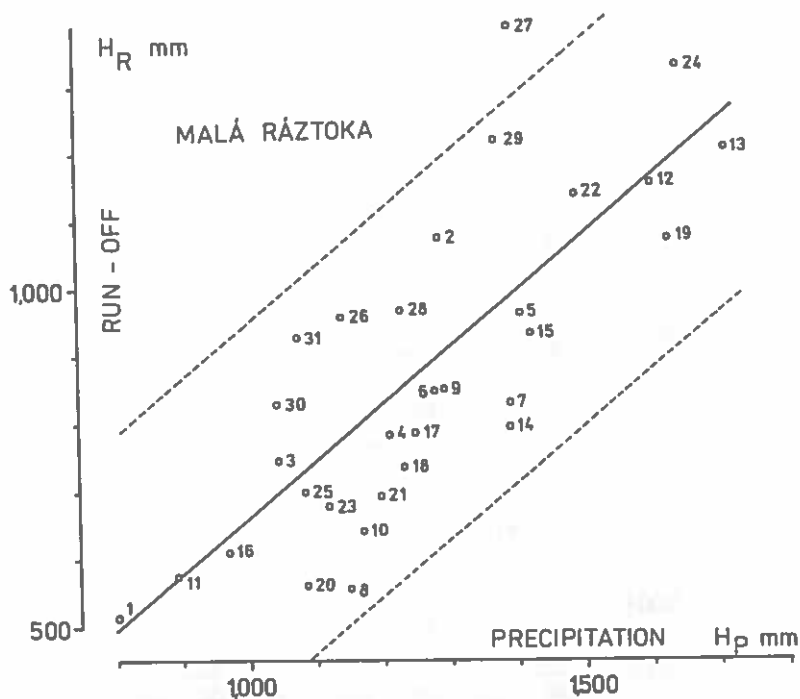


Fig. 6 - Annual run-offs in Malá Ráztoka watershed as a function of precipitation

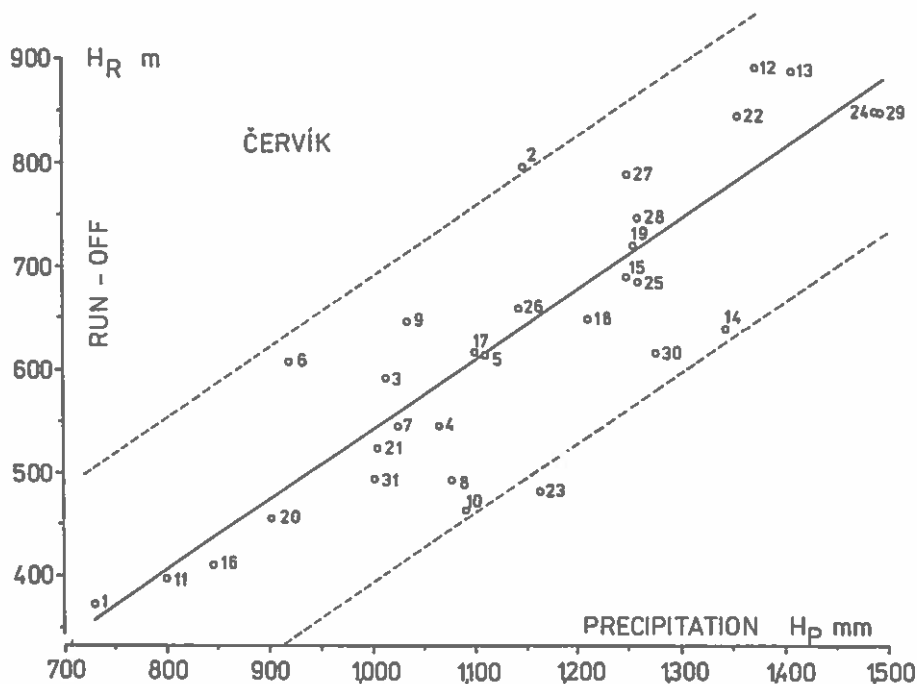


Fig. 7 - Annual run-offs in Červík watershed as a function of precipitation

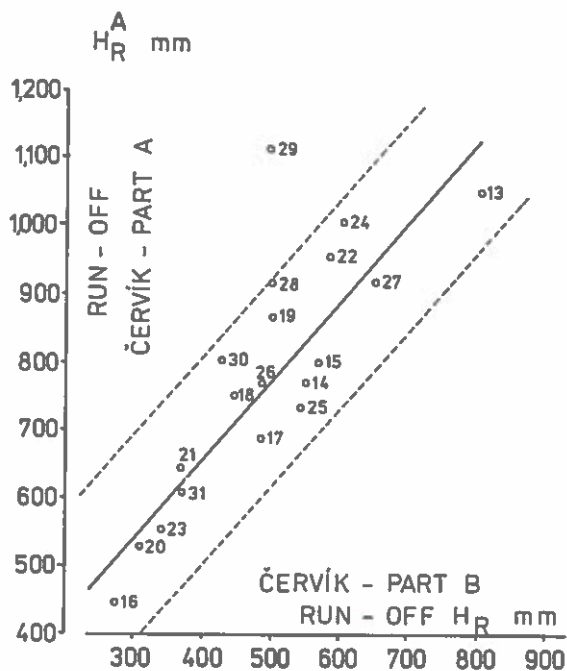


Fig. 8 - The relationship between annual run-offs in parts A and B of the Červík watershed

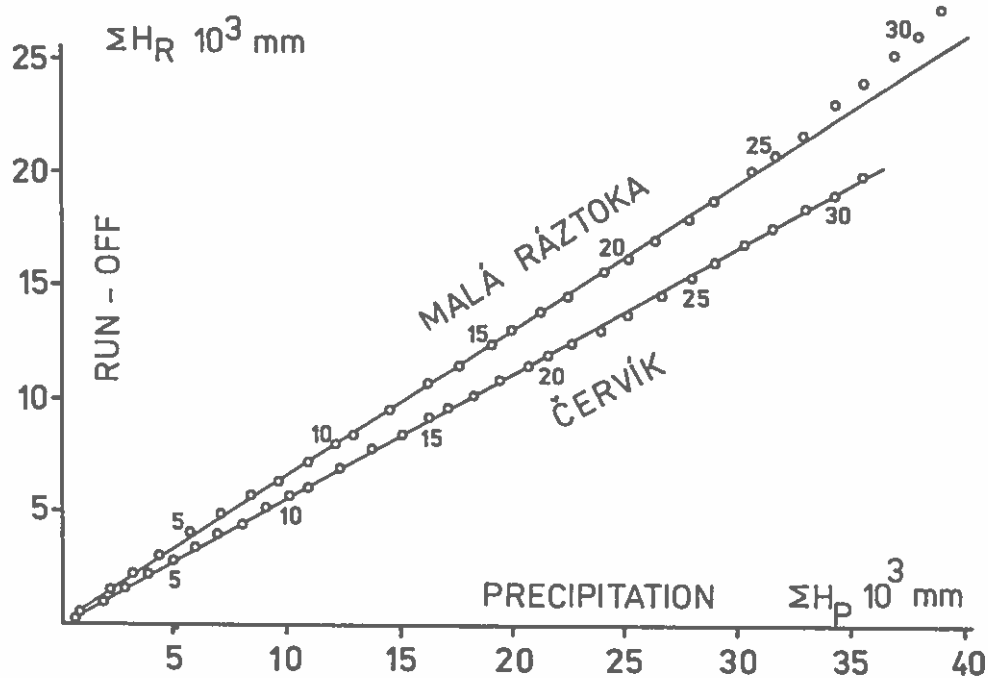


Fig. 9 - The double mass curve between run-offs and precipitations in the Beskydy experimental watersheds

HYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

IM TRIEBENBACH

D. Zedlacher

Admont/AUSTRIA

Der TRIEBENBACH liegt im Herzen Österreichs und kann wohl als einer der gefährlichsten Wildbäche des Bundeslandes STEIERMARK bezeichnet werden.

Nach einer starken Sohlabsenkung im Tale des Vorfluters (der PALTEN) kam es im Triebenbach durch rückschreitende Erosion zur Ausbildung einer Steilstufe, des "WOLFSGRABENS". Da die Gesteine der GRAUWACKENZONE hier besonders geringe Festigkeiten aufweisen, mußte es im Gefolge der Sohleintiefung verbreitet zum Nachsacken der Einhänge, zu sogenannten "Talzuschüben" kommen. Diese geo-historische Entwicklung ist für den aufstrebenden Industrieort TRIEBEN, auf dem Schwemmkegel des gleichnamigen Baches gelegen, eine große Gefahr.

Aus dem weitgefaßten Rahmen des Generellen Verbauungsprojektes 1984 soll an dieser Stelle der Teilbereich "Darstellung der meteorologisch-hydrologisch bedingten Gefahren" kurz umrissen werden.

Solange nicht zuverlässig verhindert werden kann, daß Hochwasserwellen aus dem großen Einzugsgebiet - mit fast 100 km² - die Einhänge im Wolfsgraben aufreißen, sind Nachsackungen der Talflanken und somit schwere Verwüstungen des Ortes Trieben unvermeidlich. Auf dem Boden dieser Feststellungen hat natürlich die Abklärung der Häufigkeit, Spitzenwerte und besonders auch der Masse solcher Hochwasserwellen große Bedeutung für Verbauungserfolg oder -fehlschlag. Und dies unabhängig davon, ob man auf der Basis dieser Untersuchungen eine ausreichende Regulierung im Wolfsgraben erstellen möchte, oder aber die Hochwasserwellen in Rückhaltebecken auffängt.

Im erwähnten Projekte sind zwei derartige "Hochwasser-Dossierwerke" geplant, um die größten Teil-Perimeter abzupuffern.

Zu Beginn der Projektierungsarbeiten lagen die Annahmen für Hochwasserspitzen - etwa eines HQ 100 - im Bereiche von 50 - 200 m³/s und waren daher für Dimensionierungen unbrauchbar. Um aus diesem Dilemma herauszufinden, wurde der nachfolgend skizzierte Weg beschritten:

zuerst sollte versucht werden, plausible Werte für die Hochwasserspitzen, in Abhängigkeit von ihrer Wiederkehrwahrscheinlichkeit ("Jährlichkeit") zu ermitteln. Daran könnte man dann die Bemessungs-Ganglinien anlehnen. Diese Absicherung plausibler Hochwasserspitzen ist nach meinem Dafürhalten unbedingt erforderlich, um nicht in reine Phantasieprodukte abzugleiten (zumindest bei Wildbächen).

Im Triebenbach gibt es hiefür vor allem zwei Ausgangspunkte:

a) Eine Pegel-Meßreihe von 1948 - 1965 (Pegel "Brodjäger"). Diese Daten sind wertvoll, aber bei weitem nicht ausreichend, um damit ohne weiteres in den

Bereich katastrophaler Hochwässer extrapolieren zu dürfen.

b) In langwieriger, mühsamer Kleinarbeit wurden Hochwasserberichte, Zeugnisaussagen sowie Bildmaterial gesammelt und analysiert. Als wichtigstes Ergebnis kristallisierte sich heraus, daß es in den ersten 8 Jahrzehnten dieses Jahrhunderts 3 Hochwasserereignisse mit Spitzenabflüssen von ca. 60 m³/s - also gleicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit - gegeben hat.

Um diese Ereignisse ihrer Jährlichkeit nach einzuordnen, kann man sich des "Bernoulli-Experimentes ja/nein" bedienen (Wahrscheinlichkeit für das mindestens 1malige Eintreten eines HQ_n in T Jahren:

$$W = 1 - (1 - 1/n)^T$$

Die Auswertung im Triebenbach ergibt eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese Hochwässer als "etwa 50jährlich" einzustufen sind.

Nach intensiver Aufbereitung aller verfügbaren Grundlagen erscheint es nunmehr möglich, statistische Verteilungsfunktionen weiter zu "befragen". Moderne Funktionen haben durch die höhere Anzahl ihrer Parameter eine erstaunliche Anpassungsfähigkeit. Das ist einerseits ein großer Vorteil, denn sie sollen ja doch die ganze Vielfalt der Naturvorgänge nachbilden können; zum anderen aber ist diese Biegsamkeit ein "Glatteis", auf dem man bei der Projektierung leicht ausrutscht, denn sie erlaubt - besonders im Extrapolationsbereich - ohne weiteres "statistisch abgesicherte Lügen". - Und genau dort, im "Lügenbereich" der Funktionen, liegen die Werte, die man so dringend braucht.-

Das verwendete Ablaufschema zur Ermittlung der optimalen Verteilungsfunktion lehnt sich an das vom "Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau" empfohlene an, wurde aber aus verschiedenen Gründen in einigen Punkten modifiziert. Die so ermittelte log-Pearson-III Verteilung ergibt nach Parameterbestimmung durch die Momentenmethode im Wahrscheinlichkeitsnetz das auf Seite 6 dargestellte Bild.

Übrigens führt die Anwendung der von SYDLER/ZOLLINGER/WIDMOSER gründlich erarbeiteten und 1983 veröffentlichten Formel zu ähnlichen Ergebnissen. Da aber die Schiefe der dort verwendeten Gumbel-Verteilung doch wesentlich von jener der Pegelmessungen abweicht, gebe ich den Pearson-Werten den Vorzug.-

Auf dieser Grundlage, und mit den bei der vorangegangenen, sorgfältigen Bearbeitung fast zwangsläufig gewonnenen Einblicken in das Abflußverhalten, sollten sich nun brauchbare Hochwasser-Ganglinien simulieren lassen.

Am Wasserdosierwerk "Vordertriebental" sei die weitere hydrologische Bemessung kurz umrissen: als Dimensionierungsvarianten werden 3 meteorologische Zustände herangezogen:

I) heftiges Gewitter (mit sehr großer Ausdehnung der Schauerzelle)

II) Starkregen (Front): geringere Intensität, aber wesentlich größere Dauer (= Anlaufzeit)

III) Schmelzflut (Überlagerung von Schneeschmelze und Regenfällen bis in die Gipfelregionen. Da die Sohle des Triebentales auf 1100 m Seehöhe liegt, ist häufig bis weit in das Frühjahr hinein noch eine geschlossene Schneedecke anzutreffen (wie bei den Katastrophen 1907 und 1938).

Die Abflußganglinien I und II werden unter Einarbeitung einer genauen Perimeterbeschreibung nach einem Niederschlags-Abfluß-Modell mit Hilfe des Zeit-Flächen-Diagrammes und variablen Abflußbeiwerten nach KOHLER dargestellt (Beispiel S. 7). - Die Kennlinie unterhalb des Hydrographen soll anzeigen, welcher Rückhalteraum bei verschieden starker Drosselung der Hochwasserwelle erforderlich ist; ein sehr brauchbares Hilfsmittel für die Projektierung, die ja immer auch Optimierung bedeutet.

Während beim Gewitter - wegen der kurzen Dauer des Ereignisses, und um bezüglich der Abflußspitze auch sicher auf der sicheren Seite zu liegen - auf eine Interflow-Abtrennung verzichtet wurde (Basisabfluß + Interflow = konstanter Sockelbetrag), erscheint eine solche bei Starkregen längerer Dauer jedenfalls erforderlich. Hierzu ist noch viel Abklärungsarbeit erforderlich, zumindest für den Bereich der kleineren Einzugsgebiete. Solange man nichts Genaueres weiß, gibt es nur eines: auf der sicheren Seite zu bleiben, das heißt, den Interflow-Anteil eher zu unter- als zu überschätzen .-

Noch schwieriger aber war die quantitative Erfassung des Bemessungsfalles III - Schneeschmelze, überlagert von Regenfällen. Bevor man die Abflüsse ihrer Höhe nach bestimmen kann, muß man sie zuerst qualitativ erfassen. Hierzu hat H.G. MÜLLER mit seiner Arbeit und seinem Schaubild über die Wärmebilanz der Schneeoberfläche sicher einen wesentlichen Beitrag geleistet (siehe Seite 8):

Man erkennt daraus, daß es grundsätzlich 3 Zustände an der Grenzfläche Schnee-Luft gibt, wenn die Temperaturen über den Gefrierpunkt ansteigen. Bereich A: kein Abschmelzen der Schneedecke, trotz positiver Lufttemperatur, da der Wärmeverlust durch Verdampfung größer ist als die Wärmezufuhr aus der Atmosphäre. Der Substanzverlust der Schneedecke geht ausschließlich "in die Luft".

Bereich B: Schnee beginnt nun auch zu schmelzen; aber die Verdunstung des Schmelzwassers und der Schmelzvorgang selbst entziehen so viel Wärme, daß sich das Abschmelzen selbst drosselt. Der Substanzverlust der Schneedecke geht hier hauptsächlich an die Luft, in gedrosseltem Ausmaß auch Richtung Boden.

Bereich C: Während im Bereich A und B die einzelnen Teil-Wärmeströme gegeneinander gerichtet sind und sich daher automatisch in Grenzen halten, liegt der Fall im Bereich C anders: bei höheren Luftfeuchtigkeiten kommt es nämlich zur Kondensation dieser Luftfeuchte an der kälteren Schneeoberfläche. Die dabei frei werdenden, beachtlichen Wärmemengen heizen den Schmelzvorgang an, und etwa die siebenfache Schneemasse der kondensierten Luftfeuchte wird durch die Kondensationswärme eingeschmolzen. - Hier geben also Luft und Schnee Wasser an den Untergrund ab!

Für die Überlagerung von Schneeschmelze und Regen, den gefährlichsten Bemessungsfall im Triebenbach, gilt die Linie "100 % Luftfeuchtigkeit" des Schaubildes von Müller.

Die Teilbeträge, aus denen sich der gesamte Wasseranfall zusammensetzt, sind folgende: Schmelzwasser aus dem fühlbaren Wärmestrom, Kondenswasser aus der Luftfeuchte, Schmelzwasser aus der Kondensationswärme, Regenmenge, sowie der Schmelzwasseranfall aus dem Wärmeinhalt des Regens.

Bei der Bilanzierung der Wärmeströme zeigt sich sehr bald, daß unser Gefühl den Schmelzwasseranfall aus dem Wärmeinhalt des Regens bei weitem überschätzt, jenen aus der Kondensationswärme eindeutig unterschätzt. Die Redensart: "(warmer) Regen frißt den Schnee" ist ohne Zweifel richtig, sollte aber durch die Anmerkung ergänzt werden, daß hohe Luftfeuchtigkeit für sich bereits einen beschleunigten Schneedeckenabbau bewirkt.

Um den Erfordernissen der praktischen Handhabung zu genügen, wird der einigermaßen komplizierte Ansatz für den Gesamtwasseranfall als $C \cdot h_{N/h}$ dargestellt, wobei $h_{N/h}$ die mittlere, stündliche Regenhöhe im betrachteten Zeitabschnitt ist. Für die mittlere Lufttemperatur in Bodennähe kann aus dem Schaubild Seite 9 sofort und mit genügender Genauigkeit C abgelesen werden. Der obere Teil steht für eine mittlere Windgeschwindigkeit in Bodennähe von etwa 2,5 m/s (und eine Wärmeübergangszahl Luft-Schnee von 30), der untere Teil für ca 5 m/s (Wärmeübergangszahl = 50).

Der Abfluß Q (m^3/s) aus einem Einzugsgebiet E (km^2) bei einem Gesamt-Abflußbeiwert a_{Ges} ist dann:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot h_{N/h} \cdot a_{Ges} \cdot E$$

Zur Bestimmung der Einflußgrößen für $Q : E$ ist kein Problem, soweit man gutes Kartenmaterial hat. Abflußbeiwert, Regenmenge und die mittlere Lufttemperatur in Bodennähe müßte man nach dem Stande unserer Kenntnisse für extreme Bemessungssituationen hinlänglich genau festlegen können. Etwas Unsicherheit bereitet die Wahl der Wärmeübergangszahl Luft-Schnee. Sie wird vor allem bestimmt durch die Windgeschwindigkeit und Beschaffenheit der Schneeoberfläche - sehr veränderliche Dinge also. Die Nachrechnung der Katastrophen von 1907 und 1938 im Triebenbach deutete auf eine Wärmeübergangszahl um 30 hin.

Nun ist für die Planung des Hochwasser-Rückhaltebeckens noch die Darstellung der Abflußganglinie vonnöten. Nachdem Schmelzflutwellen langgestreckt sind, können sie wohl am besten durch ein Rechteck angenähert werden (was die Arbeit erfreulich erleichtert). Kleinere Schwankungen spielen sicher keine Rolle, wenn nur die Mittelwerte der Parameter richtig liegen. Die Zeitabschnitte, für die Q als konstant angenommen werden kann, sollten nach den meteorologischen Verhältnissen gewählt werden (Temperatur bzw. Niederschlag). Im Triebenbach etwa wird bei konstant angesetzter Berechnung (für die Dauer von 48 Stunden) der Tagesgang der Temperatur als Kriterium benützt und ein "Q-Tag" für die mittlere Tagestemperatur sowie ein "Q-Nacht" für die mittlere Nachttemperatur berechnet (siehe Seite 10). Die entsprechenden Abflüsse werden sich zwar mit einer gewissen Verzögerung auf die Änderung der Lufttemperatur einstellen, die dadurch bewirkte Verschiebung der Welle entlang der Zeitlinie ändert aber für die Dimensionierung des Auffangbeckens nichts.

Ich halte es für sehr wichtig, erarbeitete mathematische Modelle den Erfahrungen und Aussagen der Talbewohner "entgegenzustellen". Es ist dies ein sehr wertvoller Prüfstand. - So sagen die Leute im Triebental: "auch wenn es im Tal stark regnet, solange auf den Bergen Schnee fällt, passiert nichts!" Eine Nachrechnung bestätigt sehr schnell, daß in solchen Fällen selbst bei extremen Annahmen katastrophale Abflüsse nicht auftreten. Eine andere Rede lautet: "heuer liegt im Triebental noch viel Schnee, daher ist die Gefahr groß!" Dies widerspricht augenscheinlich einer ebenfalls oft gehörten Aussage: "viel Schnee, wenig Wasser (Abfluß)". Die rechnerische Überprüfung ergibt, daß der erste Satz als eindeutig irreführend abzulehnen ist, denn bereits eine Schneedecke von wenigen Dezimetern Mächtigkeit reicht aus, die für eine Schmelzflut benötigten Wassermengen zu liefern, wenn nur die entsprechenden meteorologischen Faktoren hinzutreten. Der zweite Satz - obwohl er in sich unlogisch erscheint - gibt, wie ich meine, die richtige Beobachtung des Normalzustandes wieder. "Viel Schnee" sagt aus, daß in der vergangenen Winterperiode (häufig) Luftmassen mit hoher Feuchtigkeit antransportiert wurden. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, daß im Frühjahr eher trockene Luftmassen vorherrschen, recht groß. Das bedeutet aber nach den obigen Darlegungen: Zustand A und B nach dem Diagramm von Müller, somit hohen Wasserverlust der Schneedecke an die Atmosphäre, weniger an den Boden.

Anschrift des Verfassers:

Oktober 1986

Dipl.Ing. Dieter ZEDLACHER
A - 8911 Admont 160 / AUSTRIA

Summary: Hydrological investigations in torrent "Triebenbach" - Styria

TRIEBENBACH in Styria is one of the most dangerous torrents in the country. On the one hand the geological situation is perilous (schists of graywacke zone). Especially in the canyon ("Wolfsgraben"), directly mountainside of the town "Trieben". Here you can find active mountainside creep.

On the other hand the large watershed area (with about 100 km²) is able to produce devastating flood-waves, which rip up the instable slopes in the canyon. Twice this century (1907 and 1938) Triebenbach has brought by a disaster for the town because of enormous quantities of water and debris and also drift-wood.

For to become this torrent under control, it has been an important supposition, to clear the rising and course of different forms of his flood-waves; their maximum, quantity and recurrence interval. The way of planning is described, especially derivation of a practicable calculation in the difficult case of snow-melting, overburden by heavy rainfall ("melting-flood").

Literatur:

- Blöschl G., 1985: Einflüsse unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen auf die Schneeschmelze. Diplomarbeit Techn.Univ. Wien
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., 1979: Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit.
DVWK - Regeln zur Wasserwirtschaft H. 101-1979
- Gutknecht D., 1972: Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von Hochwasserabflüssen aus kleinen einzugsgebieten.
Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer Band 11
- Kirnbauer R., 1979: Grundlagen und statistische Verfahren für die Ermittlung von Bemessungshochwässern.
- Kuhn M., 1984: Physikalische Grundlagen des Energie- und Massenhaushaltes der Schneedecke.
Schneehydrologische Forschung in Mitteleuropa, H. 7-1984
DVWK - Mitteilungen
- Müller H.G., 1953: Zur Wärmebilanz der Schneedecke
Meteorologische Rundschau 1953, S. 140-143
- Schnatter S. & Kirnbauer R., 1983: Hydrologische Statistik - Hochwasserwahrscheinlichkeit.
Grundzüge der Ingenieurhydrologie; Außeninstitut der Techn.Univ. Wien
- Seebacher F.S. & Shahin M.M.A., 1985: Beitrag zur statistischen Auswertung extremer Tagesniederschläge in Österreich.
Österr. Wasserwirtschaft H. 7/8-1985, S. 181-190

IRIEBENBACH: Pegel Brodjäger

Versuch einer Ermittlung der HQ_n -Werte
aus den Jahreshöchstabflüssen 1907, (1910),
1938, 1948-1965

Application of theory of probabilities
to find out rates of discharge depending
on recurrence interval (Base: exact
analysis of the disasters 1907, 1910, 1938
and the yearly maximum of gauge 'Brodjäger' IV

Wahrscheinlichkeitsfunktion der Hochwasserführung

rate of discharge $[m^3/s]$

Log Pearson III

nach DWK-Regeln

100

HQ_{1111}

$HQ_{100} = 15.6 m^3/s$
 $HQ_{50} = 14.6 m^3/s$
 $HQ_{10} = 12.5 m^3/s$
 $HQ_{5} = 11.5 m^3/s$
 $HQ_{2} = 10.5 m^3/s$
 $HQ_{1} = 10.0 m^3/s$

recurrence interval [years]
Wahrscheinlichkeit $1/n$ 100-100-100

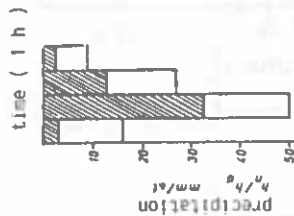
Zedlacher

$HQ_{100} = 15.6 m^3/s$
 $HQ_{50} = 14.6 m^3/s$
 $HQ_{10} = 12.5 m^3/s$
 $HQ_{5} = 11.5 m^3/s$
 $HQ_{2} = 10.5 m^3/s$
 $HQ_{1} = 10.0 m^3/s$

WASSERDOSIERWERK VORDERTRIEBENTAL

FLOOD DOSING DAM

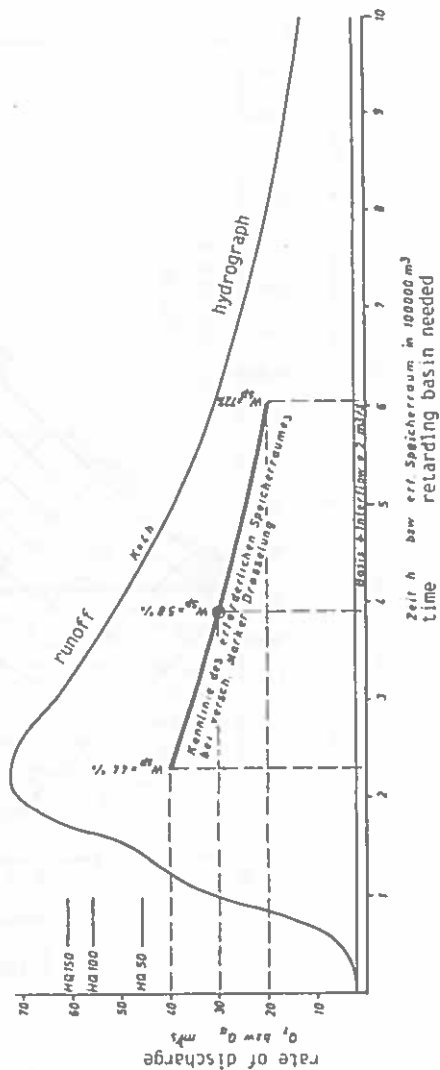
I. extremes Gewitter im vorderen Teil des Tales (bis zur 2h Isochrone)
THUNDERSTORM RAIN



$h_{N,ges} = 102 \text{ mm/h}$

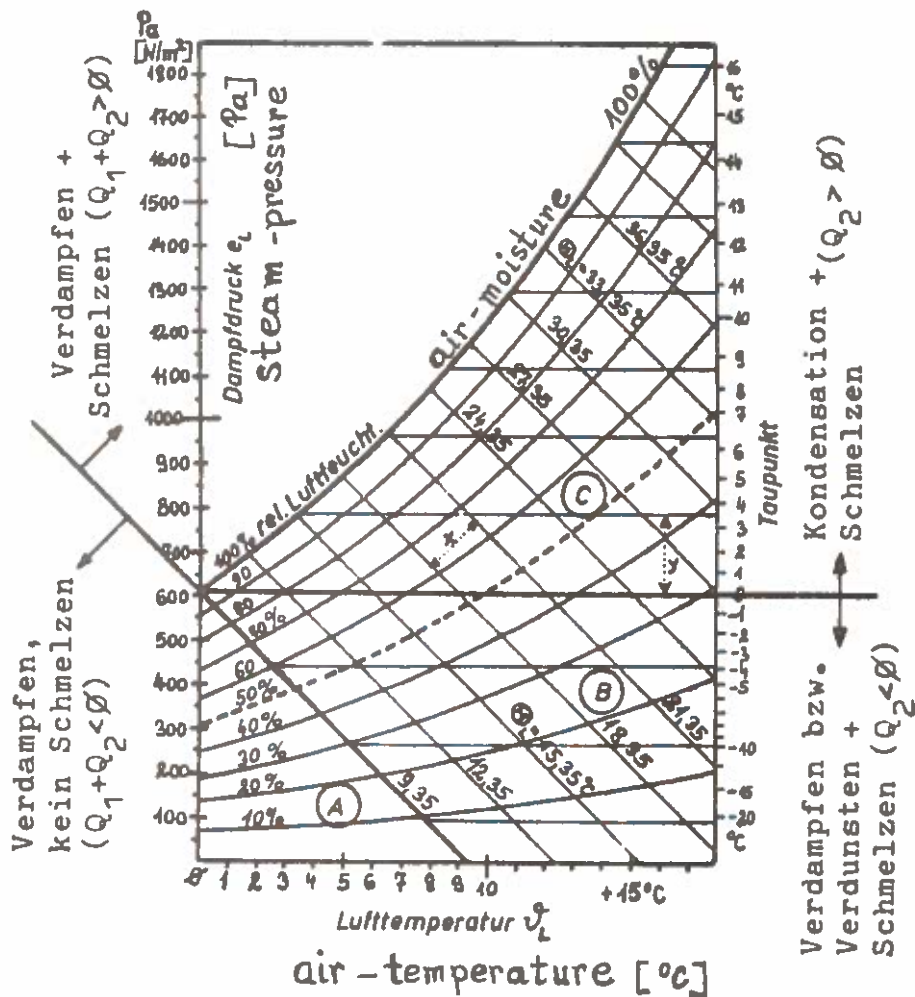
keine Interflowabtrennung (Basis + Interflow ca. const.)

W_{sp} = Wirkungsgrad (bezüglich Dämpfung der Hochwasserspitze)



Wärmebilanz der Schneeoberfläche:

nach H.G.Müller (mod. Zedlacher)



Balance of heat on snow - surface

Abfluß Q [m³/s] rate of runoff

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot h_{N/h} \cdot a_{Ges} \cdot E$$

$h_{N/h}$ [mm/h] = mittl. stündl. Regenhöhe precipitation intensity

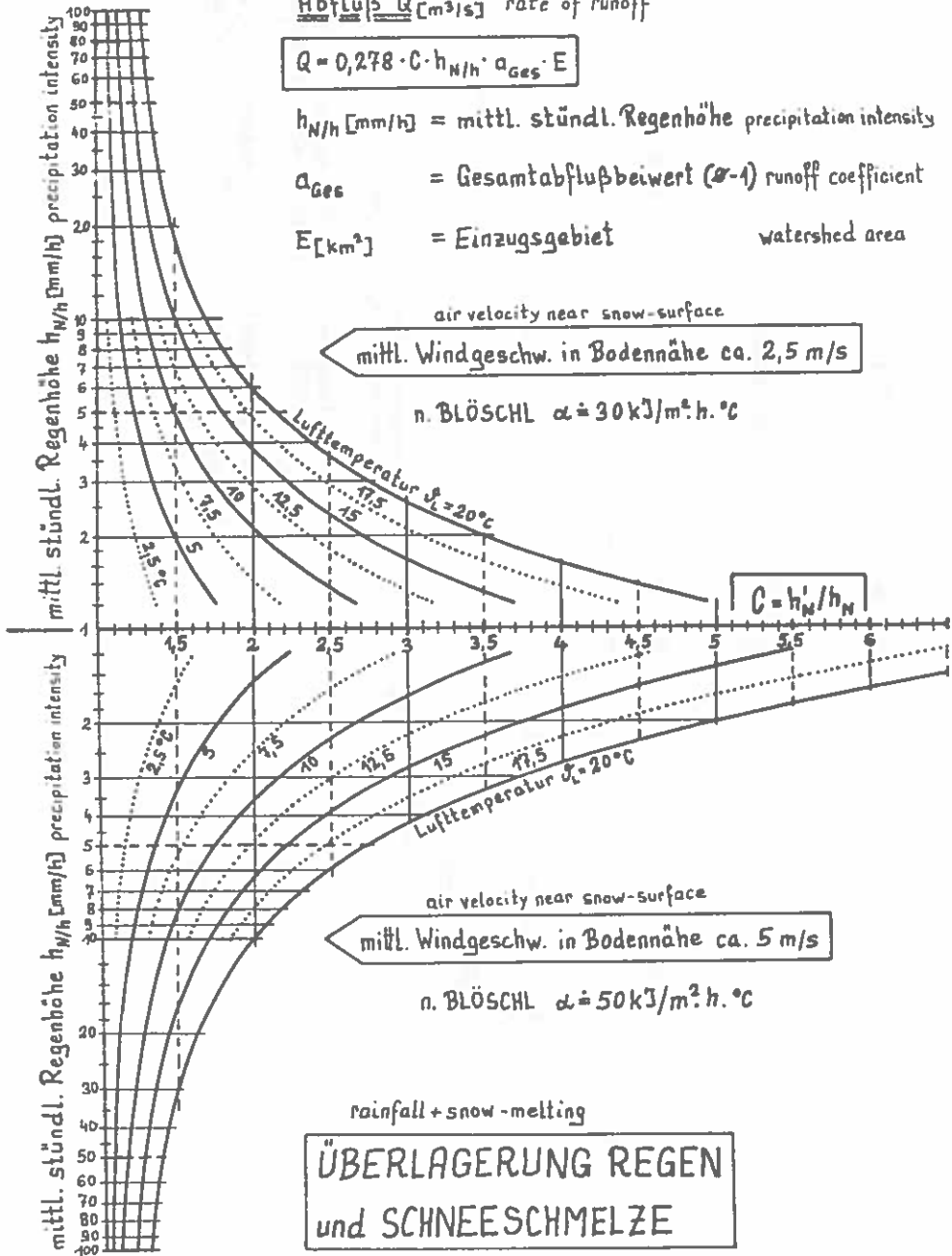
a_{Ges} = Gesamtabflußbeiwert (σ -1) runoff coefficient

E [km²] = Einzugsgebiet watershed area

air velocity near snow-surface

mittl. Windgeschw. in Bodennähe ca. 2,5 m/s

n. BLÖSCHL $\alpha \approx 30 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$



Zedlacher 1985

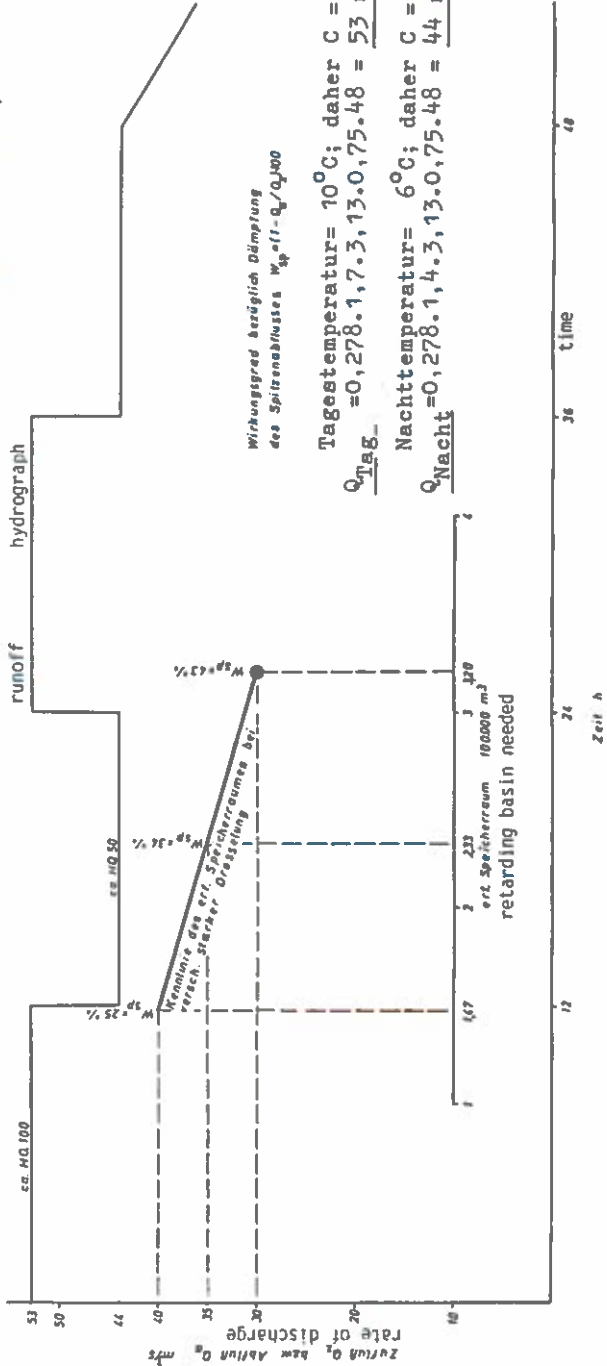
WASSERDOSIERWERK VORDERTRIEBENTAL

FLOOD DOSING CAM

III. Schmelzflut, überlagert mit Regen
Snow melting + rainfall



$h_{N/h} = 75/24 = 3,13 \text{ mm/h}$; $a_{Ges} = 0,75$; $E = 48 \text{ km}^2$; mittl. Windgeschw. in Bodennähe $2,5 \text{ m/s}$;





Trieben im Hochwasser
des Jahres 1907



Die Schmelzflutwelle
aktiviert den Talzu-
schub "Wolfsgaben"



Schmelzflut 1938



I V . E I S , S C H N E E U N D
L A W I N E N

EROSION BY SNOW AND AVALANCHES

BY

JOSEF HOPF

FEDERAL SERVICE FOR TORRENT- AND

AVALANCHE CONTROL

INNSBRUCK

AUSTRIA

Erosion by snow and avalanches is—compared with the increasing erosion caused by the water—a relative small problem, limited to mountainous areas especially in Central and Northern Europe.

In considering the geomorphological effects of snow in non-glaciated regions, a distinction has to be made between stationary snow on steep slopes and snow moving down in the form of avalanches.

EROSION BY SNOW

The erosive effects of stationary snow in mountains are partly mechanical and partly physical. In the mountainous areas of Europe, particularly in Central and Northern Europe, precipitation in the winter months mostly occurs in the form of snow. The snow accumulates on the ground and melts only when temperatures rise above freezing point in the spring, then sinking into the ground or running away. If in winter snow attains a certain depth, it insulates the ground from fluctuations in temperature and under certain conditions - early snowfalls on unfrozen ground - even prevent it from freezing. The snow in this way protects the surface of the ground from the freezing and thawing effect of the atmosphere. It is thus both a considerable source of meltwater and a heat insulating medium.

Erosion by snow is also partly direct and partly indirect, depending on whether it is caused by snow itself or by meltwater and avalanches.

If snow is deposited on a horizontal surface, its weight and the transformation of its crystals makes it settle perpendicularly to the ground. On a slope, the settling occurs both perpendicularly and parallel to the ground. This produces within the snow a downhill settling motion known as creeping.

At the same time, there may be another kind of motion, namely gliding. This is a translative motion of the whole mass of snow on the ground beneath it. Gliding occurs principally on smooth, south-facing slopes, where there is little friction between the snow and the ground.

Creeping and gliding create traction, pressure and shearing in the snow cover. These forces may be absorbed by the snow's resistance, but if any of them exceeds the resistance, the snow will crack or even develop into an avalanche. The rate at which the snow glides can vary from a few millimeters to one meter a day.

When snow glides in this way, considerable shearing occurs between it and the ground wherever the slope levels out or there is an increase in friction. As a result, the ground is torn open and scraped away. Whole lumps may be loosened and pushed up, leaving scars in the ground.

Scars caused by this process can, unless they heal over again, become sources of scree in summer when heavy rain falls.

In mountainous areas, snow depths vary even in midwinter: in some places there may be no snow at all and in others the snow cover may be some metres. Correspondingly, the rate of thaw in the spring also varies considerably: on crests, ridges, steep slopes and other wind-exposed surfaces the snow melts quickly while in depressions, hollows, gullies and other sheltered places it remains well into the summer and - on sunless slopes - will often not melt completely before the following winter.

The alternate freezing and thawing of an uneven snow cover causes intensive weathering of rocks wherever the snow is not deep enough to provide insulation from changes in temperature. When the snow melts water penetrates into small cracks in the rock, where it freezes at night. This process loosens pieces of rock, causing dangerous falls of stone. After coming to rest, the stones may be carried further downhill by water.

An important consequence of snow is the effect of the water it produces in the spring when temperatures rise steeply and release the precipitation held up in the mountains during the winter. Where the snow is later in melting, the warmer air and stronger sun cause a rapid thaw which continues during the night. The water from it runs steeply downhill in streams, corroding and eroding the softened ground and collec-

ting boulders and material. If, in addition, landslips occur and the subsoil is uncovered, this may give rise to mudstreams. Particularly above the timber line, meltwater on flat ground may be prevented from running away on the surface; it will therefore seep into the ground. When it reaches impervious, clayey strata, large-scale landslides may occur. If the sliding material contains much water, this may give rise to mudstreams. These have no less effect than summer floods but are more difficult to foresee, often occurring in fine weather-situations when there has been no precipitation.

EROSION BY AVALANCHES

Avalanches are sudden mass movements of snow which occur as a result of the snow's resistance to traction, pressure or shearing forces being exceeded. They chiefly begin on slopes with a gradient of more than 30° , the gentlest slope on which they have been known to start is one of 17° . The Swiss Institute of Snow and Avalanche Research classifies avalanches by their origins into "slab" and "loose-snow" avalanches. The former kind results from the sudden slipping away of a whole sheet of snow and the latter from a pear-shaped crack which gradually widens out towards the bottom of the slope.

Depending on the position of their slip plane - inside the snow or at the ground - avalanches may be surface- or full-depth-avalanches. The condition of the snow is indicated in the terms dry-snow and wet-snow avalanches, and the nature of the path followed is shown by the designations sheet- and gully avalanches. There is a further differentiation, according to the kind of movement, between powder avalanches (whirling through the air) and flowing avalanches (moving over the ground).

There are also ground avalanches, which are a combined type: these are wet, heavy and dirty spring avalanches which usually follow a known avalanche path.

This kind of avalanches, in particular, develops considerable erosive force: the heavy, wet snow, whose specific weight may be up to 500 kg/m^3 , picks up any loose material lying in the usually deep-cut path of the avalanche and shears away protrusion in the ground. The material amalgamates with the avalanche

and increases its specific weight: this in turn further increases erosive force of the avalanche. Usually the material is deposited, roughly graded, on the valley floor. The direction of the material is not discernable. As ground avalanches as a rule follow gullies down which in summer channel water and scree, they usually come to rest on the talus cones.

A special kind of ground avalanche is the slush avalanche. This is less common in the Alps than in the Arctic regions, where it occurs mainly on gentle slopes or on valley floors - particularly in years when the snow thaws late and quickly - in the form of sudden movements of water-saturated snow. They chiefly happen as a result of the ground being frozen beneath the surface and not allowing meltwater and rain to sink in. They can descend slopes with gradients of as little as 2° , collecting amounts of rock and so becoming considerable geomorphological forces.

But other kinds of avalanches, too, produce erosive effects, so less directly. In particular, there are the powerful fresh-snow avalanches: these break away from leeward slopes as dry "slab" avalanches during persistent snowfalls accompanied by wind. They descend long distances as "powder" avalanches at speeds of up to 300 kilometres per hour, demolishing forests growing on the valley sides.

In the Alps this often leads to dangerous obstructions in the bed of torrents and streams and, consequently, to erosion and corrosion in the water courses beneath.

The destruction of trees in winters when there is a high avalanche rate- for example in 1951 170.000 cubic metres of damaged timber in Switzerland and 350.000 cubic metres in Austrian - can also contribute extensively to erosion. In this case the hydrological system may be disrupted and water drainage in summer and when the snow is melting increases. The scarring of the ground gives rise to infiltration points which may loosen the ground and lead to landslides. In inneralpine valleys, moreover, extensive deforestation causes a deterioration in the micro-climate and hence in biological conditions.

PREVENTION OF SNOW AND AVALANCHE EROSION

The prevention of snow and avalanche erosion involves:

- (a) controlling the distribution of snow in mountain areas in such a way that it is made more even and the spring thaw occurs as uniformly as possible;
- (b) preventing the snow from gliding on smooth and steep slopes; and
- (c) preventing dangerous avalanches from breaking away in the mountains.

To achieve this, both natural and artificial means can be used - the former, however, being limited by altitude. All the necessary protection can be ensured by gradual afforestation with suitable species. A forest produces an equal distribution of snow by deflecting the wind upwards, causing some snow to be stopped by the trees and to evaporate. The trees delay the melting of the snow on the ground, much of the meltwater being absorbed into the ground. Carefully planted, trees not only prevent the snow from gliding but are also the best protection against avalanches.

It is mainly conifers - spruce, larch and pine - which are suitable for this purpose at high altitudes, where they grow naturally. However forests cannot be expected to stop avalanches already in motion; they can only prevent them from starting off.

Afforestation should not be confined to the (mainly leeward) zones where avalanches actually begin, but should be widespread so as to control the overall distribution of snow.

In Austria an area of approximately 800 square kilometres remains to be afforested in this way and several projects have already been initiated.

However, for the afforestation of zones where avalanches begin, the steepness of the ground and the depth of the snow generally necessitate artificial supports to protect the plantations in their early stages.

Unless this is done, the trees cannot reach the age (30-50 years) at which they can provide protection against avalanches. Only then they are high and strong enough to stabilise the snow and prevent avalanches from starting off. In addition, they need to be able to withstand the pressure of the snow, which can be as much as several tons per square metre. In the early stages of development the trunks can still bend as the snow creeps downhill and so avoid the stress resulting from the snow pressure. Later, however, they lose this flexibility but are not yet able to bear the pressure. This is the most dangerous stage, and unprotected plantations on steep slopes under thick snow are often destroyed.

Supports are therefore needed until the trees can bear the pressure of the snow, i.e. for a period from 20 to 50 years depending on altitude and position. By terracing or staking the ground or making it less even in some other way, gliding of the snow lying next to it can be prevented at least to some extent.

Above the timber line, supports are generally the only way in which avalanches can be prevented. They must be permanent and need to be designed and constructed accordingly. Specifications for their size and positioning, based on research by the Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche Research, are given in "Guiding Principles for Permanent Supports".

Such supports would not, however, be either high or strong enough to check avalanches already in motion.

Where particularly great snow-depths occur as a result of drifting in areas where avalanches are liable to start, it is necessary to distribute the snow. This can be done by 2 - 4 m high fences of various kinds at the edge of or outside steep zones, so as to prevent the snow from drifting into them.

Snow depths can thus be kept down, and less money needs to be spent on supports. In areas afforested to prevent avalanches this method also helps to prevent young trees from becoming too heavily covered with snow, thus protecting them both from snow pressure and from fungus damage in the spring. In some places snow can also be made to drift further by means of "wind nozzles" which increase the local velocity of the

wind. In this way snow cornices can be prevented or reduced from forming on crests and ridges.

In addition to these supports, devices can be used to control the wind and thereby ensure a better distribution of snow. Another form of protection is the erection of constructions to stop or divert avalanches in the runout zones.

The cost of afforestation on upper mountain slopes is 50.000,-- S bis 70.000,-- S (Austrian Schillings) per hectare, whereas that durable protective supports is between 3,0 and 5,0 million schillings per hectare. Therefore artificial supports in the Alpine countries have so far been confined to avalanche zones which jeopardise inhabited areas and communications. It will depend on economic development in the future, whether this method can be used for minor avalanches which are still important for erosion.

THE ROLE OF SNOW IN CONIFEROUS STEM BEND FORMATION

TAIRA HIDEAKI

TOYAMA PREFECTURAL FOREST EXPERIMENTAL STATION JAPAN

Summary

Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) was used for the study of the cause of stem bend of coniferous trees in snowy region. Until the tree height reached 2 or 2.5 times the average maximum snow depth, sugi, afforested in snowy region, would be buried in snow. The trees are pressed to the ground by snow weight and settling pressure of snow. The soft stems of 1-and 2-years-old trees bend only where pressed. Trees over 3-years-old are hard to bend as bending stiffness of the stem increases. The stem, together with its root system, is inclined to suffer damage and deformation when buried by snow. In early spring, after release from snow pressure, the stem started straightening with vanishing rapid simple elastic strain and elastic after-strain, and consequently straightening by formation of compression-wood. Basal bending was the result of stem recovery, because the recovery rate decreases towards the lower part of the stem. This is main cause of the stem bending in coniferous trees.

I Introduction

Coniferous trees often suffer from the problem of bent stems caused by snow. The extent of stem bending depends on species and environment of growing site. If the bend is formed in the stem, the rate of trunk utilization and the value of timber are reduced. It is a big problem for forest owner in snowy region. The author studied sugi trees to analyse stem bending in coniferous trees due to snow, and damages induced in the roots.

II Experimental method

The experimental plots are near Toyama prefectural Forest Experimental Station, situated at altitude of 238m above sea level. The average annual air-temperature and annual precipitation between 1974 and 1981 were 13.2°C and 2740mm/yr, respectively. Annual maximum snow depths are between 120cm and 160cm, with the exception of 38cm for lowest depth in 1979 and 230cm for highest depth in 1981. (Fig-2)

In 1979 and 1980, the process of burying stem with snow and the stem being covered

by snow were observed in 1 to 7-years-old trees (Table-1.2). Measurements were made after thawing and before snow fall, about every ten days until early November. The method of measuring the bend of the stem is shown in Fig-1. The trees marked at points of 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 and 140cm above the ground surface. Horizontal distances were measured between the center of the stem and the vertical axis which was made by a string with the weight at the root collar (Fig-1). Basal bending (l), deviation from former position (f), and increment of basal bending for a year (Δl) were shown in Fig-3.

After measurements, the roots of all 1-and 2-years-old trees were dugged out carefully. In the case of over 3-years-old trees, 3 large bend trees and 3 small bend trees were chosen in each measuring plots respectively. Stem form and extent of damages induced when the stem was prostrated by snow were studied.

Table-1. Dimensions of measured trees at beginning of measurement period

Stand	Age at the beginning	Beginning of measurement	Number of trees	Mean height (cm)	Mean basal diameter (cm)	Mean basal bending (l) (cm)
A	1	Nov. 1980	20	39	0.8	1.5 (at 30cm)
	2	Nov. 1979	20	71	1.4	6.1 (at 40cm)
	3	Nov. 1980	20	136	3.3	13.9 (at 80cm)
B	4	Nov. 1979	8	245	5.2	22.7 (at 120cm)
	5	Nov. 1980	8	280	8.1	35.7 (at 120cm)
C	6	Nov. 1979	7	344	8.1	28.5 (at 120cm)
	7	Nov. 1980	7	371	10.8	39.5 (at 120cm)

Table-2. Age and number of measured trees

Stand	1979 Nov.	1980 Apr.~Nov.	1981 Apr.~Nov.	Exposure	Slope gradient	Density at planting (No./ha)
A	1 (20) →	2 (20)		N	18°	2,500
		0 (20) →	1 (20)			
		2 (20) →	3 (20)			
B	3 (8) →	4 (8) →	5 (8)	W	25°	2,500
C	5 (7) →	6 (7) →	7 (7)	NE	25°	2,500

() Number



1. Top of trees are inclined to the down side



2. The trees are burying with snow subsequent snowfall



3. The trees have completely buried

Picture-1~3. Process of burying trees

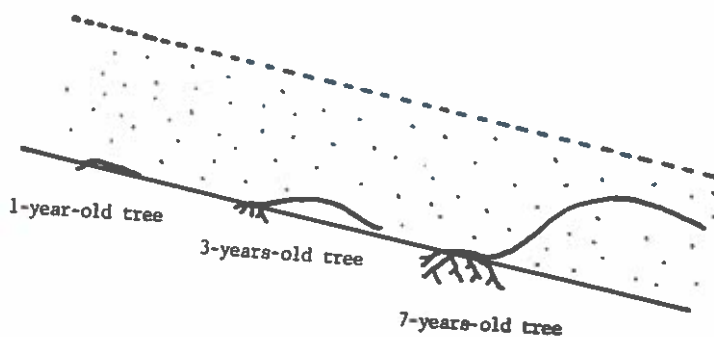


Fig-4. Stem form of different aged trees under the snow

2 Damage and deformation of roots

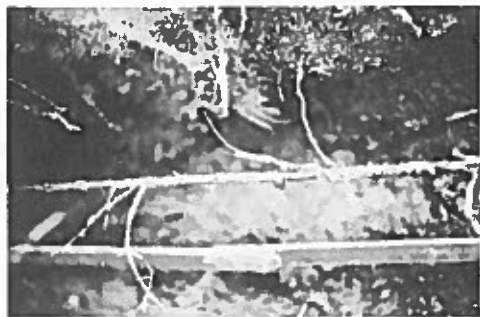
After the snow melts, cracks are recognized near the base of trees in upper part of slope. It shows that the roots suffer damage. Specially in heavy snow year, when trees over 4 m or 5 m height are prostrated by snow, the roots will be overturned, come out and suffer serious damage.

Small bent trees which were not prostrated, had the roots developed in every direction, even upper part of the slope. There was no indication of damage in roots. But in the large bent trees, many fine roots died (Picture-4). Dead roots could not be found in 1-and 2-years-old trees, but were increasingly found with increasing tree age.

By observing whole roots, just above the stump many damaged roots on the upper slope side and few damaged roots on the other side. Deformed roots have a L form (picture-5). Radiate roots, which were branched because of damage, were found on the down slope side.

The roots were divided in four sections by two lines crossing, with the slope line at an angle of 45, on the center of stumps. One of the biggest surface roots were chosen from each section. The mean increment of basal area of the roots were compared. The increment of the roots basal area of each section shows the reverse tendency as the degree of roots damage. i. e. largest increment of roots basal area was found on the left and right side. But the increments were small on the upper slope side in large bent trees. That tendency was notable in aged trees (Fig-5).

The increment of basal area on the upper slope side was compared to the increment on the other sides, significantly different at the 1% level. Though, increment of basal area on the down slope side is less than that on the left and right side, the damage of roots was small.



Picture-4. Damaged roots situated in upper part slope of stump



Picture-5. Deformation of roots caused stem prostration

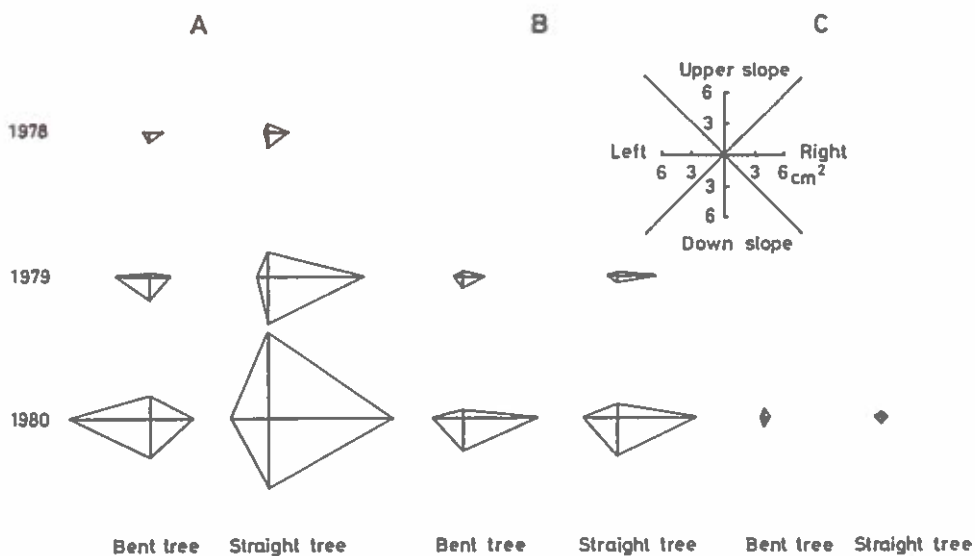


Fig-5. Mean increment of section of the basal part of the thickest surface root in every quadrant of the stumps in stands A, B, and C

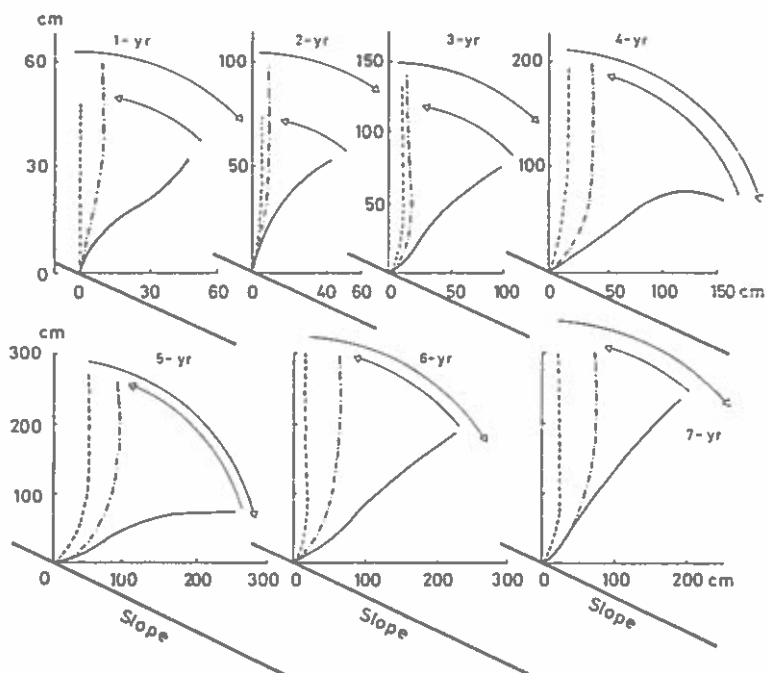


Fig-6. Typical stem forms in November of the previous year, April of the present year, and November of the present year (1- to 7-year-old trees)

Considering these facts, stress of bending, shear stress, turning force, and compression force was expected in the roots, but the twisting of the roots on the left and right side did not injure the roots much. The roots on the left and right side of the big bent trees develop. An increase of compression force on the down slope side in the roots deforms a part of the roots with little damage. But, the roots on the upper slope side were pulled and rooted out, and consequently had the biggest damages.

Therefore, the roots of the big bent trees were deformed. But, in 1- and 2-years-old trees, as the stem is soft, it adjusts itself to the snow pressure by only bending and the damage of roots are few.

3 Changing the stem form

1) Before snow fall

The typical stem form of 1-year-old tree to 7-years-old trees are compared. There is no bend in the stem in 1-year-old tree and they are almost straight, but more than 2-years-old bend in under part of the stem and the bend increases with the age (Fig-6).

2) The end of April

In early spring, just after release from snow pressure, the stem inclines to down slope. Differences were observed in the stem form from 1 to 7-years-old trees. In 1- and 2-years-old trees, the lower part of the stem bend largely to the down slope side and the stem was deformed. In more than 3-years-old trees, under part of the stem, which remained basal bend, was almost straight and inclined from the base. The differences of stem form of 1- and 2-years-old trees and more than 3-years-old trees are considered as follow.

In the case of 1- and 2-years-old trees, the height is small and stem is thin. Thus bending stiffness of the stem is small, so the stem bends easy by snow pressure and the stumps do not incline.

But as the tree grows up, the stem becomes thick and hard to bent, i. e. bending stiffness is strong. When the stem is prostrated by snow pressure, the stem gets a permanent deformation and will be inclined with root system, before being destroyed.

3) After one growing season

After one growing season, the strain in the stem which was induced by snow pressure has almost vanished and the upper part of the stem has become straight, due to the functioning of the compression-wood which was formed with tree growth. But compared to the stem form before snow fall, the bend of the under part the stem increased. This shows the deformation of the under part the stem (Fig-6).

4 Cycle of incline and straightening of stem

Upper part the stem leans over by snow weight, as snow covers the crown, consequently the stem is buried by continuous snow fall.

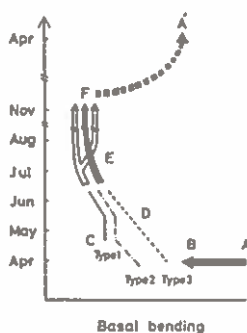


Fig-7. Typical cycle of stem recovery from prostration

A-B: Recovery from simple elastic strain. B: start of recovery from creep. C: finish of recovery from creep. D: start of recovery with forming of compression wood. E: basal-bend formation caused by increase in weight with tree growth. F-A': stem prostration by snow pressure

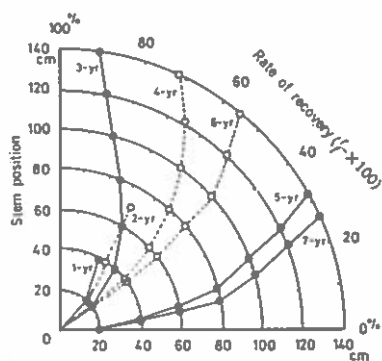


Fig-8.

Relationship between the deviation from former position (f) and rates of straightening of prostrate stems ($(r/f) \times 100$) at each position during a growing season

The stem is gradually pressed down by the weight of piling snow. Wood reacts visco-elasticity, elastic deformation and permanent deformation take place in the stem at the same time. Therefore, simple elastic strain, elastic after strain, elastic strain and permanent strain are established in the stem during the snow cover. At that time, if strength of the stem and the roots supporting the stem are big, under part of the stem does not bend and remains upright under snowcover.

At young age, the roots are not developed enough to prevent prostrating, so the stem turns on the roots and leans to the down slope side.

The process of straightening of a prostrated stem differs with the tree age and buried condition. Fig-7 shows a typical process of straightening of the prostrated stem from snow melt to November. Just after release from snow, simple elastic strain vanishes and the stem achieves large recovery (A-B). After that the recovery of elastic after-strain follows until middle of April (B-D). Recovery of the stem once stops (C-D). But it resumes from early May by formation of compression-wood.

The recovery by formation of compression wood continues until November. when the growth of the tree will cease (D-F). 1-and 2-years-old trees complete their recovery until the end of June or early July. After that, until mid-August, the bend increased in some of the trees, according to the tree-mass growing (E-F), while others keep their stem form until November.

5 Rate of straightening of prostrated stem

Straightening of stem with growth from the end of April to early November shows that the rate of stem recovery is different in the different parts of stem. The recovery rate of upper part of stem is heigher than that of lower part of the stem (Fig-8).

This is the main cause of the stem bending of trees.

Recovery rate of young trees are better than those of old ones. There are little effects of snow on the stem bending from 1-year-old to 2-years-old trees. As the tree gets older, the stem bending increases, particularly in heavy snow year. Older trees show little recovery and there are no signs of recovery in the first 20 cm above the ground.

In snowy regions, sometimes the stem bending is caused by inside damage such as permanent deformation, but main cause of stem bending is prostration of stem, from the base, because of being buried by snow in winter.

Important countermeasures, for preventing coniferous stem bending in snowy regions, will be described: 1) Use cultivar with wood of large strength, so the crown will be hard to bend when covered with snow. 2) Use a cultivar which will develop a good root system, it will support the stem when buried in the snow. 3) Sparse planting improves the stem form so it will be strong to resist bending by snow. 4) Tying up the leaned stem after snow melt is very effective.

Literature Cited

- Sakaue, T. and Taira, H., 1986: Influence of basal bending and its correction on seasonal height growth patterns of young sugi in a snowy area. J. Jpn. For. soc. 68, pp. 87~94
- Taira, H., 1982: The influence of differences in the degree of initial snow throw effected by early winter snow on basal bending in young sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). J. Jap. For. soc. 64, pp. 453~460
- , 1984: The process of bend forming and reerecting of the lower part in the stem due to the snow pressure and the tree weight increase in Tateyama sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (5). FBVA WIEN, pp. 139~147
- , 1985: Basal-bend formation in young sugi (*Cryptomeria japonica*). J. Jap. For. soc. 67, pp. 11~19
- , 1986: Effects of inclined planting, fertilization and tying up the stem with rope on characters in young sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). J. Jpn. For. soc. 68,

RECENT SURFACE-LAYER-AVALANCHE
DISASTERS IN MASEGUCHI HAMLET,
JAPAN AND
COUNTERMEASURE PLANNING

Kazumi KOBAYASHI
(Niigata Prefecture, Niigata Japan)

Masanori EGUCHI
(Ministry of Construction, Tokyo Japan)

Yohtaro ASAI
(PWRI, Tsukuba Japan)

Chuichi SHIMOMURA
(Niigata Branch, PWRI, Arai Japan)

Tomomitsu YASUE
(Sabo Technical Center)

SUMMARY

On January 26, 1986, a large-scale avalanche occurred at the tiny hamlet of Maseguchi in Niigata Prefecture, Japan, resulting in a disaster wherein 13 people were killed and 11 houses were destroyed.

The aggregate snowfall for the week from January 20 to the day of the avalanche exceeded 2 m, with the snow depth increasing from 185 cm to 370 cm. The avalanche actually started on the western slope of Mt. Gongen at an elevation of some 800 m - 1,000 m where the gradient is some 45°. It advanced from the steep slope of its original area to the concave terrain which serves slowly to form a gentle slope at the bottom of the mountain, finally reaching Maseguchi hamlet, some 2 km distance from the original area. While the original area has steep topography, most of the avalanche's passage was rather gentle with an average gradient of some 11°.

In order to plan the countermeasure works, we carried out the numerical simulation of avalanche motion and model experiments on the structures whose aim is to diminish the avalanche's energy. After those examinations, the jungle gym type steel pipe structure were selected as one of the countermeasure works.

This paper presents the results of the field survey and the outline of the planning of countermeasure works.

Key words: surface-layer avalanche
snow avalanche
countermeasure works against avalanches
model experiments of snow avalanches
steel pipe structure

INTRODUCTION

A large avalanche occurred in Maseguchi Hamlet, Noh Machi, Nishikubiki Gun, Niigata Prefecture (Fig. 1) about 23:00 o'clock on January 26, 1886, causing 22 casualties including 13 deaths and destroying 11 houses. This great disaster presumably resulted from the fact that it was a typical dry-snow surface-layer avalanche caused by a large volume of snow accumulated at low temperature in a short while and that the accelerated flow area of the avalanche stretched long.

This article states the facts about the recent avalanche and the results of the basic experiments conducted on the effects of energy dissipation works to be provided as a countermeasure against large surface-layer avalanches.

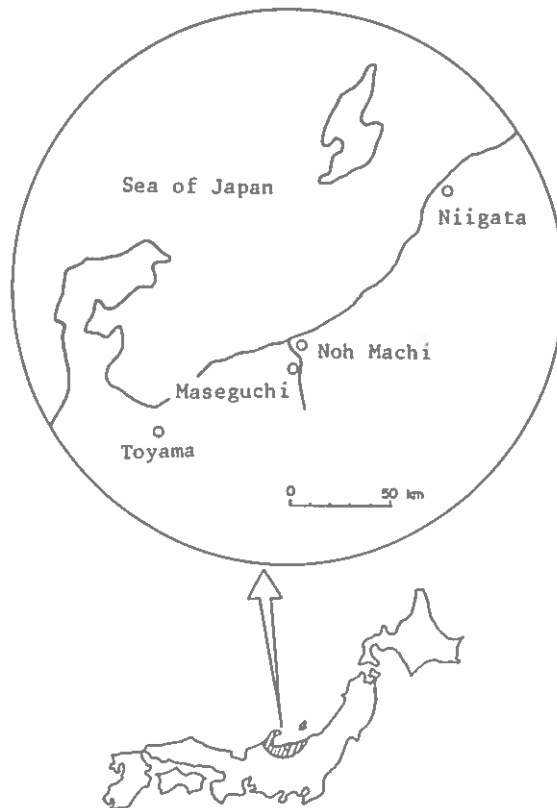


Fig. 1 Position Map

FACTS ABOUT MASEGUCHI SURFACE-LAYER AVALANCHE

General Description of What Topography of Maseguchi Includes

Maseguchi Hamlet lies on the eastern slope at the foot of Mt. Gongendake between mountains along the Noh River about 30 minutes by car south of Noh Maci (town) located almost midway between Itoigawa Shi (city) and Joetsu Shi (city), both in Niigata Ken (prefecture), but somewhat closer to Itoigawa city and is mainly a farming community comprising 67 dwellings. Mt. Gongendake where the avalanche originated has an elevation of 1,104 m and the slope half way up the mountain is steep with a grade of 45° and has exposed rocks. The stretch from immediately below to the hamlet forms a gentle slope with a grade of about 10° covered for a large area with crumbled landslide soil and is used as pastures or ricefields.

Regarding the local meteorology, the district is rather warm but with deep snow, making it one of the most snowy districts in Japan. See Fig. 2 for general information on annual maximum snow depth, cumulative snow depth and mean winter air temperature for the past five years. In spite of this heavy snowfall, reportedly no avalanche large enough to reach the hamlet reportedly ever occurred in the past. (Small avalanches occur every year.)

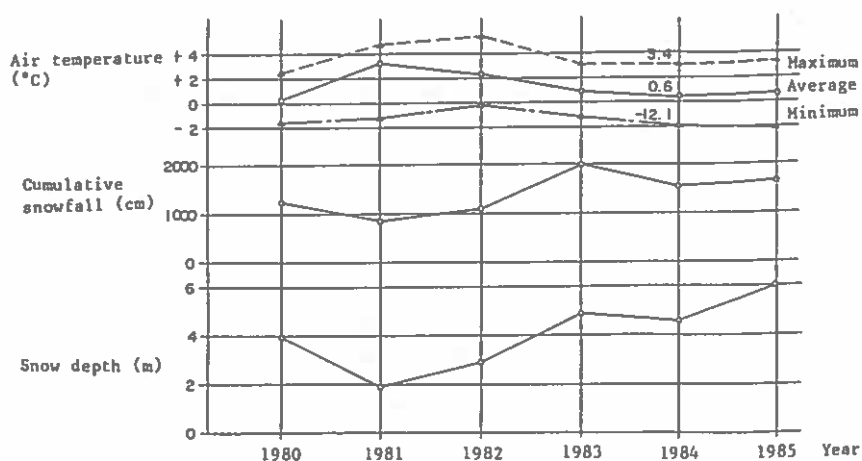


Fig. 2 Annual Meteorological Conditions in the Vicinity of Maseguchi

Weather at Time of Avalanche

In this district the snow cover was only 1.85 m, or 1.50 m less, compared with the same period in the average year, because relatively warm days continued until January 20, as indicated in Fig. 3. But the temperatures suddenly fell after that and heavy snowfall continued for days. So the snow depth was nearly 4 m on the day of the avalanche, thus creating a condition likely to induce a surface-layer avalanche. Meanwhile, the cumulative snow depth was 2.50 m and the daily average snowfall was about 42 cm. On this slope, heavy snow fell again from February 2 and an avalanche of medium scale occurred on February 8 (snow depth 5.80 m). (It stopped at 400 m distance from the hamlet and never affected dwellings, etc.)

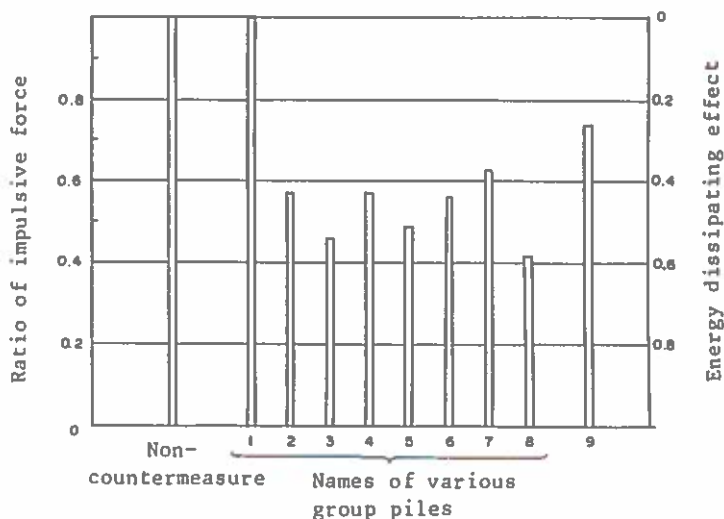


Fig. 3 Meteorological Data for Tamugidaira, Noh Machi

Course and Scale of Avalanche

Judging by such factors as the broken-out section of snow formed at the start of the avalanche on the slope of Mt. Gongendake, the avalanche that struck Maseguchi hamlet seems to have originated in the vicinity of elevation 850 m (Fig. 4) of the mountain. The volume generated is estimated at about 230,000 m³ while the slope grade of the area where it started is estimated at about 45°. As for its course, the avalanche seems from the direction of tree fall, the conditions at tree breaks and the results of observation of snow sections to have flowed down the slowly bent hollow terrain presumably formed by the landslide activities closely under Mt. Gongendake. The avalanche deposited partially on the slope along its course but mainly in and about the hamlet. The avalanche was about 1,900 m long and 200 m wide. The sight grade connecting the point of its origin and the hamlet was about 19°.

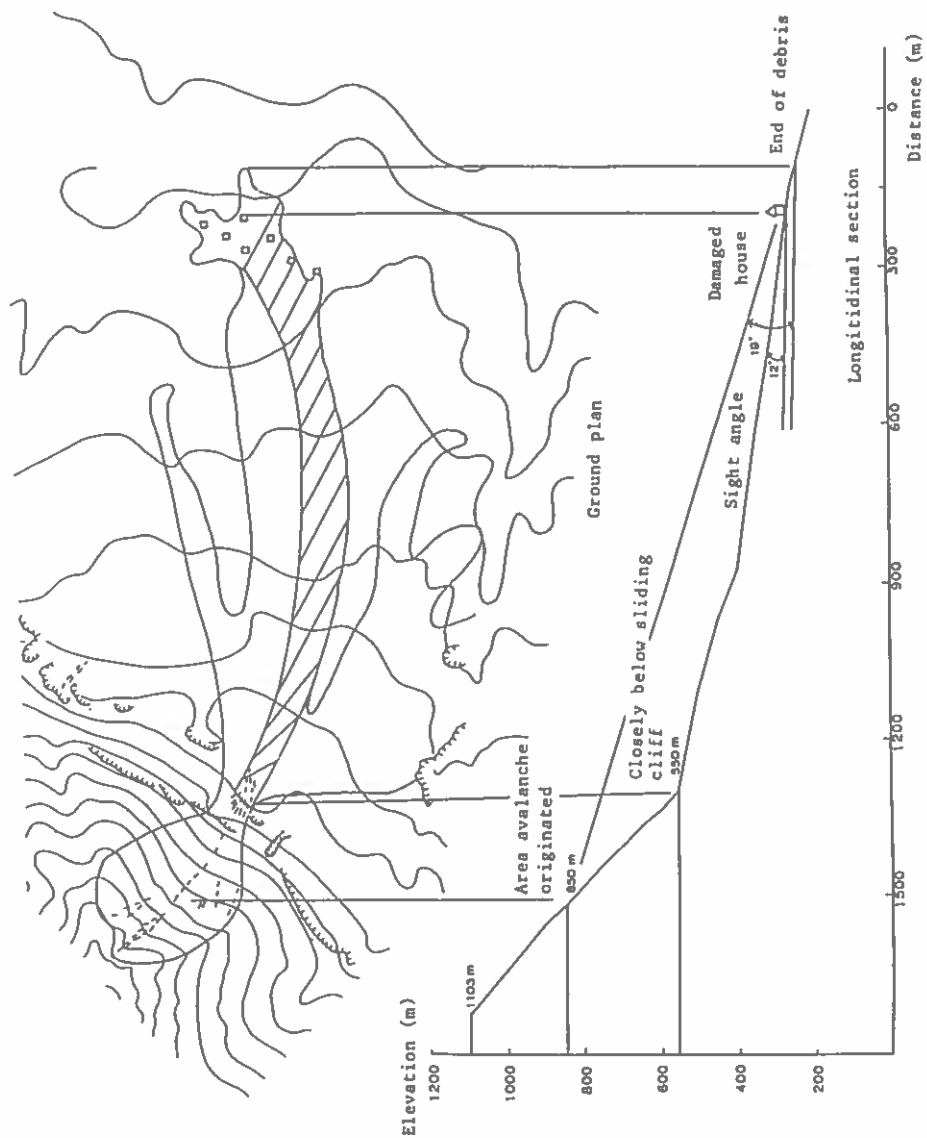


Fig. 4 Course of Maseguchi Avalanche and Topographical Cross Section

P r e s u m e d S p e e d o f A v a l a n c h e

Various expressions for presuming avalanche speeds are proposed but none have been established yet because snow depth at the origin of an avalanche, viscosity, density, etc. have not been thoroughly elucidated. In this article, therefore, Voellmy's expression¹⁾ was used for study. From the results of this, the avalanche having started near the summit of Mt. Gongendake reached 55 m/s immediately below the mountain. Since this value varies depending on how to take a coefficient, it is used here as a general yardstick and its propriety must be decided from future research.

The layer thickness at the time of flow-down of the avalanche is estimated from such conditions as the damage to branches and leaves of trees to have reached more than 4.5 m from the surface of snow. (The survey point used was 1,600 m below the point of origin of the avalanche toward the hamlet.) From the results of observation of snow sections, the depth of snow compressed or scrapped off by the avalanche was about 80 cm (Fig. 5).

Regarding the type of the recent avalanche and its form of motion, it appears from such conditions as lumps of snow scattered in the houses and the day's snow cover and weather to have been a plane-generated dry-snow surface-layer avalanche - mixed type (mixture of smoke type and flow type).

S n o w S e c t i o n R e s u l t s a n d P r e s u m p t i o n o f A v a l a n c h e G e n e r a t i n g P l a n e

Snow section results two days after the avalanche (Fig. 5) show that the snow depth from January 20 until the day of the avalanche was 2.5 m and the density of the snow was within the range of 50 - 310 kg/m³. Snow having fallen before January 20 was granular and composed of heavy snow (density: 300 - 410 kg/m³ or thereabout) because it had accumulated during a rather warm period. As for the shearing strength characteristics of different snow layers formed by snowfall, air temperature change, etc., the layer formed about January 20 showed smaller value than the other snow layers. Fig. 6 shows the results of a study on the stability of snow cover by a simple model from this value and the snow load. From this chart, the avalanche seems to have originated in the snow layer formed about January 20.

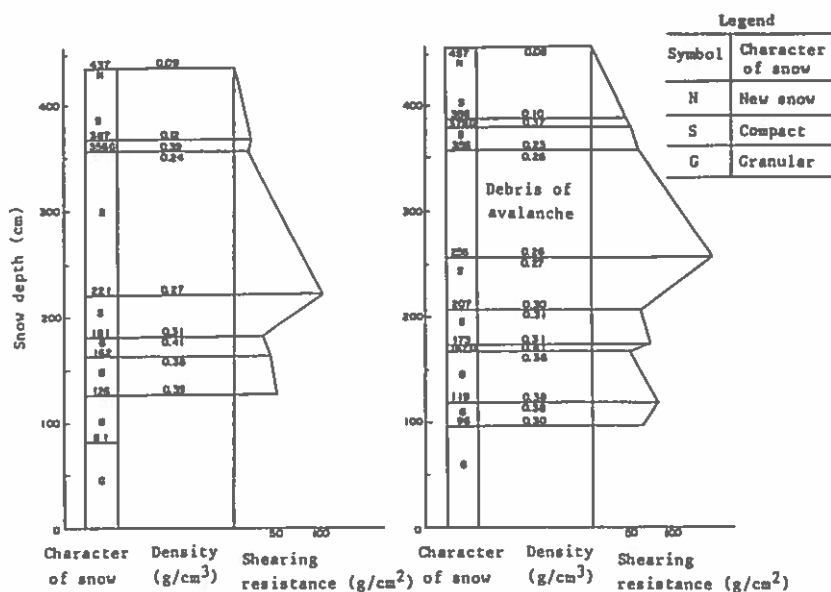


Fig. 5 Observation of Snow Cross Sections (Left: Natural Snow, Right: Course of Avalanche)

W: Load on snow layer boundary

$$W = \sum_{i=m}^n P_i H_i$$

F: Force component of W in slope direction

$$F = W / \sin \theta$$

τ : Simple shearing resistance on snow layer boundary

τ / F : Ratio of risk on snow layer boundary

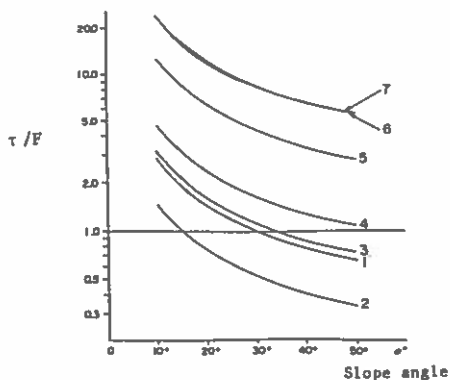
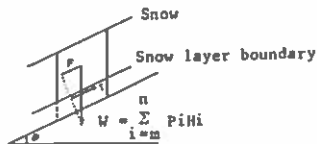


Fig. 6 Stability of Snow Layers by Simple Model (For the Positions of Numerals in the Chart, see Fig. 5)

BASIC TEST ON AVALANCHE ENERGY DISSIPATION WORKS

P u r p o s e

This test was conducted in a cold room to study the possibilities of the effect of avalanche prevention by means of energy dissipation works used as an effective countermeasure against surface-layer avalanches at Maseguchi.

O u t l i n e o f T e s t

Outline of Test Facility

The test was made using a test facility measuring 6 m in length, 50 cm in width and 3 m in height, which was installed in a cold test room. The size of energy dissipation works was set by the reduction ratio based on the field speed (presumed speed 36 m/s) and the model speed ratio (1/36 was used here). The height of energy dissipation works used then was about 10 cm for the model as compared with 4 m for the field, the diameter of piles was about 1 cm as compared with 40 cm for steel pipe piles and their intervals were about 14 cm as compared with 5 m.

Test Method

Energy dissipating effects are obtained sometimes by dispersing the force horizontally by means of an avalanche divider or some other device and sometimes by causing avalanche snow to fly up, using, say, a retaining wall, and reducing its speed and impact force. Here, the effect of energy dissipation by steel pipe piles was studied by the latter method from differences between the speed attained immediately before hitting the structure and the speed of the period after passing it and from the difference of impact force. The snow used in the test was produced in a cold room of -10° (fine granular snow of about 0.1 mm produced with an ice shaver) since surface-layer avalanches were the subject of study. The amount of snow that was dropped measured 8 cm in thickness, 50 cm in depth and 50 cm in width. In measuring speed, a photosensor was used and speed was determined from differences in time taken to pass between two points. Impact force was detected, using a load gauge attached to a steel pile measuring 6 cm in width and 10 cm in height. The state of flying of avalanche snow was analyzed by photographing with a high-speed video camera.

T e s t R e s u l t s

The test conducted concerned the effect of eight different types of energy dissipation works composed of piles.

The results are shown in Fig. 7 and the facilities used then are outlined in Table 1.

These indicate that the energy dissipating effect is compatively high if the number of horizontal piles and vertical piles is large and if the first horizontal pile is arranged so that collision may take place intermediately in the thickness of the avalanche layer.

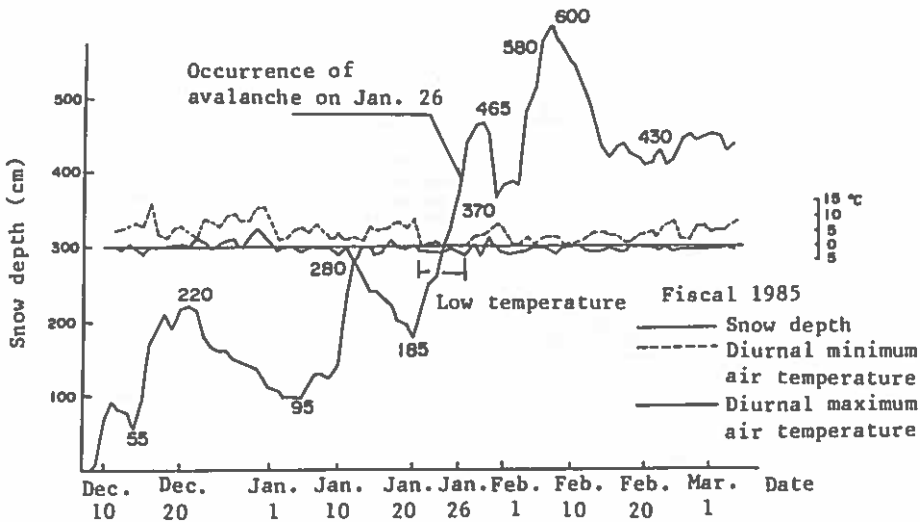


Fig. 7 Energy Dissipating Effects of Various Energy Dissipation Works by Impulsive Force

Table 1 Outline of Energy Dissipators Used in the Test

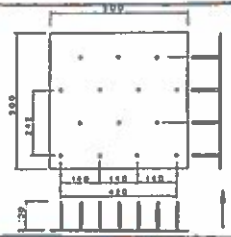
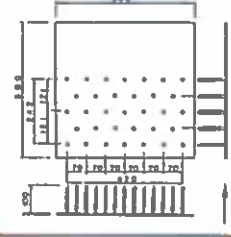
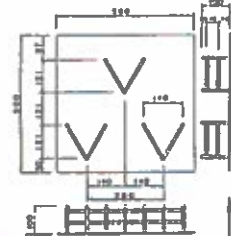
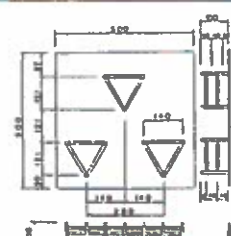
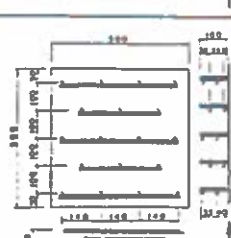
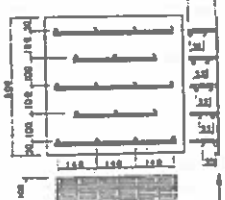
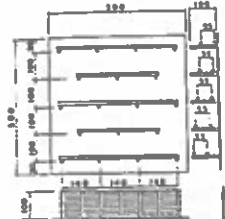
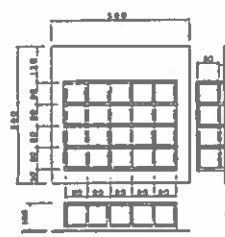
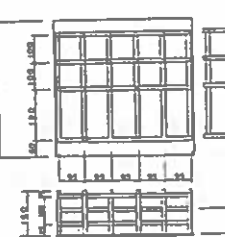
Group pile No.	Shape and size	Details
1		This consists of 22 vertical piles arranged zigzag in five rows as equilateral triangles at intervals of 14 cm (field: 5 m).
2		This consists of 38 vertical piles arranged zigzag in five rows as equilateral triangles at intervals reduced to a half from the value for Group Pile 1.
3		This consists of vertical piles in Group Pile 1 and two horizontal piles attached obliquely between the vertical piles so as to be in the shape of V for the direction of snow flow.
4		This consists of horizontal piles attached behind the shape of V in Group Pile 3 so as to form triangular columns.
5		This consists of vertical piles arranged zigzag in five rows for the direction of snow flow at longitudinal intervals of 10 cm (field: 3 m) and horizontal intervals of 14 cm (field: 5 m) and two horizontal piles attached between vertical piles in the same row at height intervals of 5.5 cm (field: 2 m). The heights of horizontal piles are the same in the 1st, 3rd and 5th rows but those in the 2nd and 4th rows differ from the 1st, 3rd and 5th rows by 3 cm (field: 1 m). In terms of abbreviations, this is the ABADA type.

Table 1 - continued

Group pile No.	Shape and size	Details
6		The vertical piles are precisely the same as in Group Pile 5. The horizontal piles have greater heights in the direction from the 1st row to the 5th row, namely, as you go down the slope. This is arrangement of the ABCDE type.
7		This has the same shape as Group Pile 6 but, going down the slope from the 1st row to the 5th row, the heights of horizontal piles gradually lowers: thus, it is arrangement of the EDCEA type.
8		This is in the shape of a jungle gym and is an assembly of cubic lattices with 8 cm (field: 3 m) long.
9		This is also in the shape of a jungle gym but the number of horizontal piles is smaller in the front half than in the rear half.

C o n c l u s i o n

The results of the laboratory test concerning the effects of energy dissipation works designed for dry-snow surface-layer avalanches may be summarized as follows:

- o Piles installed vertically cannot be expected to have energy dissipating effects unless they are dense.
- o An energy dissipation work having horizontal pile is effective because of a great angle of snow flying.
- o To increase the snow flying angle furthermore, it is necessary either to provide a structure (a retaining wall or something) that is higher than the avalanche is thick or use a structure with an angle, thereby dispersing the avalanche in the vertical direction. Besides, great energy dissipating effects can be achieved by providing horizontal pile in a portion with rapid avalanche flow.
- o When installing more than one horizontal pile, energy dissipating effects can be enhanced by installing the first horizontal pile at the center of the avalanche flow and installing the next pile alternately in the vertical direction.

It can be seen from the above results that energy dissipate works are, indeed, useful as a countermeasure against dry-snow surface-layer avalanches. However, these are results from a laboratory test and it is yet to be seen whether they are all good for field application since there are many problems, such as the law of similarity between the laboratory and the field and differences in the properties of snow. But even so, these results may be used as a general yardstick.

A D D I T I O N A L C O N S I D E R A T I O N

Here, we have seen the facts about the large avalanche that occurred at Maseguchi, discussed the effects of energy dissipation works as a countermeasure against avalanches and made a few proposals on their possibilities and utilization. As they are, however, they are not readily available for field use since the characters of avalanches have not been thoroughly elucidated. Yet, much is expected of the future study of energy dissipation works as a most effective means of dissipating the energy of destructive avalanches, such as large surface-layer avalanches.

BIBLIOGRAPHY

A. Voellmy, 1955. Ueber die Zerstoerungs-kraft von Lawinen.
Schweizerische Bauzeitung, Sonderdruck 73, Heft 12, 15, 17, 19 u. 37.
English translation, 1964. On the destructive force of avalanches.
Alta Avalanche Study Center, Wasatch National Forest, Translation No. 2
(1964).

December 1, 1986

REPORT ON AVALANCHE EVENTS IN THE
WINTER HALF-YEAR 1985/86

by

Horst Schaffhauser

The recently established Institute of Avalanche Research of the Federal Forestry Research Station (FBVA) started operating early in November 1985 at the Hofburg of Innsbruck.

At present, this institute comprises two departments: The Department of Snow and Avalanches and the Department of Control Techniques.

For the time being, Institute X of the FBVA - Avalanche Research - has carried on current research programmes of the former Institute IX of the FBVA - Torrent and Avalanche Control, such as investigations on disasters and measurements on avalanche dynamics. Gradually, emphasis will be put on other research work and, according to availability of supporting staff and financial resources, Institute X - Avalanche Research - will be entrusted with activities designed to improve the fundamentals necessary to face new and, from economical point of view important tasks in the field of torrent and avalanche control, such as protection from avalanches, hazard zoning, new control techniques including forest management in avalanche starting zones.

Suitable and qualified avalanche records (accident analyses) shall contribute to improve and unify training activities in snow and avalanche research.

In order to cope with the above mentioned tasks, close cooperation with the offices of the Torrent and Avalanche Control (WLV), with pertinent research institutions of these offices in Austria and abroad (EISLF), with forest authorities and private institutions will be necessary.

Due to vitality losses in mountain forests the question necessarily arises as to the consequences of this development for the inner Alpine settlement area. The development of potential avalanche starting zones and their extension over large surfaces below timberline can cause permanent damage to the protective role of the mountain forests and even lead to their destruction. Inception losses due to canopy thinning result in important total snow depths on slopes. Increased radiation during the night has a considerable influence on depth hoar formation. In ablation periods intensive linear and aerial erosion processes cause leaching of roots and soil denudation, as a result the supporting effect of the snow cover through the forest will be reduced.

In addition to reducing the protective function of the forest by avalanches starting above the closed stand these processes contribute to avalanche accumulation within the closed stand and are therefore another forest destroying criterion.

In the winter of 1972/73, 18 % of the avalanches started below timberline (I. Merwald, 1975, H. Schaffhauser, 1986), 1973/74 37 %, 1984/85 6,6 % and in the winter of 1985/86 23,5 % (9 % at timberline).

Although this trend is slightly decreasing, it would be a tragic error to ignore the threatening development concerning the avalanche situation in the forest and not to pursue it carefully and to take appropriate measures for protection.

These figures apply only to recorded avalanches, there remains still the problem of not recorded avalanches. An objective estimation of mountain forests affected by forest avalanches can only be made on the basis of a survey both inside and outside the country.

Meeting on joint research programmes dealing with this problem are planned to be held in November 1986, with the collaboration of the EISLF and competent institutions in Bavaria (Dr. Zenke) and Arabba (Italy, BL). As for Austria, the Field Station for Subalpine Forest Research (FBVA),

the Institute of Torrent and Avalanche Control at the University of Agriculture (Univ.Prof. Dr. H. Aulitzky) and the Institute of Sylviculture (Univ. Prof. Dr. H. Mayer) as well as forest authorities of the Federal States and private enterprises will be invited to collaborate.

In the climate house of the Patscherkofel, rooms will be made available to the Institute of Avalanche Research by the administration of the FBVA so that in future specific detailed analyses such as determination of sliding snow factors can be tackled on the spot still this year within the framework of the research project "avalanches in the protection forest".

REPORT ON DISASTERS IN THE WINTER OF 1985/86

As mentioned in the beginning, avalanche documentation occupies a special position within the work of the institute. With its compared investigations within modern avalanche research training, avalanche documentation provides the basis for accident analyses and contributes to more security in snow covered alpine areas. On the other hand, those research findings often allow to estimate avalanche related parameters.

Weather report and snow cover development in the winter half-year of 1985/86:

Extremely sunny weather in the last decade of October dried up the soil providing rather unfavourable conditions for pre- and early winter development of snow cover.

Pre-winter snowfalls in mid-November covered even the valley floors in West Austria with new snow up to 40 cm, snow depths in the South were up to 70 cm. The extremely cold weather and high precipitation in November caused early formation of depth hoar on slopes with NW to NE exposure. In the middle of the first decade of december, supply of warm air made the freezing level rise above 3 000 m. As a result, pre-winter snow cover, the basic layers of which have already been subjected to constructive metamorphose,

was moistened. A through of low-pressure brought again abundant snowfalls to the south alpine area around 13 December. Strong linear upper air flow from W to NW shifted important snow quantities towards ridges with NE to SE exposed slopes where the snow load met the old snow which lost its binding force as a result. Thus, the avalanche situation has been aggravated not only in touring areas but in the whole Austrian alpine region.

The mid-winter phase (expecially in January) was characterized by increased precipitation activity in a small alpine area in the Tyrol and in southern Vorarlberg. (Figures were measured amounting to 225 % of the average on many years).

The mild weather phase at the beginning of the second decade of January until the 25th - interrupted by spells of cold (cyclone) on 17 and 18 January - resulted in snow cover consolidation. On sites near the ridges and on steep slopes with N to E exposure there was latent danger of slabs due to transport of new snow by Atlantic cyclones.

The second mid-winter snowfall period, from 28 January to 3 February 1986, brought a considerable increment of new snow in the Eastern Tyrol, the upper part of Carinthia (up to 1 000 m) and the southern part of the Stubai Valley and the Ötztal Valley (Verwal avalanche event of Obergurgl, destroying the indoor swimming-pool of the Hotel Hochfirst and killing one person). In other touring areas north of the main ridge of the Alps foehn storms created large driftsnow avalanche situations.

After a short improvement in the weather situation, continental cold air began to trickle into the Mediterranean, after 5 February. An enormous drop of cold air caused by rising humid mediterranean air resulted in extremely abundant snowfalls in the Styrian marginal mountain range, from 9 February onwards (Schöckel, maximum snow depth 230 cm). In West Austria maximum snow depth was 50 cm. Milder air masses in front of a low-pressure area in the south led to snow cover stabilization in the south alpine area and the central ridge (except for steep slopes leeward near the ridge). In touring areas drifting snow continuously created latent local danger of

slabs.

Supply of polar air at the end of the mid-winter period made minimum temperatures reach values below -20°C .

At the beginning of the late winter, there was an upper air current from the west, the freezing limit rising up to 2 000 m. Although there were favourable touring conditions in general, it was suitable to pay attention to wet-snow avalanches on sun-exposed steep slopes and to driftsnow accumulations on E - N exposed slopes. West weather conditions lasting until the Holy Week, made the weather situation rather changeable.

In the post-winter phase, winter snow cover melted away in early April at altitudes around 1 100 m, and towards the end of the month at altitudes around 1 600 m. Between 10 and 13 April, the Federal territory was affected by the back of a cyclone over Eastern Europe resulting in mean snow cover during a short period. Due to continuous precipitation in connection with the already drenched old snow cover, several avalanches broke loose threatening traffic roads on exposed sites at higher altitudes.

In touring areas along the ridge of the Central Alps large surfaces were covered with driftsnow on N to E exposed sites. Temperatures were around -6°C at 2 000 m and around -11°C at 3 000 m. Owing to frequent currents from the south, in the southern areas subjected to barrier effect and in Rhein Valley, precipitation was found to amount to 225 % of the average of April, whereas, at the northern side of the Alps, foehn reached as far as the alpine valleys. Snow cover was moistened due to intensive solar radiation and strong warming up during the day. At the southern side of the Alps rain and snowfalls created similar snow cover. Monthly average of air temperature was up to 3°C above the average of many years in the whole Federal territory. At the beginning of the second decade of May, snow had melted away on sites around 2 000 m. The passage of a cold front at the end of the month made the snowfall limit coming down to about 800 m in West Austria.

CLOSING REMARKS

In the winter half-year of 1985/86, a total of 243 disaster avalanches was recorded in Austria, of which 134 (55,1 %) were slabs, 96 (39,5 %) were loose-snow avalanches and 13 (5,4 %) could not be classified.

With 44 people there were 3 more people killed than in the winter of 1984/85. Of 149 people buried 105 survived. Altogether, 201 people were involved in avalanche accidents.

Considering the victims it is the Tyrol which holds the leading position with 19 people killed (according to a criminal technical expert evidence (GZ: 1571/86) by the rural police of the Tyrol (Landesgendarmeriekommando) the accident on 8 April 1986 in the Wandspitze, Hintertux, causing the death of a German woman tourist, was an avalanche accident), 32 injured and 69 people buried, followed by Salzburg with 10 people killed, 3 injured and 26 buried and Vorarlberg with 7 people killed, 1 injured and 8 buried.

In mid-January of 1986 heavy storms caused considerable snowdrifts. In the period between 13 and 17 January 1986, 45 disaster avalanches broke loose. It was reported that 2 persons were killed, 1 injured and 8 buried.

The peak of avalanche activity was reached in the period between 31 January and 4 February 1986. Increments of new snow up to 100 cm caused major hold-ups due to necessary roadblocks in the Eastern Tyrol and in Upper Carinthia. Partly, there was precipitation far across the main ridge of the Alps (Obergurgl). In total, 98 avalanches were reported with 6 people killed, 14 injured and 23 buried.

If ten years ago most of the victims were "Varianten" skiers, the quickly increasing number of touring skiers has changed the picture completely within the last years. This year, one skier killed on the open ski-run corresponds to 34 killed touring skiers.

Today, many touring skiers use mechanical ascent facilities, not only in

the glacial region but also in lower situated touring areas. For this reason, they do not have to do the toilsome ascent to the proper touring goal and at the same time they miss valuable information on the local snow and avalanche situation necessary for the imminent glissade.

Waterfall ice climbing, a modern discipline of winter alpinism has cost the lives of 5 mountaineers. Striking is also the percentage of hunters in the statistics with 4 people killed. Of the damage to property, the Obergurgl event of 1 February needs to be mentioned. The Verwal avalanche caused considerable damage to an indoor swimming-pool and slight damage to 3 hotels. In the parking lot 10 cars were totally and 60 others more or less damaged.

Road administrations reported the obstruction of 2,75 km of Federal road, 5,1 km of provincial road and 2,4 km of district road.

Damage to forest stands amounted to 398,25 ha in old stands, and to 108,65 ha in young stands. Damage to wood was 27 106 solid cubic meters. Field was damaged around 7 ha.

During the reporting period 56 % of the disaster avalanches started above timberline, 9 % at timberline, 23,5 % below timberline whereas in 11,5 % of the cases the starting zone could not be determined.

ZUSAMMENFASSUNG

Ähnlich wie im Vorjahr schufen im Vor- und Frühwinter für die Stabilisierung der Schneedecke ungünstige Wetterlagen eine bedenkliche Ausgangssituation. Bereits Mitte Dezember war in den Basisschichten der Schneedecke Schwimmschnee nachzuweisen. Die Opferbilanz fiel mit 44 Toten auch dementsprechend katastrophal aus. Die Höhepunkte der Lawinenaktivitäten ereigneten sich im Hochwinter zwischen 12. und 17. Jänner (allein 17 Abgänge in Vorarlberg) und Anfang Februar in Nord- und Osttirol. Der Trend, der sich in den letzten Jahren ausgeprägt entwickelt hat, daß die Tourenschifahrer den größten Anteil der Opferbilanz einnehmen, hat sich auch heuer wieder bestätigt. Im Durchschnitt verunfallten jährlich während eines 40-jährigen Zeit-

raumes (von 1946/47 bis 1985/86, unter Einbeziehung der Katastrophenwinter von 1951 und 1954) 32 Menschen, bezieht man sich aber auf die letzte Dekade, so verunfallten in Österreich im Durchschnitt 29 Menschen tödlich.

SUMMARY

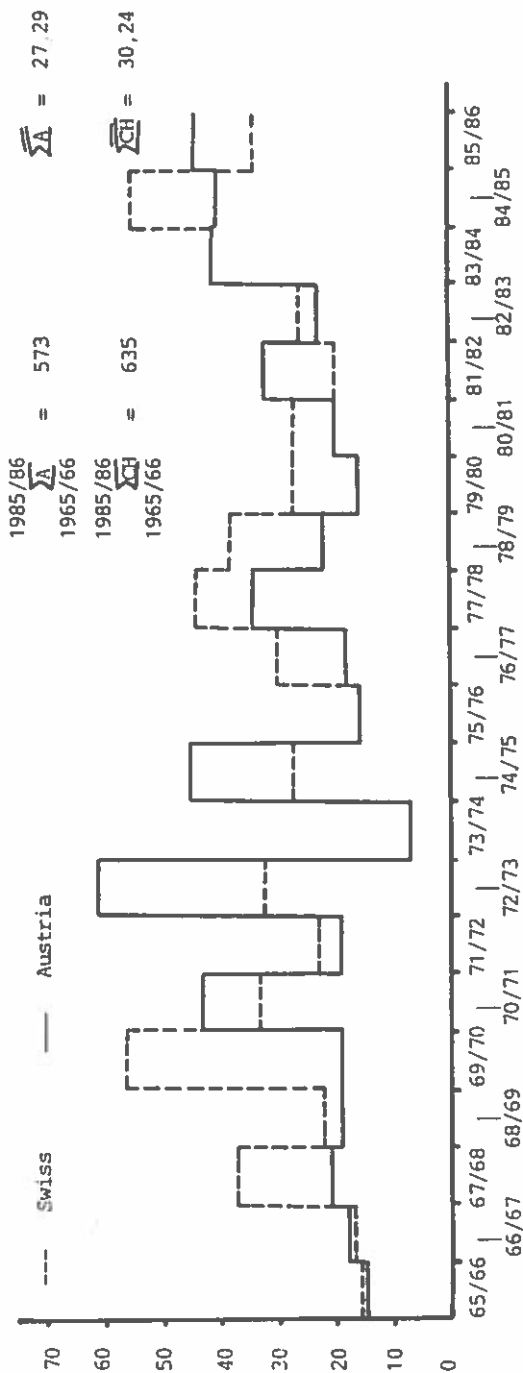
Similary in the previous year in the time before winter and in the early winter unfavourables weather conditions created a very dangerous starting point to the winter snow-cover. Already now in the middle of December there was demonstrated in the basis-layers snow-grains of the temperatur-gradient metamorphism. The bilance of victims resulted with 44 killed people catastrophically. The averlanche activities culminated in the high-winterperiod happend between 12th - 17th January (17 averlanches run off in Vorarlberg) and on the beginning of February in North- and East-Tyrol. Also in this winter half year the trend of the last decade, that more and more the ski toures was killed by averlanches, was confirmed. On an average met with an accident in Austria yearly during a space of 40 years (1946/47 - 1985/86, under integration of the catastrophic-winters 1951 and 1954) 32 people, but in the last decade was 29 people killed.

LITERATURE CITED

- Kronfellner-Kraus, G., 1984; Mögliche Folgewirkungen des Waldsterbens für Wildbach- und Lawinenverbauung. FBVA-Jahresbericht 1984, S. 112 - 127
- Merwald, I., 1975: Die Schadenslawinen in Österreich 1972/73 und 1973/74 Informationsdienst der Allg. Forstzeitung, 159. Folge, Dez. 1975
- Schaffhauser, H., Höller, P., Hauk, E., 1986: Lawinenergebnisse und Witterungsverlauf in Österreich Winter 1984/85 und 1985/86, FBVA-Berichte No 16/86

COMPARISON OF DEADS BY AVALANCHE-ACCIDENTS BETWEEN AUSTRIA AND SWISS
(1965/66 - 1985/86)

Winter	Austria	Tour	Variante	Swiss
1981/82	32	25	3	20
1982/83	23	17	1	26
1983/84	41	25	5	41
1984/85	40	28	8	55
1985/86	44	34	1	34



A METHOD TO CALCULATE SNOW-DEPTH IN DEPENDENCE ON SEA-LEVEL

by

Peter Höller

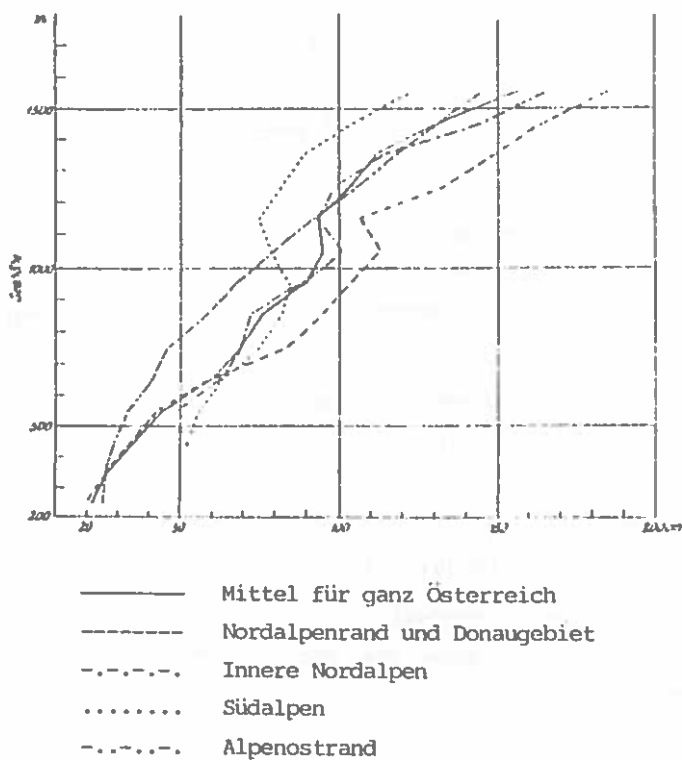
INTRODUCTION

It is almost impossible, to find out a mathematical function, which shows snow-depth in dependence on sea-level, because precipitation and especially snowfall is influenced very much by predominant weather conditions. Therefore it is not correct to use an equation based only on the climate of an extended area. As snow-depth is dependent on wind direction, you have to distinguish between windwards and leesides, respectively between the boundary of the Alps and the Central Alps. It seems to be evident, that there is a greater snow-depth in those regions, which are influenced by approaching fronts; on the other hand we can find a lower snow-depth in the Central Alps. For this reason it is necessary to separate regions with about similar snow conditions.

FUNDAMENTALS

The classification by STEINHAUSER (1974), who divided Austria into 20 regions with about similar snow conditions, shows the greatest difference of snow-depth between windwards and leesides of the Alps. So it is obvious, that snow-depth in Vorarlberg and in the Salzkammergut (these regions are lying in the Northern Alps, resp. at the windwards) is almost two times greater than in Osttirol and in the Ötztaler Alpen (these are regions in the Central Alps, resp. leesides).

A very useful classification was founded by WAKONIGG (1975). As we see in diag. 1 he divided the Austrian Alps into 10 regions. The regions I and



Diagr. 2: Snow-depth in dependence on sea-level
in special regions of Austria
(STEINHAUSER, 1949)

RESULTS

To calculate snow-depth by a mathematical function it is necessary to take two equations: A cyclical function (A), which can be used up to 1 000 m and a hyperbola (B) valid above this altitude.

$$A: x = \frac{21,5}{(\ln f)^{1,12}} \cdot [\sin (0,225y - 135) + 1] + 23 \quad 200 \leq y \leq 1000$$

$$B: x = \frac{43}{(\ln f)^{1,12}} + 23 + \frac{40}{f} \cdot (-f + \sqrt{f^2 + \frac{f}{2} (\frac{y - 1000}{100})^2}) \quad y \geq 1000$$

x Snow-depth (cm)

y Altitude above sea-level (m)

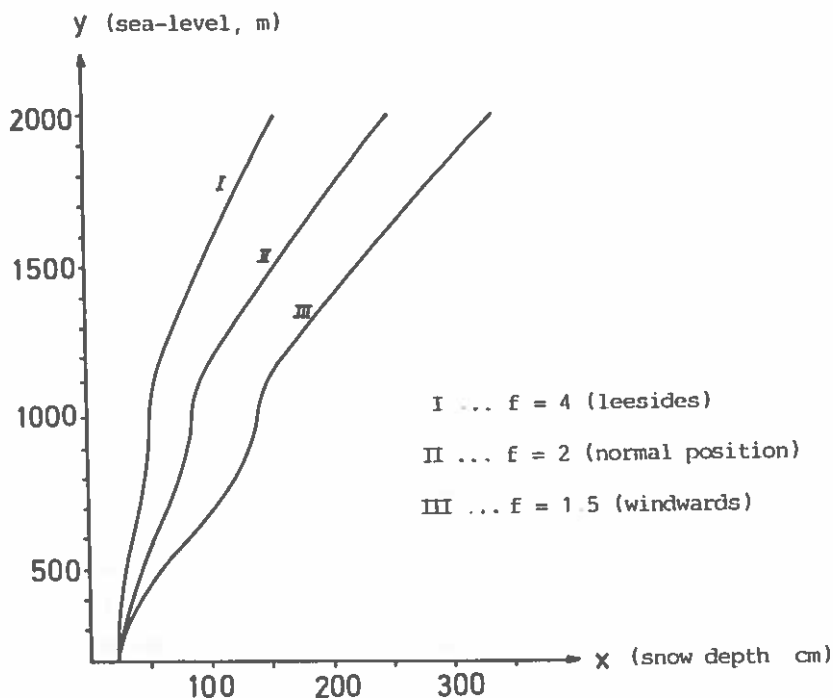
f Factor, which characterizes a special region

These equations are determined by a computer-program and can be solved very easy by each electronic-calculator.

Region I	Vorarlberg	$f = 1,3 - 1,7$
Region IV	Nörtl. Kalkalpen zwischen Salzach und Wien	
Region II	Nörtl. Kalkalpen - Westteil	
Region III	Nörtl. Kalkalpen zwischen Isar und Salzach, Kitzbüheler Alpen	$f = 1,7 - 2,3$
Region V	Zentralalpen - Westteil: Ötztaler Alpen, Stubai-er Alpen, Tuxer Alpen	$f = 3,0 - 4,0$
Region VIII	Zentralalpen - Südseite	
Region VI	Ostteil der Zentralalpen - Nordseite	$f = 2,3 - 3,0$
Region VII	Ostteil der nördl. Kalkalpen - Südseite	
Region IX	Südkärnten und Koralpe	$f = 2,6 - 3,4$
Region X	Südalpen: Karnische Alpen - Karawanken	$f = 1,5 - 2,0$

Tab. 1: Regions with about similar snow conditions
in the Austrian Alps (WAKONIGG, 1975)

Tab. 1 shows the classification by WAKONIGG,(1975) and on the right side the corresponding factors (f), which were founded by some special tests.



Diagr. 3: Mathematical functions showing
snow-depth in dependence on sea-level

In diagr. 3 (based on equation A and B) you can see three mathematical functions showing snow-depth in dependence on sea-level in the main regions of the Austrian Alps. Number I of this diagram is valid in the Central Alps, resp. at the leesides (region V and VIII). Function II can be used in areas, which are not influenced very much by approaching fronts. At last there is function III, which can be taken at the boundary of the Alps, resp. at the windwards (region I and IV).

SUMMARY

The paper shows a method to calculate snow-depth in dependence on sea-level. By means of factor f (f characterizes special regions in the Austrian Alps) it is possible to determine snow-depth not only in the Central Alps (leesides) but also at the windwards (boundary of the Alps).

$$A: x = \frac{21,5}{(\ln f)^{1,12}} \cdot [\sin (0,225y - 135) + 1] + 23 \quad 200 \leq y \leq 1000$$

$$B: x = \frac{43}{(\ln f)^{1,12}} + 23 + \frac{40}{f} \cdot (-f + \sqrt{f^2 + \frac{f}{2} (\frac{y - 1000}{100})^2}) \quad y \geq 1000$$

x snow-depth (cm)
 y altitude above sea-level (m)
 f factor, which characterizes a special region; $f = 4$ (leesides), $f = 2$ (normal positions), $f = 1,5$ (windwards)

LITERATURE CITED

- STEINHAUSER F., 1949: Die Schneehöhen in den Ostalpen und die Bedeutung der winterlichen Temperaturinversion. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Band 1, S. 63 - 74
- STEINHAUSER F., 1964: Neue Karten der Schneebeziehungen in Österreich. Carinthia II, 24. Sonderheft, S. 241 - 250
- STEINHAUSER F., 1974: Die Schneebeziehungen Österreichs und ihre ökonomische Bedeutung. 70. - 71. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1972 - 1973, S. 3 - 42
- WAKONIGG H., 1975: Die Schneebeziehungen des österreichischen Alpenraumes (1950 - 1960). Wetter und Leben, Jhg. 27, S. 193 - 203

E I N N I C H T L I N E A R E S F L I E S S G E S E T Z F Ü R T E M P E R I E R T E N F I R N M I T D E V I A T O - R I S C H E N U N D I S O T R O P E N T E R M E N

W. Ambach⁺ und H. Eisner⁺⁺

+ Institut für Medizinische Physik, Universität Innsbruck,
Müllerstrasse 44, A-6020 Innsbruck

++ Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck,
Technikerstrasse 15, A-6020 Innsbruck

SUMMARY

A nonlinear constitutive equation of temperate firn was deduced from deformation measurements on a 20 m deep firn pit, situated in the accumulation area of a temperate Alpine glacier. The constitutive equation consists of deviatoric and isotropic terms. The deviatoric term is related to shape deformations by stress deviators, the isotropic term to compressive effects by the isotropic pressure. The constitutive equation includes "Glen's Law" for incompressible ice as a limiting case.

Key words: Constitutive equation of firn, flow law of firn, rheological properties of firn

ZUSAMMENFASSUNG

Aus Verformungsmessungen an einem 20 m tiefen Firnschacht im Akkumulationsgebiet eines temperierten Alpengletschers wurde ein nichtlineares Fließgesetz für temperierten Firn mit deviatorischen und isotropen Termen abgeleitet. Der deviatorische Term entspricht Formänderungen durch deviatorische Spannungsgrößen, der isotrope Term Volumsänderungen durch einen allseitigen isotropen Druck. Das Fließgesetz enthält das "Glensche Fließgesetz" für inkompressibles Eis als Grenzfall.

Schlüsselwörter: Stoffgleichung für Firn, Fließgesetz für Firn, rheologische Eigenschaften von Firn.

EINLEITUNG

Aus Verformungsmessungen an einem 20 m tiefen Firnschacht über 11 Jahre wurde ein nichtlineares Fließgesetz für temperierten Firn hoher Dichte abgeleitet. In diesem Fließgesetz wird die Kompressibilität des Firns durch einen isotropen Term berücksichtigt. Beim Übergang von Firn in Eis resultiert daraus das "Glensche Fließgesetz", das wegen der Inkompressibilität des Eises naturgemäß nur einen deviatorischen Term enthält. Das "Glensche Fließgesetz" ist seit langem eine allgemein anerkannte Grundlage der Eisleologie.

Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung der Schachtverformung in der Periode von 1967 bis 1978. Die Meßgrößen sind die Neigung der Schachtachse, die Kompression der Schichten, die Dehnung des Durchmessers in Fließrichtung und die Verkürzung des Durchmessers in Querrichtung. Außerdem sind das Tiefenprofil der Dichte und die Oberflächenneigung entlang des Fließweges bekannt (Eisner und Ambach 1981, Schneider, 1970). Zur Analyse wurden allerdings nur Meßwerte der Periode 1967 bis 1974 verwendet, weil ab 1975 einige Meßgrößen durch Bildung einer großen Firnspalte systematisch gestört sind (Eisner et al., 1984a).

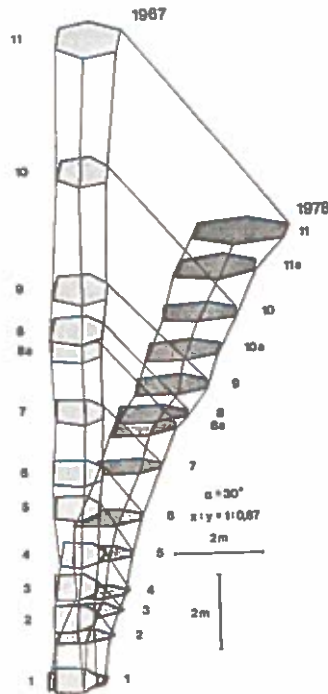


Abb. 1: Schematische Darstellung der Schachtverformung zwischen 1967 und 1978 (aus: Eisner und Ambach, 1981)

Das vorliegende nichtlineare Fließgesetz für temperierten Firn ist in folgenden Punkten eine wesentliche Erweiterung einer früher gegebenen Analyse (Ambach und Eisner, 1985). Erstens wird ein dimensionsloser Dichteparameter als Materialkonstante eingeführt. In der ursprünglichen Form des Fließgesetzes ist die Firndichte nicht explizit enthalten. Zweitens wird der Gültigkeitsbereich des Fließgesetzes auf einen größeren Dichtebereich erweitert und drittens wird die Kompressibilität des Firns durch Einführung eines isotropen Terms berücksichtigt.

Das hier entwickelte Fließgesetz für temperierten Firn basiert auf dem Ansatz

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}'_{ij} + 1/3 J_1 \delta_{ij} \quad (1)$$

Darin sind $\dot{\epsilon}_{ij}$ Komponenten des Strain Rate Tensors, $\dot{\epsilon}'_{ij}$ die Komponenten des Deviators, J_1 die 1. Invariante des Strain Rate Tensors und δ_{ij} das Kronecker Symbol. Dieser Ansatz enthält bereits die Aufspaltung der Strain Rate Komponenten in einen deviatorischen Term ($\dot{\epsilon}'_{ij}$) und einen isotropen Term ($1/3 J_1 \delta_{ij}$). Der deviatorische Term beschreibt reine Formänderungen, die durch den Stress Deviator bedingt sind, der isotrope Term reine Volumsänderungen, die durch einen allseitigen Druck verursacht werden. Der allseitige Druck entspricht dem Anteil des Kugeltensors im Spannungsfeld.

DEVIATORISCHER TERM DES FLIESSGESETZES

Das "Glensche Fließgesetz" lautet in Komponentenform

$$\dot{\epsilon}'_{ij} = A \tau_{eff}^2 \sigma'_{ij} \quad (2)$$

A ist eine Materialkonstante, die von der Temperatur abhängt. Die Bedeutung der weiteren Symbole ist aus einer Liste am Schluß der Arbeit ersichtlich. In Analogie zu Gl. 2 wurde der Ansatz

$$\dot{\epsilon}'_{ij} = D(\rho^*) \tau_{eff}^2 \sigma'_{ij} \quad (3)$$

gewählt, wobei ρ^* ein dimensionsloser Dichteparameter

$$\rho^* = \frac{\rho}{\rho_{EIS} - \rho} \quad (4)$$

ist. Für Eis gilt $\rho^* \rightarrow \infty$. Der Faktor $\tau_{eff}^2 \sigma'_{ij}$ in Gl. 3 beschreibt die Abhängigkeit $\dot{\epsilon}'_{ij}$ von der Spannung, die Funktion $D(\rho^*)$ die Abhängigkeit von der Dichte.

Abb. 2 zeigt die Funktion $D(\rho^*)$ mit folgenden charakteristischen Eigenschaften:

- Mit größeren Werten ρ^* nimmt $D(\rho^*)$ monoton ab. Diese Abnahme entspricht einer größeren Festigkeit des Firns bei größeren Dichten gegenüber Formänderungen.
- $D(\rho^*)$ kann als Summe von 2 Exponentialfunktionen dargestellt werden, womit der linke steile Bereich und der rechte flache Bereich befriedigend erfaßt werden.
- Für große Werte ρ^* nähert sich $D(\rho^*)$ einem konstanten Wert. Um dies graphisch zu zeigen, wird in Abb. 2 bei $\rho^* = 6$ der Maßstab um den Faktor 50 gedehnt.

Eine passende analytische Form für $D(\rho^*)$ im Bereich $2 \leq \rho^* \leq 12$ lautet

$$D(\rho^*) = A + D_1 \exp(-d_1 \rho^*) + D_2 \exp(-d_2 \rho^*) \quad (5)$$

Die Konstanten A , D_1 , D_2 , d_1 , d_2 , wurden aus dem Verlauf der Meßdaten durch Anpassung der Parameter numerisch berechnet und gelten für den Dichtebereich von etwa 600 kg/m^3 bis 850 kg/m^3 .

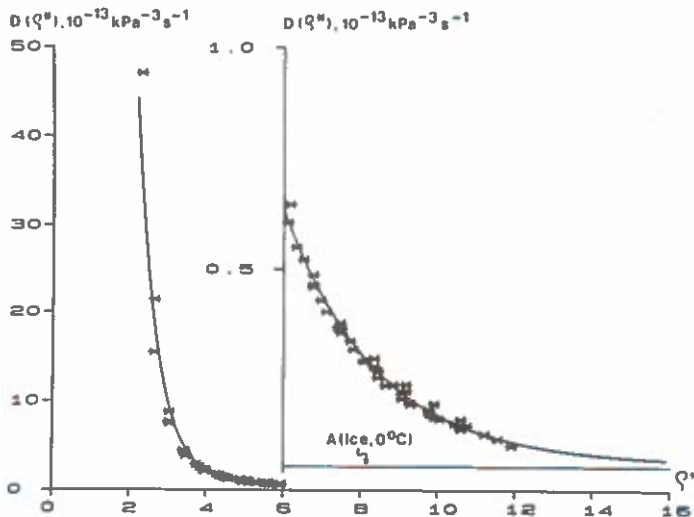


Abb. 2: Funktion $D(\rho^*)$ des deviatorischen Terms des Fließgesetzes. Maßstabsänderung bei $\rho^* = 6$

ISOTROPER TERM DES FLIESSGESETZES

Der isotrope Term des Fließgesetzes ergibt sich, wenn J_1 durch I_1 in Gl. 1 substituiert wird. Der Ansatz lautet

$$J_1 = H(\rho^*) I_1 \quad (6)$$

wobei J_1 , I_1 die ersten Invarianten des Strain Rate- und Spannungstensors sind. $H(\rho^*)$ wird aus den Meßdaten durch Berechnung von J_1/I_1 bestimmt. Abb. 3 zeigt, daß $H(\rho^*)$ für $2 \leq \rho^* \leq 16$ wiederum als Summe von 2 Exponentialfunktionen darstellbar ist, nämlich

$$H(\rho^*) = H_1 \exp(-h_1 \rho^*) + H_2 \exp(-h_2 \rho^*) \quad (7)$$

wobei die Konstanten H_1 , H_2 , h_1 , h_2 aus dem Verlauf der Meßdaten durch Anpassung der Parameter numerisch berechnet werden. Mit steigenden Werten ρ^* nimmt $H(\rho^*)$ monoton ab. Dies entspricht wiederum einer größeren Festigkeit des Firns bei größerer Dichte gegenüber Volumsänderungen. Für inkompressibles Eis erhält man mit $\rho^* \rightarrow \infty$ den Grenzwert $H(\rho^*) \rightarrow 0$.

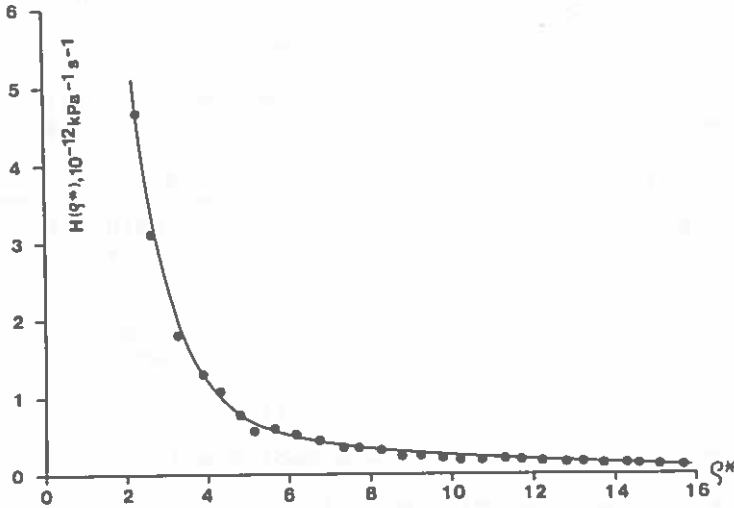


Abb. 3: Funktion $H(\rho^*)$ des isotropen Terms des Fließgesetzes

DISKUSSION

Ein wesentlicher Punkt der Analyse ist die Rekonstruktion sämtlicher Komponenten des Strain Rate- und Spannungstensors aus den Meßgrößen. In diesem Zusammenhang sind folgende Probleme von Bedeutung, die in der zitierten Literatur ausführlich diskutiert werden:

- Die Berechnung der vertikalen Spannungskomponente aus der Schneelast bei einem zeitlich konstanten Tiefenprofil der Dichte und die Berechnung der daraus resultierenden Scherspannung (Ambach and Eisner, 1986). Das Querschnittsprofil des Gletscherbettes wird dabei nach Angaben von Nye (1965) berücksichtigt.
- Die Transformation der Meßgrößen der Schachtverformung in entsprechende Verformungsgrößen eines Vollkörpers (Eisner et al., 1984b). Die Verformungen wurden nämlich an einem Hohlkörper (Schacht) gemessen, das Fließgesetz gilt jedoch für einen Vollkörper.
- Die Abhängigkeit der viskosen Poisson-Zahl von der Dichte (Bader et al., 1951) und dem Spannungszustand (Salm, 1977). Die viskose Poisson-Zahl wird bei der oben erwähnten Transformation der Strain Rate Komponenten vom Hohlkörper auf den Vollkörper benötigt. Es wird jedoch gezeigt, daß die viskose Poisson-Zahl das Fließgesetz kaum beeinflusst (Ambach and Eisner, 1986).
- Die Berechnung der Strain Rate der Scherung aus der Neigungsänderung der Schachtachse (Eisner et al., 1984a).
- Der Ansatz, daß für die Spannungsabhängigkeit der deviatorischen Strain Rate Komponenten bei Schnee und Eis derselbe Exponent im Fließgesetz gilt und dieser unabhängig von der Dichte des Firns ist (Ambach and Eisner, 1986; Mellor, 1975, p. 274, Fig. 16).

Als Ergebnis erhält man ein nichtlineares Fließgesetz für temperierten Firn im Bereich $2 \leq \rho^* \leq 16$ in der Form

$$\dot{\epsilon}_{ij} = D(\rho^*) \tau_{eff}^2 \sigma'_{ij} + 1/3 H(\rho^*) I_1 \delta_{ij} \quad (8)$$

$$D(\rho^*) = A + D_1 \exp(-d_1 \rho^*) + D_2 \exp(-d_2 \rho^*) \quad (9)$$

$$H(\rho^*) = H_1 \exp(-h_1 \rho^*) + H_2 \exp(-h_2 \rho^*) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} A &= 6.04 \times 10^{-15} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1}, \quad D_1 = 3.94 \times 10^{-10} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1} \\ D_2 &= 7.07 \times 10^{-13} \text{ kPa}^{-3} \text{ s}^{-1}, \quad d_1 = 2.071, \quad d_2 = 0.419 \\ H_1 &= 4.74 \times 10^{-11} \text{ kPa}^{-1} \text{ s}^{-1}, \quad H_2 = 9.64 \times 10^{-13} \text{ kPa}^{-1} \text{ s}^{-1} \\ h_1 &= 1.081, \quad h_2 = 0.131 \end{aligned}$$

d_1, d_2, h_1, h_2 sind dimensionslose Größen. Beim Übergang von Firn in Eis erhält man für $\rho^* \rightarrow \infty$ aus Gl. 8 das "Glensche Fließgesetz" in Komponentenform

$$\dot{\epsilon}_{ij} = A \tau_{eff}^2 \sigma'_{ij} \quad (11)$$

Die Konstante A ist für temperiertes Eis von mehreren Autoren numerisch bestimmt worden. Wegen des Einflusses des Wasser- und Schmutzgehaltes ergibt sich für A eine große natürliche Streubreite. Paterson (1981, p 39, Tab. 3.3) gibt eine Übersicht dieser Werte und empfiehlt für Eis bei 0°C als Mittelwert $A = 5,3 \times 10^{-15} \text{kPa}^{-3} \text{s}^{-1}$. Im Vergleich dazu liefert die vorliegende Untersuchung $A = 6,04 \times 10^{-15} \text{kPa}^{-3} \text{s}^{-1}$. In Anbetracht der großen Streuung der Werte in der Literatur liegt eine befriedigende numerische Übereinstimmung vor. Das "Glensche Fließgesetz" ergibt sich somit als Grenzfall des hier entwickelten Fließgesetzes für temperierten Firn.

Die Autoren danken der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Wien) für die finanzielle Unterstützung der Feldarbeiten, dem Bundesministerium für Inneres (Wien) für die Materialtransporte mit einem Hubschrauber und den Mitarbeitern bei den Feldarbeiten und der Auswertung der Meßdaten.

LISTE DER VERWENDETEN SYMBOLE

A	Materialkonstante
$D(\rho^*)$	Funktion im Fließgesetz
D_1, D_2, d_1, d_2	Materialkonstanten
$\dot{\epsilon}_{ij}, (\dot{\epsilon}'_{ij})$	Komponenten des strain rate tensors (Deviators)
$H(\rho^*)$	Funktion im Fließgesetz
H_1, H_2, h_1, h_2	Materialkonstanten
I_1	1. Invariante des Spannungstensors
J_1	1. Invariante des strain rate Tensors
δ_{ij}	Kronecker Symbol
ρ^*	Dimensionsloser Dichteparameter
ρ, ρ_{Eis}	Firndichte, Eisdichte
$\sigma_{ij}, (\sigma'_{ij})$	Komponenten des Spannungstensors (Deviators)
τ_{eff}	Effektive Spannung
	$2\tau_{eff}^2 = \sigma_{xx}^{\prime 2} + \sigma_{yy}^{\prime 2} + \sigma_{zz}^{\prime 2} + 2\tau_{xy}^2 + 2\tau_{xz}^2 + 2\tau_{yz}^2$

LITERATUR

- Ambach, W. und Eisner, H., 1985: Verformungsmessungen an einem Firnschacht. 1984-1985 Beiträge zur Wildbacherrosions- und Lawinenforschung ODC 116:384:971. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 156. Heft, 211-222, 1985
- Ambach, W. and Eisner, H., 1986: Proposal for a constitutive equation of temperate firn. Cold Regions Science and Technology, 13, 1-9, 1986
- Bader, H., Hansen, J.H., Joseph, J.H. and Sandgren, M.A., 1951: Preliminary investigations of some physical properties of snow. SIPRE Report 7.
- Eisner, H. and Ambach, W., 1981: Strain rate measurements on a 20 m deep firn pit in a temperate glacier (Kesselwandferner Ötztal Alps 1967-1978). Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 17/1, 169-176, 1981
- Eisner, H., Ambach, W. and Schneider, H., 1984a: Time Dependent Tilt of a 20 m Deep Firn Pit. Polarforschung 54(2), 85-93, 1984
- Eisner, H., Ambach, W. and Schneider, H., 1984b: Evaluation of strain rate measurements on a 20 m deep firn pit. Applying a Newtonian Model (Kesselwandferner, Ötztal Alps, 1967-1987). Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 20, 169-176, 1984
- Mellor, M., 1975: A review of basic snow mechanics. International Association of Hydrological Sciences Publication 114 (Symposium of Grindelwald 1974-Snow Mechanics), 251-291, 1975
- Nye, J.F., 1965: The flow of a glacier in a channel of rectangular, elliptic or parabolic cross-section. Journal of Glaciology Vol. 5, No. 41, 661-690, 1965
- Paterson, W.S.B., 1981: The Physics of Glaciers, 2nd Ed., Pergamon Press, Oxford, 1981
- Salm, 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 University, Institute of low temperature Science, 857-874
- Schneider, H., 1970: Die Grundlagen der Vermessungen am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) und die Bewegung dieses Gletschers in den Haushaltsjahren 1965/66, 1966/67, 1967/68. Diss. Phil. Fak. Universität Innsbruck, 1970

V . W I L D B A C H - U N D
L A W I N E N V E R B A U U N G

BEDLOAD MANAGEMENT ON TORRENT CONTROL BY
FUNCTIONAL CHECK DAMS

GESCHIEBEBEWIRTSCHAFTUNG IN DER WILDBACHVERBAUUNG
DURCH FUNKTIONELLE SPERRENBAUWERKE

by

Dr. Gernot Fiebiger

AUSTRIAN FORESTTECHNICAL SERVICE
ON TORRENT AND AVALANCHE CONTROL

SALZBURG AUSTRIA

SUMMARY

A modern dynamic debris management requests various functions of torrent control constructions. Functional check dams are described according to function and construction. The former experience demonstrates, that the special types of check dams respectively their combinations satisfactory fulfill the functions taken as a basis. The oblique gratings against wood are superior the verticals. In contrary to the oblique respectively crestfallen structural members even small wood sticks in the vertical beams and decreases the effect of debris sizing. There is little experience on separated debris flow breakers and in check dams integrated mudflow deviders and wedges.

The dosing of debris depends on the water-debris ratio and the gravel distributions. Therefor needs the constructions of debris-dosing dams a well founded planning on researchs and should the occasion arise model experiments.

Water-dosing dams allow us to control the medium of transport of debris. Requirement therefor is the existence of enough large reservoirs in front of the erosion track. These types of contruction are the quintessence of debris management, because by making the medium of transport and its dosing to a harmless dimension the transported medium (= debris) is of secondary importance.

Finally it will be mentioned, that an uncontrolled transformation of types of check dams and special constructions is impossible. Each type of check dam must be developed on the individual characteristics of a debris management unit which is identical with a watershed. This means that the type of construction is the result of the analysis of the special basin and its developed interrelations and debris dynamics.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der in einer modernen dynamischen Geschiebebewirtschaftung von Wildbachsperrern geforderten verschiedenen Funktionen werden funktionsbezogene Wildbachsperrern in Bezug auf Funktion und Konstruktion beschrieben.

Die bisherigen Erfahrungen zeigten, daß die den einzelnen Sperrentypen bzw. Typenkombinationen zugrundegelegten Funktionen von diesen zufriedenstellend erfüllt werden. Die schrägen Unholzroste erwiesen sich den vertikalen Balkenfeldern überlegen. Im Gegensatz zu den schrägen bzw. geknickten Bauteilen bleibt an den Balken auch kleines Holz hängen, das sich später nur schwer wieder löst und den Sortiereffekt dadurch verhindert. Für isolierte Murbrecher und in die Sperren integrierte Murteiler und Murkeile liegen noch zu geringe Erfahrungen vor. Da die Geschiebedosierung vom Wasser-Geschiebeverhältnis und von der Kornverteilung abhängig ist, bedarf die Errichtung von Geschiebedosieranlagen einer gut fundierten, auf entsprechende Untersuchungen und eventuelle Modellversuche abgestützte Planungen.

Wasserdosieranlagen lassen uns das Transportmittel des Geschiebes beherrschen. Voraussetzung dafür ist jedoch das Vorhandensein genügend großer Stauräume vor den Erosionsstrecken. Man kann diese Bautypen als die Quintessenz der Geschiebebewirtschaftung bezeichnen, da durch Beherrschung des Transportmittels und dessen Dosierung auf ein unschädliches Ausmaß das zu transportierende Medium zweitrangig wird.

Abschließend sei erwähnt, daß ein unkontrolliertes Übertragen von Sperrentypen und Sonderbauwerken nicht möglich ist, da jede Bautype für die individuelle Charakteristik einer Geschiebepbewirtschaftungseinheit (= Wildbacheinzugsgebiet) entwickelt werden muß, daß heißt die Bautype ist das Ergebnis der Analyse eines speziellen Einzugsgebietes und der sich darin entwickelten Wechselbeziehungen und Geschiebedynamik.

INTRODUCTION

Torrent disasters and developements are seen the more dynamically. The analysis of their multiple factorial complex led at the beginning seventies to a change in thinking and new orientation on the construction and planning of torrent check dams. The preliminaries for that developement were the modern technologies and methods in concret and steel constructions. In the beginning was the knowledge that only a small portion of the bedload could not be transported by the receiving stream. This part of the sediment discharge for itself insignificant is the reason of the most of our torrent disasters. The functions of the older constructed check dams are consolidation and retaining. The large deposit dams are aggradated by regular sediment transport or the first larger and/or mean disaster. By that the effects were served. The preeliminated function to the disaster will not be fulfilled and the management of bedload and/or debris will not be possible. Often the storage capacity were not corresponding to the disaster potential of the torrents for that were floods and debris flows not prevented only deminished.

The torrent engineer has the problem to prevent the disasters without disturbing the regular bedload transport. That means to maintain the bedload discharge for the stability of the downstream course and the receiving stream. Check dams with a small influence in the torrent system have to be developed because they will not disturb the bedload discharge and will be in function at the disaster (STAUDER 1972a 1972 b).

Then check dams correspond to the demand of a modern up to date bedload management and an analytical and dynamic view of the mountainous watersheds.

Before discussing the types of check dams their related functions will be discribed.

PRINCIPLES OF BEDLOAD MANAGEMENT

Stabilizing: Fixation of torrent bed in a wanted level to stop and/or prevent depth erosion

Consolidating: Elevating of torrent bed to support and/or prevent slides and slopes

Sorting: Filtrations and/or storage of undesirable bedload components during a flood (KETTL 1972).

Bedload Sizing: Filtration and storage the large pieces of bedload during a flood or debris flow

Wood grading: Filtration of undesirable wood during a flood

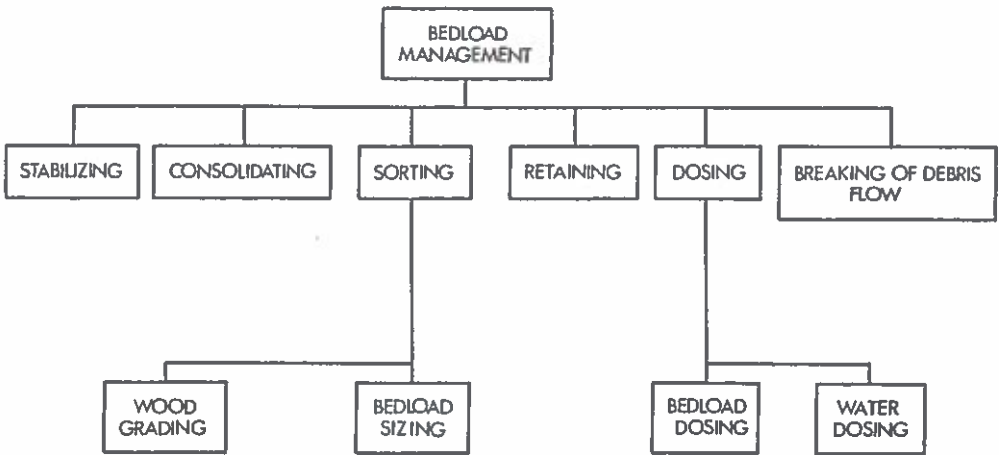


Fig. 1: Bedload management principles

Abb. 1: Prinzipien der Geschiebemanagement

Retaining: Storage and deposition of bedload until aggradation the retention capacity

Dosing: Parting of a large mass in small amounts (KETTL 1984)

Bedload dosing: Quantitatively dosing transport of intermediate stored bedload by declining floods and mean waters (OBLAGGER 1972).

Water dosing: Quantitative change of the water discharge by qualitative change the hydrograph at a specified point (KETTL 1972).

Breaking of debris flow: Declining the high energy level of a debris flow to a lower level under particular energy change.

The more the development goes on the more check dams were constructed with multiple functions as consolidating and sorting or retaining and dosing and so on.

CHECK DAMS TYPES RELATED TO THEIR FUNCTION.

The usual types of check dams like sills, bed sills, consolidation dams, retention dams and deposit dams (LEYS 1973) will be exchanged of the discussion. This types are no new development and this status of knowledge can be taken for granted. Only some new types of check dams will be discussed without demand for completeness.

Sorting dams: The considerable sorting effect will be only possible on the condition of enough storage capacity and water for spilling.

Bedload sorting dams: The large components of bedload have to be aggregated backwater of the check dam and the openings should not be closed by wood. The storage capacity of the check dam has to be the same volume as the disaster potential.

Wood screens and gratings: These check dams have the function of wood grading. The bedload transport should not prevented. In combination of function on check dams with a significant wood transport are the openings protected from closing by gratings built in front. The declined gratings are to prefer to the verticals. It is shown on some new developements that crestfallen gratings promote the uprolling of wood.

Dosing dams: The check dam has to be through flown unchecked by the mean discharge.

Bedload dosing dam: During floods the means of bedload will be reduced and the intermediate storage must be possible. In theory the complete graving weave will be spent downstreams after temporary storage and deposite.

Flow (flood) dosing dam: The main condition is the exist of enough storage capacity to raise the difference between tributary and discharge. This demand is the reason that original flow dosing dams cannot be constructed very often. The dosing function will be often only a cutting of the extreme peaks of the flood hydrograph.

Debris flow breakers: The desirable function can be reached on two ways. The first is to built up a massive structure. The second is a combination with a sorting dam to diminish the energy of impact. This is the regular construction.

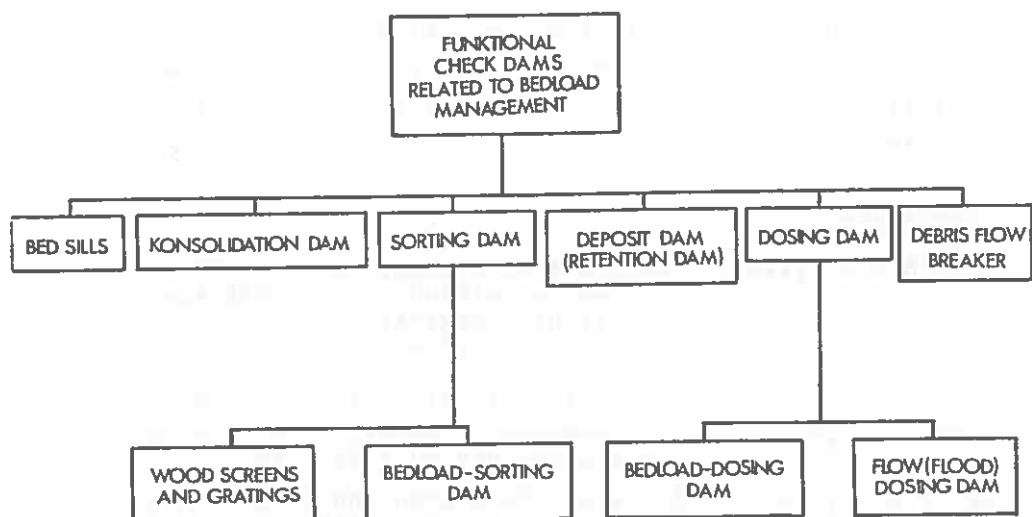


Fig. 2: System of functional check dams related to bedload management

Abb. 2: Systematik für die Geschiebemanagement geeigneter funktionsbezogener Wildbachsperren

Combined (bifunctional) dams: According to the possibility of combination bifunctional check dams are developed. The frequent types are combination of consolidation and sorting dams, consolidation and dosing dams, sorting dams with wood gratings and sorting dams with debris flow breakers. The high economic promotes this types of check dams in future.

CONSTRUCTIONS AND STATICS OF FUNCTION RELATED CHECK DAMS.

In contrary to the usual dam construction the geometry, construction and static system is a result of the imported functions. The variety and the different constructive design of the function related check dams like slits, large openings, open crests, wood screens, crestfallen gratings, armoured structures, debris flow breakers, debris flow dividers and so on could be done only by the modern technologies of concrete-, armoured concrete-, steel- and ground engineering. On the side of the statics the function related check dams are a

combination of various systems and calculation methods. The engineer needs more knowledge of civil engineering specified in statics systems, beams, plates, earth dams with concrete core and so on.

Literature:

- FIEBIGER G. (1984): Funktionelle Bautypen der Wildbach- und Lawinenverbauung als Grundlage der Geschiebemanagement
INTERPRAEVENT 1984 Bd. 1 Seite 123-134
Forschungsgesellschaft f. vorbeugende Hochwasserbekämpfung Villach 1984
- KETTL W. (1973): Sortierwerke im Pongau: Theorien und Erfahrungen WLW 37 1,15 - 23
- KETTL W. (1984): Dosieren, Sortieren und Brechen von Muren. In 100 Jahre Wildbachverbauung in Österreich 1884 - 1984. Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft 1984 Seite 205 - 209
- LEYS E. (1973): Vorschläge für die Systemeinteilung der Quer- und der Längsbauten in der Wildbachverbauung WLW 37; 2; 43 - 60
- STAUDERS S. (1972 a): Verschiedene Konstruktionen von Balkensperren in: Kolloquium über Wildbachsperren Mitt. d. FBVA Wien Bd. 102; 335 - 372 Agrarverlag Wien 1973
- STAUDERS S. (1972 a): Balkensperren im Zillertal WLW 36, 1; 1 - 45
- OBLAGGER G. (1972): Retendieren, Dosieren und Sortieren. In: Kolloquium über Wildbachsperren Mitt. d. FBVA Wien Bd. 102; 335 - 372 Agrarverlag Wien 1973
- Adress of author: Dipl.-Ing. Dr. Gernot Fiebiger
Foresttechnical Service on
Torrent & Avalanche Control
Construction District Salzburg & Hallein
Paracelsusstr. 4
A-5027 Salzburg AUSTRIA

OFFENE UND VERFORMBARE WILDBACHSPERREN AUS STAHL

von

Gottfried Kronfellner-Kraus
Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien
Österreich

EINLEITUNG

In der Wildbachverbauung wird Stahl seit je für besonders beanspruchte Bauteile gebraucht. Seine Verwendung ist aber auch für spezielle Sperrentypen sinnvoll und wirtschaftlich, wenn seine großen Materialfestigkeiten konstruktiv voll ausgenützt werden. Dies ist vor allem bei offenen und verformbaren Wildbachsperrern der Fall.

Bei den heute üblichen mehr oder weniger offenen Entleerungssperren in Mauerwerk oder Beton bestehen vor allem die zentralen Rechen-, Balken- oder Gitterroste sowie Panzerungen aus Stahl. Diese Roste und Panzerungen stellen jedoch meistens zusätzliche Bauteile dar, oder sie übertragen Lasten auf andere, entsprechend zu verstärkende Sperrenglieder (auf Sperrenflügel, Pfeiler, etc.). Bei den bergseitigen, sogenannten Schrägrosten besteht außerdem die Gefahr, daß aufschwimmendes Wildholz über die Sperrenkronen in das Unterwasser gelangt (KETTL 1973, 1984, ZOLLINGER 1984, 1986).

Wenn große Gebirgsdrucke und Bodenbewegungen auftreten sind Gliedersperren gebräuchlich, deren Teile aneinander vorbeigeschoben werden können (KRONFELLNER-KRAUS 1974, OFNER 1977). Erfahrungsgemäß sind aber Gebirgsdrucke eher in der Falllinie der Hänge, oder noch stärker talwärts oder überhaupt anders als senkrecht zum Bach gerichtet. Bei gegliederten Sperren besteht daher die Gefahr, daß die einzelnen Teile auseinander geschoben werden, und daß es dann zu Erosionen kommen kann.

Alle zusätzlichen Bauteile, angebaute Roste und Überlappungen bei Gliedersperren, bringen Mehrkosten mit sich. Der Autor hat bereits an anderen Stellen ausführlich über die in Zusammenarbeit mit dem Voest-Alpine-Werk in Zeltweg entwickelten Stahlsperren berichtet, die im Verein mit dem praktischen Verbauungsdienst im Kirchbachgraben in Kärnten und Dürnbach, Land Salzburg, eingesetzt wurden (KRONFELLNER-KRAUS 1970, 1972). Inzwischen sind weitere Sperren im Dürnbach und Hopfgartnerbach/Osttirol hinzugekommen (KRONFELLNER-KRAUS 1982, 1985, FUSSEK 1985). Im folgenden soll kurz über bisherige Betriebserfahrungen berichtet werden.

GITTERSPERREN

Eine größere Wirtschaftlichkeit offener Sperren kann erreicht werden, wenn die gesamte Sperrenkonstruktion nur aus dem statisch unbedingt erforderlichen Rost besteht und auftretende Lasten von diesem direkt auf Bachsohle und seitliche Ufer übertragen werden. Bei den in Wildbächen vorherrschenden Spannweiten ist dazu meistens ein fachwerksmäßig ausgebildeter Trägerrost erforderlich. Man erreicht die größte Offenheit bei kleinsten Materialverbrauch dann, wenn diese Fachwerksträger nur in der Bachrichtung ausgebildet sind, sodaß die Durchströmquerschnitte von Verstrebungen frei bleiben. Die relativ großen Öffnungen können je nach Bedarf durch weitere Stäbe verkleinert oder auch geschlossen werden.

Bei den sog. Gitterrost-Sperren sind die einzelnen Roststäbe zu einem räumlich wirkenden Trägerrost fest miteinander verbunden. Die vertikalen Roststäbe sind am Fußende noch verbreitert, um mit Hilfe einer Steinauflage die Stabilität zu erhöhen. Die Abstände der horizontalen Roststäbe voneinander sind im unteren Bereich kleiner als im oberen Bereich, und zwar verkehrt proportional zu der nach unten auswachsenden Belastung. Damit wird erreicht, daß das Werk im unteren Teil schneller verlandet, sich dadurch die Stabilität des Werkes durch eine Geschiebeauflage erhöht und der obere Teil für das Auffangen von Wildholz und Grobgeschiebe länger frei bleibt.

Die Gitterrostsperre im Kirchbachgraben/Kärnten ist in einem Felsprofil verankert und konnte über die gesamte Profilsfläche offen, dh. durchströmbar bleiben. Sie verlandete bei Hochwässern einmal zur Hälfte und, nach einer inzwischen erfolgten Freilegung und Spülung, im Jahre 1983 zur Gänze. Dabei wurden auch alle sechs obersten je 4,4 m² großen Öffnungen und die ansteigenden Flügelkonstruktionen vollkommen mit Wildholz verlegt. Diese Betriebserfahrung erhellt die bedeutende Rolle des Treibholzes hinsichtlich möglicher Verklausungen im Unterlauf (siehe Abb. 1).

Die Gitterrostsperre im Dürnbach/Salzburg ist in Rutschungsmaterialien fundiert. Um die Durchnässung und Erosion der seitlichen Einbindungen vorzubeugen wurden die Seitenflügel mit Verzugsblechen abgedichtet. Seitliche Gebirgsdrücke führten stellenweise zu einer starken Verformung einzelner Stäbe und zu einer merkbaren Verformung der gesamten Konstruktion. Die im Zentrum offene Sperre verlandete zunächst bis zur Hälfte. Ein Felssturz im Oberlauf im Jahre 1973 erforderte die Schließung der Sperre mit Rundhölzern um die zusätzlich angefallenen Geschiebemassen zu binden. Darauf verlandete die Sperre bald vollkommen. Die durch die Gebirgsdrücke verursachten Verformungen führten zur Schrägstellung einiger lotrechten Stäbe um 15 cm auf 4,5 m Höhe und zu Hebungen bzw. Senkungen im Ausmaß von 5,5 cm. Abgesehen von der großen Druck- und Zugfestigkeit ergeben die Verformbarkeit und die Belastungsmöglichkeit des Stahles im Bereich der Fließgrenze eine erhebliche Sicherheitsreserve, welche gerade bei den in Wildbächen möglichen zusätzlichen Belastungen von großer Bedeutung ist.

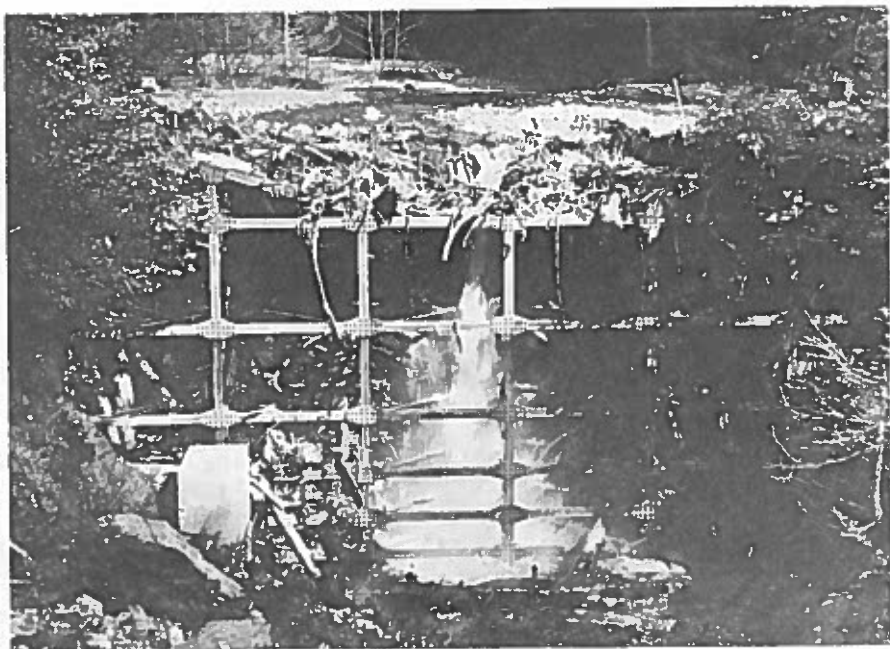


Abb. 1: Die mit Wildholz verklauste und verlandete Gitterrostsperre im Kirchbachgraben in Kärnten



Abb. 2: Reihenkorbschwelle im Dürnbach, Oberpinzgau, Salzburg

Der wirtschaftliche Anwendungsbereich von Gitterrostsperrern, welche quasi plattenartig in Bachsohle und in seitliche Einbindungen verankert sind, wird mit zunehmender Spannweite begrenzt. Um für breitere Querprofile bei stärkeren Bodenbewegungen über noch flexiblere Bautypen zu verfügen, wurden, wieder in Zusammenarbeit mit dem Voest-Alpine-Werk in Zeltweg, eine weitere Bautype in Form von quer zur Bachrichtung aneinander gestellter Stahlkörbe geschaffen.

KORBREIHENBAUWEISE

Um ungewollte Öffnungen zwischen Sperrengliedern auszuschießen, wurde nach Konstruktionen gesucht, die auch bei stärkeren Bodenbewegungen in Verbindung bleiben. Auch für solche, notwendigerweise stark verformbare Wildbachsperrern, die zusammengepreßt, gestreckt und diagonal verschoben werden können, bieten sich Stahlkonstruktionen an und zwar mit bogenförmigen Profilstäben, die sich im Berg- und Tunnelbau gegen den früher üblichen Holzausbau bewährt und durchgesetzt haben. Es handelt sich dabei um sog. Streckenbögen mit Hutprofilen, die serienmäßig mit drei- oder vierteiligen Regelformen erzeugt werden. Die Verbindungen der einzelnen Bogenstücke bestehen aus kräftigen Bügelschrauben mit Laschen und Muttern.

In der einfachsten Art werden zwei oder mehrere waagrechte Streckenbogen-Kreisringe mit lotrechten Streckenverzügen zu stehenden Säulen zusammengefügt. Die lotrecht oder etwas bergwärts geneigt stehenden Säulen werden dann mit liegenden Bodenrosten zu füllbaren Körben ausgestaltet. Sie ergeben, senkrecht zur Bachrichtung aneinander gereiht, Korbreihen-Querwerke (siehe Abb. 2).

Mit Geschiebe und Feststoffen gefüllt, wird die Standfestigkeit durch die Gewichtswirkung erreicht. Infolge der hohen Zugfestigkeit ist zum Zusammenhalt und Umschnürung der vollen Korbfüllung an sich nur ein geringer Stahlquerschnitt erforderlich. Stärkere Konstruktionen sind zur Erreichung der Biegesteifigkeit und zur Verankerung im Boden nötig. Bei größeren Sperrhöhen werden die gemeinsamen Seitenwände zweier nebeneinander stehender Körbe zu Fachwerkträgern, in der für Gewichtssperren erforderlichen Breite, ausgebildet. An diesen lotrechten Fachwerkscheiben sind die waagrechten Streckenbögen als berg- und talseitige Korbwandelemente montiert. Um bei einer anfänglich offenen Sperre die natürliche Verlandung bei geschiefbeführenden Hochwässern zu erleichtern, werden die Gitterweiten der Talseiten enger als die der Bergseiten gehalten. Die weitere Verengung des an sich weitmaschigen konstruktiven Gitters erfolgt durch Einschieben von Streckenverzügen oder Rundhölzern.

Die als Gewichtsmauer wirkende Reihenkorbsperre ist prinzipiell in beliebiger Breite einsetzbar. Im Dürnbach



Abb. 3: Reihenkorbsperre im Dürnbach im Oberpinzgau, Salzburg im halbverlandeten Zustand



Abb. 4: Die Reihenkorbsperre im Hopfgartnerbach, Osttirol,
mit Lawinenablagerungen im Stauration

wurde projektsgemäß eine gegliederte Bauweise gewählt. Nur der zentrale Teil in der Abflußsektion wurde als komprimierbare Reihenkorb Sperre und die Sperrenflügel als Gewichtsmauern in Beton mit Trapezprofil ausgeführt. Die Sperrenabmessungen zwischen den Betonflügeln betragen für die Stahlkorbreihen 10,50 Meter Breite und etwa 7,0 Meter Höhe (Abb.3).

Im Talzuschubsbereich des sehr steilen Hopfgartnerbaches in Osttirol kam noch eine größere Reihenkorb Sperre mit einer Gesamthöhe von 12,6 Meter und einer Spannweite von 35 Meter zur Ausführung. Sie entspricht der erwähnten Dürnbach Sperre, ist ganz aus Stahl, doch war infolge der größeren Höhe eine bergseitige Verbreiterung des Sperrenquerschnittes bzw. der lotrechten Fachwerksscheiben in der Art von Winkelstützmauern erforderlich. Die Sperre steht in einem Felsprofil, sodaß der Bodenrost entbehrlich war. Die lotrechten Fachwerksscheiben sind mit Felsankern in dem anstehenden aber stark zerklüfteten Fels verankert, und zwar sowohl von den vorderen über die ganze Höhe durchlaufenden vertikalen Fachwerksscheiben, als auch von den bergseitigen Verbreiterungen aus.

In dem sehr steilen Hopfgartnerbach sind Muren und Lawinen häufig und dynamische Beanspruchungen groß. Eine natürliche Verlandung konnte weder riskiert noch abgewartet werden. Die Körbe wurden deshalb, bei Weglassung der rückseitigen Korbwände, künstlich gefüllt. Die Sperre wurde bereits von Muren und Lawinen ohne Schäden überströmt. Eine Kontrolle der Deformationen, sowohl bei den Einbindungen als auch der gesamten Sperre selbst, ist im Gange (Abb. 4).

Stahlsperren werden nach den üblichen Regeln und Belastungsannahmen für Wildbachsperren dimensioniert. Wenn sie als Kastenbauten mit Material gefüllt und hinterfüllt sind, genügt die Berechnung gegen Erddruck ($\gamma = 0,3 - 0,6 \text{ t/m}^3$). Sonst wird, wegen der möglichen Verlegung mit Wildholz über die ganze Sperrenhöhe, für die Berechnung Wasserdruck oder Schlammdruck ($\gamma = 1,0 - 1,5 \text{ t/m}^3$) angenommen, - wenn nötig auch Murendruck (etwa 1,5 bis 3,0 mal größer als Wasserdruck). Murbrecher aus Stahl wurden in Österreich noch nicht, wohl aber in Japan gebaut. Der Korrosion wirkt man durch die Verwendung rostträger Stähle oder mit stärkeren Querschnitten entgegen. Man muß aber bei Variantenstudien bedenken, daß auch Betonsperren in Wildbächen einer oft raschen Abnutzung unterliegen.

DISKUSSION

Wie die dargestellten Untersuchungen und die bisherigen bis zu 17-jährigen Betriebserfahrungen zeigen, bieten Stahlsperren zusätzliche Möglichkeiten und Vorteile, die mit anderen Materialien nicht in gleichem Maße erfüllbar sind.

Als offene Entleerungssperren kann man mit Gittersperren

aus Stahl die größte Offenheit bei kleinsten Materialverbrauch erreichen. Dies ist vor allem dann vorteilhaft, wenn Grobgeschiebe- und Wildholzfänger vor allem nur bei größeren Ereignissen in Funktion treten sollen und ansonsten die Spülwirkung möglichst lange erhalten bleibt.

Als Konsolidierungssperren stellen Kasten- oder Korb-reihensperren aus Stahl flexible Bautypen dar, die auch bei stärkeren Bodenbewegungen in Zusammenhang und daher voll in Funktion bleiben. Diese Werke sind besonders dann wirtschaftlich, wenn die Füllung dem natürlichen Geschiebetrieb überlassen werden kann.

Alle errichteten Stahlbauten haben den bisherigen Beanspruchungen standgehalten und die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt. Auch die offensten Konstruktionen sind bei Hochwässern natürlich verlandet, vor allem durch Verlegung der Öffnungen mit Wildholz. Im Dürnbach waren die größten Öffnungen etwa $0,5 \text{ m}^2$, bei der Gitterrostsperre im Kirchbachgraben in Kärnten sogar $4,4 \text{ m}^2$. Die Räumung der verlegten Gitter macht keine besonderen Probleme. Die Beseitigung des aussortierten sperrigen Materials ist, unabhängig von der Sperrtype, schwieriger.

Die theoretisch und praktisch schwer zu beherrschende Wildholzfrage sollte vor allem nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt werden. Die beim Bau der Stahlsperren ermittelten Material-, Leistungs- und Kostenwerte ermöglichen nunmehr auch genauere Vorkalkulationen und Variantenstudien. Da die Konstruktionsstärken und damit auch die umbauten Räume, der an verschiedenen Orten zu möglicherweise verschiedenen Zwecken errichteten Sperren, sehr stark voneinander abweichen können, ist für Vergleichszwecke ein Bezug auf eine Volumseinheit weniger geeignet. Man wird daher für Variantenstudien, beim Vergleich mit anderen Bautypen bzw. Kostenermittlungen, alle Aufwendungen direkt auf die zu sperrende Profilsfläche beziehen.

Vergleichsweise sind offene und flexible, deformierbare Stahlsperren zwar aufwendiger als konventionelle, auf Erd- und Wasserdruck bemessene Konsolidierungssperren aber kostengleich mit auf Wasserdruck berechneten Geschiebestausperren aus unbewehrten Beton oder Mauerwerk. Sie sind jedoch kostengünstiger als die gegen Talzuschub notwendigerweise stark armierten oder gegliederten Stahlbetonsperren.

Durch Verwendung handels- und im Bergbau üblicher Streckenbögen, sowie durch Vorfertigung, wurden Prototypen geschaffen, die bei größeren Katastrophen auch von ungelerten Arbeitskräften schnell eingebaut werden können.

Stahlsperren fügen sich im verlandeten Zustand auch gut in das Landschaftsbild ein, denn sie sind weniger auffällig als Betonsperren. Sie bieten überdies auch die Möglichkeit einer dauerhafteren, kombinierten Stahl-Holz-Verwendung als Alternative zu den anfälligeren, kurzlebigeren reinen Holz-Steinkastenbauten.

ZUSAMMENFASSUNG

Anschließend an früheren, ausführlichen Publikationen wird über die, bis zu 17-jährigen Betriebserfahrungen mit Wildbachsperrn aus Stahl berichtet. Diese sind vor allem dann zweckmäßig und wirtschaftlich, wenn die besonderen Materialeigenschaften konstruktiv voll ausgenützt werden können. Dies ist vor allem der Fall

- bei möglichst offenen und daher gut spülbaren Gittersperren, sowie
- bei ebenfalls offenen, jedoch stark verformbaren Reihenkorbperren, die bei Hochwässern selbsttätig mit Geschiebe gefüllt werden können.

Alle bisher errichteten Stahlsperren sind voll in Funktion getreten und haben die in sie gestellten Erwartungen voll erfüllt. Auch die größten Öffnungen wurden durch Wildholz geschlossen. Neben Grobgeschiebe ist vor allem das Treibholz bedeutsam, aber auch beherrschbar geworden. Weitere Vorteile bestehen in der Möglichkeit der Vorfertigung, Lagerhaltung und Einsatz im Katastrophenfall auch durch ungelernnte Hilfskräfte, der leichteren Wasserhaltung und der Bekämpfung der Winterarbeitslosigkeit. Auch hinsichtlich des Naturschutzes sind sie günstig zu beurteilen, weil sie weniger auffällig sind als etwa die weithin leuchtenden hellen Betonsperren.

SUMMARY

The report summarizes up to seventeen years experience with steel check dams subsequent to former more detailed publications. Steel check dams are most expedient if it is possible to utilize the particular constructional qualities of steel entirely. This is particularly the case in constructions

- which are open as much as possible, permeable and therefore easily flushable and in the case of
- large extensive flexible dams which can be filled naturally with bed load and debris during floods.

All steel check dams built up to now have functioned well and have fulfilled the set expectations. Also the biggest openings were blocked by wood debris. The drift wood, which besides bedload and boulders is very dangerous, has also become controllable. Other advantages include: the possibility of prefabrication, stocking, use in cases of catastrophies with uneducated workers, a facilitated dewatering (of excavations), and a measure against unemployment during winter time. The steel check dams should also be judged positively regarding the preservation of natural beauty because they are less conspicuous than the sunlight and the more visible concrete dams.

SCHRIFTTUM

- Fussek, G., 1985: Stahlbau in der Kulturtechnik. Österr. Stahlbautag 1985 in Bregenz, Stahlbaurundschau 65, S. 23.
- Kettl, G., 1973: Sortierwerke im Pongau: Theorien und Erfahrungen. Wildbach- und Lawinenverbau, 37, 2, 15-23.
- 1984: Vom Verbaungsziel zur Bautypenentwicklung - Wildbachverbauung im Umbruch. Wildbach- und Lawinenverbau, 48. Jhg., Sonderheft Juni, 61-98.
- Kronfellner-Kraus, G., 1970: Über offene Wildbachsperrern, Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Heft 88, 7-76.
- 1970: Wildholz- und Grobgeschiebefänger in Wildbächen. Informationsdienst der FBVA, 128. Folge, in der Allg. Forstzeitung, September.
 - 1972: Neue Bauweisen in der Wildbach- und Lawinenverbauung in internationaler Sicht. Obl. für das ges. Forstwesen 89, 1, 33-57.
 - 1974: Die Wildbacherosion im allgemeinen und der Talzuschub im besonderen. In: 100 Jahre Forstl. Bundesvers. Anst. Wien, 309-342.
 - 1982: Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen. Österr. Wasserwirtschaft, Heft 1/2, 12-21.
 - 1985: Measurements and Control of Deep-Seated Landslides (Mass-Movements) in Austria. Proc. IVth Intern. Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, 93-98.
- Ofner, G., 1977: Schadensursachen Talzuschub. Wildbach- und Lawinenverbau, 41/1, 39-42.
- Zollinger, F., 1984: Die verschiedenen Funktionen von Geschieberückhaltebauwerken. Intern. Symp. Interpraevent Villach, Tagungspubl., Bd. 1, 147-160.
- 1986: Form und Volumen von Geschiebeablagerungsplätzen. Wasser, Energie und Luft, 78. Jhg., 7/8, 145-150.

THE PRACTICE OF THE FOUNDATION BY BLAST BOLTS USED IN AVALANCHE CONTROL.

Dragosits Friedrich

Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung,
Gebietsbauleitung Außerfern, Reutte/Tirol

In the avalanche control in the Tyrol blast bolts have been used since 1976. The paper gives a report on this method, which has been practiced for ten years now and has brought substantial progress in avalanche control.

The reason for the development of the blast bolt method was the insufficiency of the practiced anchor methods. Two different types of anchors were used for compact, rocky material and for loose underground. The anchors for rocky material were steel bars, cemented into the rock. The anchors for loose underground were steel grates, which were dug into the ground and filled with material. The disadvantages of these anchors are:

In loose material exists the danger of drawing out the anchors and destroying the snow bridges, especially in winters with no frozen underground and extreme snow sliding. In loose, cohesionless underground a large excavation is needed; the excavated material must be deposited very carefully on steep slopes before it is refilled into the foundation. These anchors and the excavations are expensive. The connections from the anchors to the snow bridges for loose material, rocky material, for the different sliding coefficients and for the different types of snow bridges are different; therefore a large and expensive stock is necessary and big difficulties in the combination of different types of bridges are the result.

According to Hanausek (1984) the applicability of the blast bolt anchors for avalanche control was recognized by Bruno Eliskases, Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern, Tyrol. B. Eliskases adapted the blast bolt system to the requirements of the snow bridge foundation and developed the constructive details. He managed to elaborate one type of anchor for different snow heights and different types of underground. Thus the amount of work and costs was reduced considerably and a good static safety was achieved, as was revealed by ten years of application.

The developing of the blast bolt method was based on measurements of the fundamental forces by using measure wires and measure cones on measure abutments on the Heuberg-avalanche, Häselgehr, Tyrol. 19 measurements on 2 4-m snow bridges during the winters 1966/67, 1967/68 and 1968/69 revealed maximal tensile forces of 54.5 KN in the tensile anchors; 25 measurements on 2 3-m snow bridges during the same time showed maximal drawing forces of 31.3 KN. These forces are relatively small, are quite equal to the snow pressure calculations (ESLF) and encouraged the testing of blast bolts.

In the years 1975, 1976, 1978 and 1981 tensile tests with blast bolts were made. Unfortunately the measure protocols of the years 1975 and 1976 are not available, whereas

there are exact measure protocols from the years 1978 and 1981. The measurements were made in different undergrounds and different foundation depths. According to Eliskases and Dragosits (1981), the minimal ultimate load (drawing in the direction of the anchor) was 60 KN (length of the anchor 1.3m, foundation depth 1.9 m below the ground surface). Using anchor depths adapted to the underground, the average tensile force was above 100 KN and therefore gave sufficient safety.

In the Tyrol approximately 15900 blast bolts were set from 1976 to 1985. 48 anchors were damaged by rupture of the anchor bars. The reason were overloading in combination to the use of a steel, which got brittle by electric welding at the transition from the anchor plate to the anchor bars. To avoid this rupture a warm rolled steel with guaranteed electric welding ability is used since 1984. On these anchors no ruptures occurred, as was shown by bending tests as well.

These 15900 anchors can be seen as a big experiment in practice and show that the blast bolt foundation is a sophisticated method of anchoring, even if some theoretical details of the statics are not or not sufficiently experienced. The experiment in practice shows, that the theoretical concerns dealt with by Klenkhart (1985) do not hold.

In the following the modern process of blast bolt setting is described:

Three different lengths of anchors are used: 1.30 m in rocky material; 1.60 m in heavy underground; 2.10 m in loose underground or rubble.

The anchor setting is carried out in the following steps:

1. Setting of the anchor tubes:

The two iron tubes with forged tops are driven into the underground according to the form of the anchor. The direction of the tubes must be as perpendicular to the slope as possible. The two tubes must be installed as parallel as possible to avoid difficulties when setting the anchor bars. For achieving exact distances and parallelism a pattern jig is successfully used.

In favourable case the tubes may be driven by hand with a heavy hammer. In heavy underground pneumatic hammers are used. In rubble or rocky material a hole must be drilled (diameter of the drill 1 mm bigger than the tube). When the tube hits a big stone it must be drawn out - this is easy to do because the tube bouncing at the stone widens the hole - afterwards the hole is drilled through the stone and the tube is inserted again. In extremely blocky material the drill often clamps, which can be avoided by putting a tube over the drill between the drilling bit and the pneumatic tool. Another possibility is to use a so called "Bodenrakete", a kind of pneumatic hammer.

2. Blasting of the holes:

The explosive charge is introduced into both anchor tubes, normally 30 - 40 g Gelatine-Donarit (in Austria) are used. The amount depends on the underground. It is essential

to place the charge at the end of the tubes for blasting the hole as deep as possible under the surface. Then the charge is blasted electrically without sealing in both tubes at the same time. When blasting not at the same time the later blasting will fill the hole formed by the first. When the blasting was good, both holes are connected to form a big hole.

In not compact rock the blasting method respectively the blast bolts also proved to be a good method of foundation.

3. Filling in the anchor mortar:

In the beginning cement was used, later concrete (1 part cement, 1 part sand, water, plastificant admixture). Today industrial injection mortars are used, for example Rofix-Mörtel 995. The mortar is mixed with an electric or a pneumatic mixer. When this method was first used, the liquid mortar was poured in with a bucket. Today it is injected with a pneumatic pressure pump through a flexible pipe which is introduced into the depth of the hole and drawn out as the hole gets filled. This guarantees perfect filling without bubbles. The mortar is injected through the upper tube, until the mortar runs out from the lower tube. Generally 40 l mortar are needed for perfect filling. Usually the mortar sets a few centimeters, therefore repeated injections will be necessary until no more setting occurs. Sometimes it is not possible to fill the hole because the mortar runs into a big hole in the underground. In this case the tube must be cleaned with a stick and after a few minutes, when injected mortar is stiff, new mortar must be injected. In the case of too small holes, for example 5 l mortar, the weak concrete must be penetrated by a stick, and the hole must be blasted by a larger charge and then again concrete will be injected. When the two holes at the bottom of the tubes are connected as it should be, the mortar can be blown out very easily by compressed air.

An experienced worker is able to find out, how successful the blasting was by probing with a stick.

Concrete cubatures of more than 40 l do not increase force of the anchors.

4. Setting of the anchors:

The anchors are inserted into the tubes by heavy hammers or pneumatic hammers. It is absolutely necessary to strike the anchors to the full depth as required by the construction of the snowbridge. If this is not possible, the anchors must be drawn out (by a winch, a hydraulic lifting device). Afterwards the whole procedure of drilling, blasting etc. has to be repeated for setting a good anchor. If not possible, the snow bridge is to displace to one side and new anchors must be set.

By striking the anchor into the tubes the concrete is in most cases pushed a few centimeters into the tubes and a gap for water is formed between the tube and the anchor. This gap must be filled with concrete to avoid corrosion.

5. Installation of snow bridges:

The snow bridges should not be installed before at least one or two days after the placing of the anchors in order to prevent, that pushes, vibrations etc. disturb the process of setting.

The installation of snowbridges immediately after injecting the mortar, having the advantage that measuring inaccuracies can be corrected by moving the anchors, is certainly wrong.

Conclusion:

As a conclusion we can say that the foundation by blast bolts seems to be perfect. Certainly there will still be some minor improvements.

ABSTRACT The paper deals with the foundation by blast bolt used in avalanche control, developed by B.Eliskases, Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern, and brought up to date by practicing 10 years. The reasons for the development and the fundamentals of this method are described. The practice process of building in blast bolts is explained: The tricks found out by practicing many years are given.

Literature:

- Dragosits, F. & Eliskases, B. (1981) Interne Meßprotokolle und Aufschreibungen der Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern
- Hanausek, E. (1984) Entwicklung und Stand der Lawinenverbauung in Tirol. Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, Sonderheft 1984
- Klenkhart, C. (1985) Derzeit übliche Fundationsarten in der Lawinenstützverbauung in Vorarlberg, Tirol und der Schweiz. Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, Heft 101.

V I . I N T E G R I E R T E
M A S S N A H M E N

DIE BEURTEILUNG DES ÖKOSYSTEMS WILDBACH

GUSTAV ÜBLAGGER

Forsttechnischer Dienst für
Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Oberösterreich

Linz

ZUSAMMENFASSUNG

Die Einhaltung ökologischer Prinzipien wird das soziale und ökonomische Schicksal der Völker entscheiden. Das Bewußtsein darüber entstand zuerst dort, wo die natürlichen Grenzen menschlicher Raumnutzung eng und die Folgen eines nicht ökogerechten Handelns besonders gefährlich sind: in den europäischen Alpen.

Da der Wildbach ein wichtiger Bestandteil der alpinen Ökosysteme ist, wurde nach Modellen gesucht, die eine verstärkte Berücksichtigung ihrer Beziehungsgefüge erlauben. Dies soll die Erstellung von Prognosen insbesondere im Zusammenhang mit den drohenden Ökokatastrophen durch waldschädliche Luftverunreinigungen und Wildüberhege und die gezieltere Planung und Durchführung von Gegenmaßnahmen erleichtern. Auf die nur durch den großen zeitlichen Abstand der meteorologischen Auslösesituationen verschleierte Aufschaukelung in den positiven Rückkopplungen war hinzuweisen und ein der Planung besser zugänglicher Ökologiebegriff zu entwickeln.

SUMMARY

The observance of ecological principles will decide the social and economical fate of the nations. The consciousness on that point was first formed where the natural limits of human landuse are narrow and where the consequences of a non-ecology-oriented behaviour are particularly dangerous: in the european alps.

Since the torrent is an essential part of the alpine ecosystem, special models were looked for, which enable an intensified consideration of its relating system. This should facilitate the preparation of prognosis of feared ecodisasters caused by pollution damaging the forest and the overprotection of the game and should enable a special planning and execution of preventive measures. It had to be indicated that in the positive feed-backs the increasing accumulation in the direction of a disaster is only moderated due to the long intervals between the heavy rainfalls. However above all a ecoterm suitable for the planning had to be developed.

Bevölkerungsentwicklung und Technisierung haben die Berücksichtigung ökologischer Belange zur Überlebensfrage erhoben. Daß die Lage in den komplexen alpinen Ökosystemen, zu denen die Wildbachgebiete mit hervorragender Bedeutung gehören, besonders heikel ist, liegt in der Natur der Sache. Für die praktische und öffentlich durchsetzbare Planung war der Ökologiebegriff zu definieren und zu veranschaulichen. Es sei ergänzt, daß Definitionen in derartigen Zusammenhängen politische Wirkung haben und von existentieller Bedeutung sein können.

1. MENSCH UND ÖKOLOGISCHES SYSTEM

In Mitteleuropa gibt es keine natürlichen Ökosysteme mehr und naturnahe nur als Ausnahme. Der klassische Ökologiebegriff mit seinen Zielvorstellungen

- * Maximierung der Artenvielfalt und

- * Schutz der Individuen vor Katastrophen

löste deshalb nicht zu bewältigende Konflikte mit dem Planen und Handeln des Menschen aus. Der absolute Anspruch des klassischen Ökologiebegriffes führte zu einem immer weiteren Auseinanderklaffen der ökologischen Erfordernisse und der politischen Entscheidung und mündete praktisch in die rein verbale Behandlung oder schlichte Nichtbehandlung der Ökologie und schließlich in jene Umweltkatastrophe der wir uns heute gegenübersehen.

Mittlerweile beginnen die Versuche, den Ökologiebegriff für die Planung handhabbar zu machen (ÜBLAGGER, 1981), zu greifen. In erster Linie war dabei auf die nachhaltigen Bedürfnisse des Menschen Rücksicht zu nehmen. Da diese nachhaltigen Bedürfnisse des Menschen weithin deckungsgleich mit den herkömmlichen Zielvorstellungen der Ökologie (HAECKEL, 1866) sind, können sich Zielkonflikte lediglich auf den restlichen Sektor beziehen. Dieser ist immer noch bedeutend genug. Er bezieht sich auf jene Zusammenhänge, in denen ein Abgehen von den ökologischen Grundforderungen die Vitalität der menschlichen Population noch nicht schwächt. Tritt letzteres ein, soll auch nach dem neuen Ökologiebegriff eine negative Beurteilung platzgreifen.

Ist dies eine Konzession an die Permissivität?

Diese Frage ist mit einem klaren: "Nein!" zu beantworten.
Im folgenden die Gründe:

1.1 Die ökologische Beurteilung schreitet durch die Neufassung des Begriffes von der derzeit absoluten Momentaufnahme zu einem dynamischen Abwägungsprozeß fort. Sie wird deshalb komplizierter, aber bei weitem realistischer und für die Bevölkerung glaubwürdiger.

1.2 Glaubwürdiger für die Bevölkerung heißt in letzter Konsequenz: Politisch durchsetzbar. Derzeit besteht häufig eine unüberbrückbare Kluft zwischen dem absoluten ökologischen Anspruch (zumal er von den wenigsten konsequent formuliert werden kann) und dem Anspruch der

Bevölkerung, die eben die Ökosysteme seit Jahrtausenden entscheidend überprägt hat. Fällt dann die Entscheidung zugunsten des menschlichen Planens und Handelns, wird mit den unerfüllbaren absoluten ökologischen Zielen nur zu häufig auch der berechnete und unerfüllbare ökologische Anspruch im gegenständlichen Sinn mit abgetan. Zur dringend notwendigen Verbesserung der Lage sind die ökologischen Bedingungen so zu fassen, daß ein langfristiger Optimierungseffekt eintritt und die unerträgliche Lücke zwischen der Sachentscheidung nach dem obsolet gewordenen Ökologiebegriff und den tatsächlichen politischen Entscheidungen enger wird.

1.3 Bleibt die entscheidende Frage übrig, warum das ökologische Ziel nicht durch die vollständige Unterordnung der menschlichen Ansprüche unter die an sich unbestreitbar richtigen des bisherigen Ökologiebegriffes erreicht werden kann. Die Antworten sind einfach:

* Der Mensch gehört trotz aller heutzutage angebrachter Zweifel einer ungewöhnlich leistungsfähigen Art an. Eine Selbstentäußerung seiner Erkenntnis-, Denk- und operationellen Fähigkeiten wäre unnatürlich und ist außerdem nicht möglich.

* Ökologisch besonders sensible Gesellschaften würde zwar theoretisch gestärkt, tatsächlich aber ins Hintertreffen geraten. Individuenzahl und wirtschaftliche Potenz jener Gesellschaften, die sich dem absoluten Anspruch des überholten Ökologiebegriffes beugen, würden zurückgehen. Das entstehende Machtvakuum würde von weniger ökogerecht handelnden Populationen ausgefüllt und der Prozeß dementsprechend ökologisch abträglich.

Selbstverständlich ist es auch dem Verfasser völlig klar, daß die Preisgabe des Schutzes jeder einzelnen Art oder - nachgeordnet - jedes einzelnen Individuums zugunsten langfristig zwingender Überlegungen alles andere als unproblematisch ist. Schließlich hat jede Art und jedes Individuum einen mehr oder weniger bedeutenden Platz in einem mehr oder weniger bedeutenden Regelungsmechanismus. Wieviel schwieriger die Handhabung des neuen Ökologiebegriffes ist und wieviel mehr Kenntnisse notwendig sind, um die bisherigen linearen JA - NEIN-Entscheidungen durch qualitativ und quantitativ stichhaltige Systeme zu ersetzen, bedarf keines weiteren Beweises. Wenn der Verfasser trotzdem eine klare Empfehlung ausspricht, tut er dies als Folge der Erkenntnis, daß eine vergleichbar positive und aufbauende Alternative nirgends auszumachen ist.

Zum Schluß des Kapitels sei die Überlegung angestellt, ob es nicht zweckmäßiger gewesen wäre, den obsolet gewordenen Ökologiebegriff durch einen neuen Begriff zu ersetzen. Dies ist aus zwei Gründen entschieden zu verneinen:

- a) Viele Menschen haben, wenn auch unklar, dem Ökologiebegriff schon bisher die vom Verfasser vorgeschlagene neue Bedeutung unterlegt. Dies spricht für den gesunden Instinkt unserer Bevölkerung und macht die Kluft zur Anwendung des wissenschaftlichen Ökologiebegriffes verständlich.
- b) Es verwenden schon bisher zu viele Leute zu viele einschlägige Begriffe. Alle sind unscharf und für eine exakte Planung ungeeignet. Die Unschärfe verleitet außerdem zu einem weiteren Abbau des für die Durchsetzung jeglicher ökologischer Grundsätze unentbehrlichen Ethos, weil an sich unauflösbare Zielkonflikte ohne effiziente wissenschaftliche Hilfe, also willkürlich erledigt werden müssen. Der Begriff Ökologie sollte deshalb beibehalten und zugunsten seiner Anwendbarkeit klar definiert werden. Ein plausibler Vorschlag hierfür wurde hier umrissen.

2. ZUM ÖKOSYSTEM WILDBACH

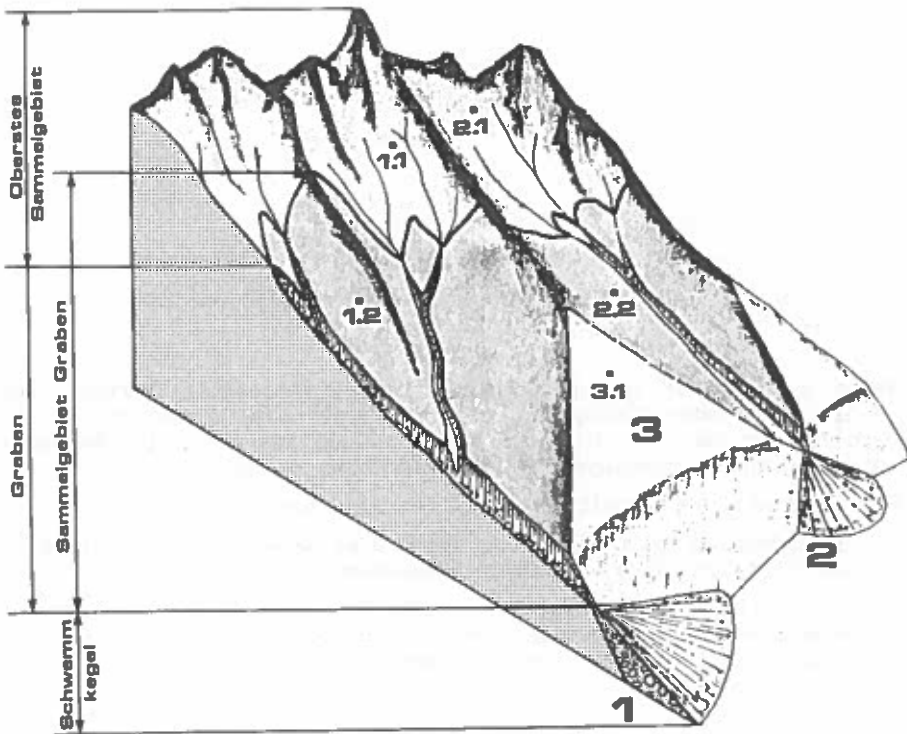
Überall dort, wo Extremsituationen herrschen, nähern sich die Zielvorstellungen des bisherigen und des vorgeschlagenen Ökologiebegriffes an die des Begriffes Umwelt an, weil der Entscheidungsspielraum bei der Beurteilung des Beziehungsgefüges hier mit Sicherheit kleiner ist als in klimatisch und morphologisch ausgeglicheneren Räumen. Der alpine Raum ist extrem. Dementsprechend ist der Artenreichtum gering und das Beziehungsgefüge empfindlich. Dies gilt insbesondere für einen prototypischen Teil des alpinen Raums: Das Wildbachgebiet.

Es ist auch tatsächlich bisher nicht gelungen, alle die verschiedenen Systeme eines Wildbachgebietes in ihrer Funktion zu erfassen und sie untereinander in Beziehung zu setzen. Es wurde deshalb vorgeschlagen (ÜBLAGGER, 1986), bei über ein System hinausgehender Beurteilung zur besseren Übersicht die einzelnen Systeme in Systemkomplexe zusammenzufassen und die wesentlichen Beziehungen zwischen diesen Systemkomplexen, das sogenannte übergeordnete Beziehungsgefüge, zu untersuchen. Nach Erfahrungen auf anderen Gebieten (VESTER, 1980) ist bei einer großen Anzahl von Systemen und empfindlichen Beziehungsgefügen das vernetzte Denken und Operieren überhaupt erst durch den vorgeschriebenen Schritt erfolgreich möglich.

Entsprechend wird

- * dem System das Beziehungsgefüge,
- * dem Systemkomplex das übergeordnete Beziehungsgefüge 1. Ordnung und
- * dem Ökosystem Wildbach das übergeordnete Beziehungsgefüge 2. Ordnung zugeordnet.

Ökosystem und Systemkomplexe werden im Kasten 1 veranschaulicht.



**Oberstes
Sammelgebiet**



**Sammelgebiet
Graben**



**Schwemm-
kegel**

1 3

Ökosysteme

DAS WICHTIGSTE ÖKOLOGISCH VERBINDENDE UND ORDNENDE ELEMENT IM WILDBACHGEBIET IST DAS WASSER. SEINE WIRKUNGEN ENTSCHEIDEN ÜBER DIE ABGRENZUNG DES ÖKOSYSTEMS (WILDBACHGEBIET) SELBST UND DER SYSTEMKOMPLEXE (SCHWEMMKEGEL, GRABEN, SAMMELGEBIET GRABEN, OBERSTES SAMMELGEBIET).

Das Wasser in seinen mannigfaltigen Erscheinungsformen und Wirkungen ist das entscheidende Kriterium für Auswahl und Abgrenzung des Ökosystems Wildbach. Es gibt aber andererseits keine zwei Stellen in diesem Ökosystem, an denen das Wasser die gleiche Bedeutung für das Beziehungsgefüge hat. Jegliche zu schaffende Ordnung muß deshalb

1. auf den Zweck der Untersuchung und
2. auf Schemata zurückgreifen.

Die Erscheinungsform des Wassers:

- o Niederschlagswasser
- o Oberflächenwasser
- o Hangwasser (hypodermischer Abfluß)
- o Grundwasser (Bergwasser)

und seine Wirkungen:

- o Aufbau der Hochwasserwelle
- o Subrosion
- o Erosion
- o Massentransport

sind natürliche Kriterien für die Gliederung des Wildbaches in das

- o Übergeordnete Beziehungsgefüge der Systemkomplexe und die
- o Beziehungsgefüge der einzelnen Systeme.

Jeder Eingriff in die Beziehungsgefüge verschiedener Ordnung, sei es technisch oder biologisch, zeitigt spezifische Wirkungen und ist deshalb nach den für die jeweilige Stellung des Ortes im Ökosystem zutreffenden Gesetzmäßigkeiten zu prüfen bzw. zu planen!

Für die praktische Arbeit gefordert ist also zweierlei:

1. Die Zuordnung des untersuchten Ortes oder Raumes zu einer diskreten Schnittstelle eines bestimmten Ökosystems und
2. die Festlegung von Regeln für die Beurteilung der Wirkung von Veränderungen an diskreten Schnittstellen des Ökosystems auf die Beziehungsgefüge verschiedener Ordnung.

Während die Abgrenzung des Ökosystems Wildbachgebiet eindeutig ist, können dem Untersuchungszweck entsprechend die Systemkomplexe im vorgeschriebenen Rahmen (z. B.: Gerinnesloses oberstes Sammelgebiet) und die Systeme beliebig untergliedert werden.

Zur Veranschaulichung der Grundsätze des Denkens in Systemen:

Die Örtlichkeiten 1.1, 2.1 und 3.1 (Kasten 1) können alle inneren Parameter (Untergrund, Boden, Vegetation, Neigung, Exposition, Seehöhe) gemeinsam haben. Es besteht trotzdem der entscheidende Unterschied, daß Veränderungen

- a) in verschiedenen Systemen wirksam werden und deshalb grundsätzlich
- b) unterschiedliche Beziehungsgefüge beeinflussen und
- c) unterschiedliche Wirkungen zeitigen.

Wieder anders ist die Lage bei der Örtlichkeit 3.1. Hier lagen die bisherigen Kennwerte unterhalb der für die Gewässerentwicklung maßgeblichen Grenzwerte.

Die überwiegenden Wirkungen des oberflächlichen oder des hypodermischen Abflusses im obersten Sammelgebiet betreffen den Aufbau der Hochwasserwelle und die verschiedenen Formen der flächenhaften oder linearen stets aber etwa in der Falllinie verlaufenden Erosion.

Es ist aber auch gut zu erkennen, daß die Bedeutung der Wasserretention zum äußeren Rand des obersten Sammelgebietes hin und die Bedeutung des Erosions- und Subrosionsschutzes talwärts zunimmt. Dementsprechend wird beispielsweise in Hinkunft eine Neubewaldung oder die Waldbewirtschaftung zum äußeren Rand des Sammelgebietes hin mit zunehmender Ausrichtung auf den Hochwasserschutzwald und talwärts mit zunehmender Ausrichtung auf den Erosions- und Subrosionsschutzwald zu planen sein.

Im Bereich des Sammelgebietes Graben (Örtlichkeiten 1.2 und 2.2) kommt zu den Wirkungen des Wassers im obersten Sammelgebiet die etwa quer zur Grabenachse gerichtete Beeinflussung der Erosion in Form der Nachböschung zum Tragen.

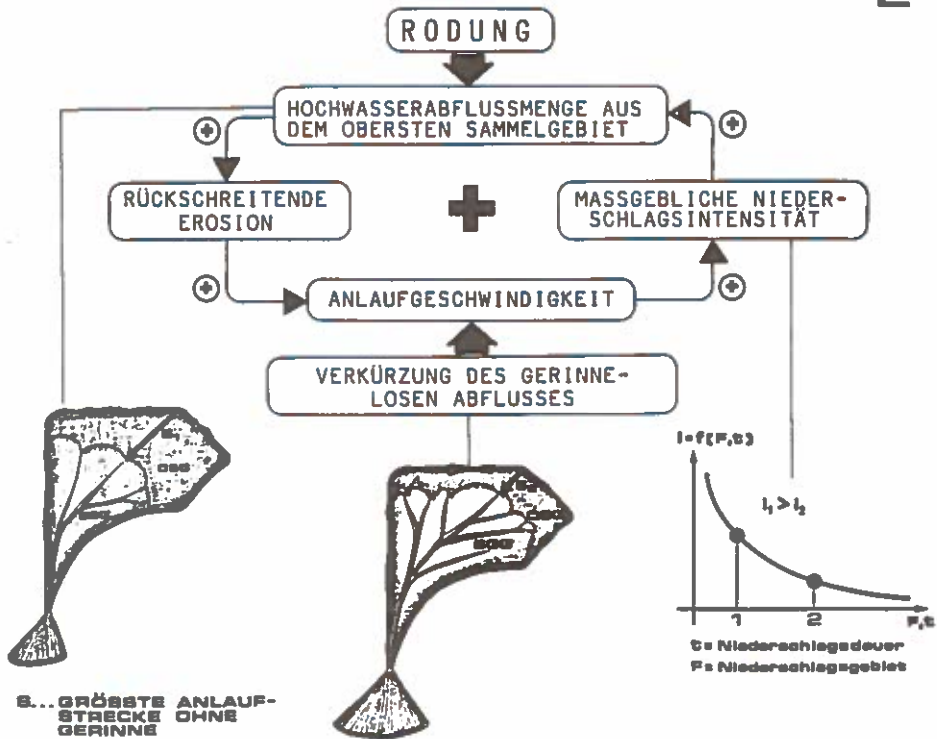
Zum gerinneten Hangwassersystem wie es im Ökosystem 3 dargestellt ist, muß angemerkt werden, daß hier häufig die wesentlichen Kriterien für die Entwicklung eines Wildbachgrabens verfügbar sind. Meist steht einer solchen Entwicklung lediglich der bisherige Zustand der Fläche des Sammelgebietes entgegen. Dies könnte sich durch die großräumig in Gang befindliche Verschlechterung der hydrologischen Verhältnisse durch Immissionen und Wildüberhege im Wald rasch ändern. Es wäre ökologisch grundsätzlich falsch, solche Flächen erst dann zu betreuen bzw. zu beobachten, wenn ihre bösartige Entwicklung ein Mehrfaches der dzt. Kosten erfordert oder irreversible ökologische Entwicklungen eingeleitet wurden.

Das kurzfristig unabhängige System und sein Beziehungsgefüge ist meist mittelfristig vom Systemkomplex und dem übergeordneten Beziehungsgefüge erster Ordnung abhängig. Der mittelfristig unabhängige Systemkomplex ist so gut wie immer langfristig vom Ökosystem und dem übergeordneten Beziehungsgefüge 2. Ordnung abhängig. Als Beispiel sei das Ufer eines Wildbaches im Bereich des Schwemmkegels betrachtet. Sein noch so optimaler ökologischer Zustand könnte bei einer nachhaltigen Verschlechterung der hydrologischen Situation im Sammelgebiet nicht verhindern, daß die gesamte Biozönose durch Übermürung, Geschiebeanlandung und Seitenschurf oder ähnliches zerstört wird.

3. REGELUNGSMECHANISMEN IM WILDBACH

Dieses besonders wichtige Kapitel kann nur mit Beispielen angerissen werden. Eine völlige Auslotung ist auch in fernster Zukunft nicht zu erwarten, weil sich die Beziehungsgefüge, die an sich schon extrem komplexer Natur sind, mit den klimatischen, meteorologischen und hydrologischen Auslösesituationen wandeln. Die Zahl der Auslösevarianten aber ist unendlich.

Planungen und Schätzungen sind nur deshalb möglich, weil sich in den meisten Wildbächen seit sehr langer Zeit - bei uns seit dem Ende der Würmzeit - als Folge des Durchschnittes aller Auslösesituationen ein relatives dynamisches Gleichgewicht eingestellt hat. Dieses Gleichgewicht ist zuerst durch die agrarische Revolution, also durch das Seßhaftwerden und Ackerbaubetreiben der früheren Jäger und Sammler in Unordnung geraten.



POSITIVE RÜCKKOPPLUNG BEI VERMEHRTEM HW-ABFLUSS AUS DEM SAMMELGEBIET DURCH WACHSENDE GEWÄSSERDICHTHEIT UND ANLAUFGESCHWINDIGKEIT AM BEISPIEL EINER RODUNG: AUCH IN DER WILDBACHKUNDE KÖNNEN KYBERNETISCHE MODELLE MITHELFEN, BEZIEHUNGSGEFÜGE BESSER ZU VERSTEHEN UND SYSTEMATISCHES UND DYNAMISCHES DENKEN ZU FÖRDERN. IN DER PRAXIS WERDEN HÄUFIG MEHRERE MODELLE MITEINANDER ZU VERKNÜPFEN SEIN.

In den Alpen wurden bis in die letzten Jahrhunderte im Zuge der bäuerlichen Landnahme Rodungen vorgenommen. Sie erfolgten insofern verhältnismäßig vorsichtig, weil die Versuch- und Irrtumsmethode angewandt wurde. Trotzdem haben diese Rodungen zu Störungen im Ökosystem der Wildbäche und damit zur Beschleunigung ihrer Entwicklung geführt. Dies läßt sich anhand von stummen Zeugen und anderer Untersuchungen vielfach belegen. Langfristig gesehen handelt es sich im Einzelfall zwar um eine einmalige Störung, nach dem einfachen kybernetischen Ansatz würde aber diese Störung im Wege der positiven Rückkopplung bis zur Ausräumung der Lockergesteine im Wildbachgebiet wirken. Dann träte der höhere Schleppwiderstand des felsigen Untergrundes als starker Regler auf.

Ein Beispiel für das Modell einer Ausräumung bietet der Schesatobel in der Gemeinde Bürs in Vorarlberg (s. Abb. 1).



Abb. 1: Der Schesatobel in der Gde. Bürs war ein kleiner unscheinbarer Wildbach. Erst 1796 wurde nach einigen Rodungen eine Wirkungskette ausgelöst, die in erdgeschichtlich kürzester Zeit in bis zu 200 m Tiefe rund 40 Mio. m³ Lockergesteine erodierte.

Als Regler wirkte im Schesatobel die 80 m Höhe erreichende Sohlenhebung durch die Wildbach- und Lawinenverbauung. Die Aufforstung des obersten Sammelgebietes fehlt noch zur völligen Stabilisierung des Ökosystems.

Welche Regler unterbanden oder milderten in anderen Fällen die Aufschaukelung der Entwicklung?

Am häufigsten war dies wohl die Aussteifung des Längsprofils durch die Abpflasterung der Grabensohle mit während der Grabenentwicklung erodiertem und nicht abgefrachtetem groben glazialen Geschiebe.

Manchmal trat der Aussteifungseffekt auch durch große Massenbewegungen oder grobblockig anfallenden Witterschutt ein. In der Schesa waren entsprechend große Korndurchmesser nicht vorhanden, sodaß dieser Regelungsmechanismus nicht zum Tragen kam.

In einigen Fällen wurde das Ökosystem durch Wiederbewaldung stabilisiert. Der diesbezüglich eklatanteste Erfolg wurde von der österr. Wildbach- und Lawinenverbauung im Schmittenbach in Zell am See (s. Abb. 3) erzielt.

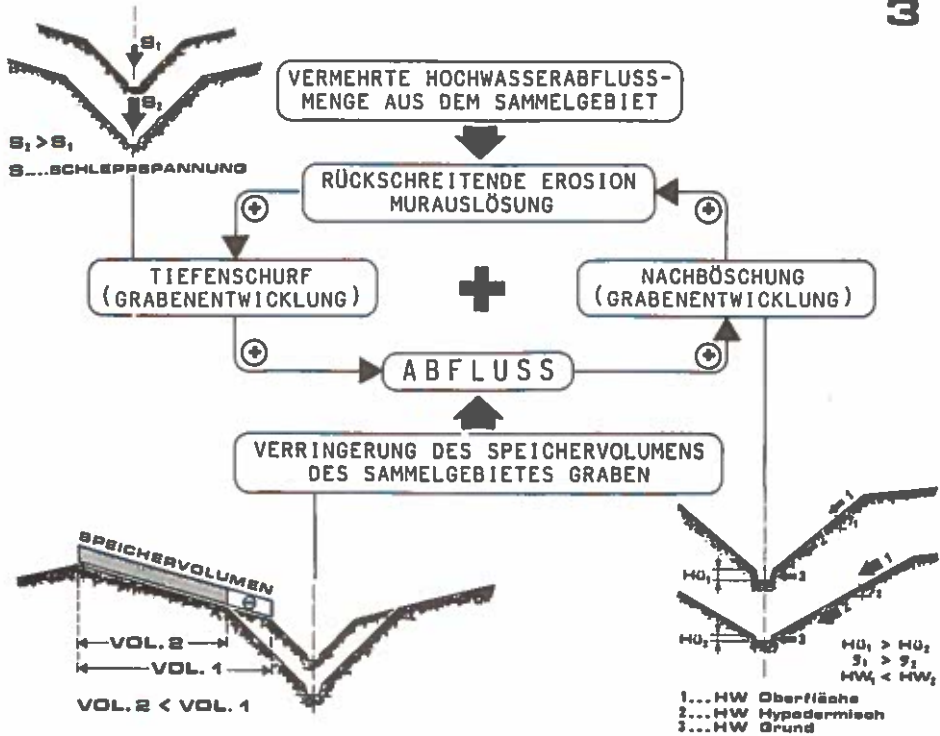
Der Regelungsmechanismus der Abpflasterung wird auch dann nicht wirksam, wenn beispielsweise in Murbächen die Schleppspannung im Zuge der Entwicklung so anwächst, daß jene Korngröße, die vor Eintritt der entscheidenden Störung eine negative Rückkopplung und eine annähernde Regelung bewirkten, nunmehr abgefrachtet werden.



Abb. 2: Abpflasterung einer Bachstatt durch bei der Grabenentwicklung freigelegtes grobes glaziales Geschiebe.



Abb. 3: Die Gegenüberstellung der Ansichten der Schmittenhöhe bei Zell am See aus den Jahren 1887 und 1976 veranschaulicht den Erfolg der von der Wildbach- und Lawinenverbauung geplanten und durchgeführten Sanierung eines Ökosystems.



DIE FÜHRUNGSGRÖSSE DES MODELLS IN KASTEN 2 IST BESCHIEDEN. TROTZDEM KANN SIE DAS HIER GEZEIGTE MODELL DER VERSTÄRKTEN GRABENENTWICKLUNG IN GANG SETZEN UND BEIM ANHALTEN DER STÖRUNG AUFSCHAUKELN. DAS MODELL DER VERSTÄRKTEN GRABENENTWICKLUNG ZEITIGT VOR ALLEM BEI AN SICH MURFÄHIGEN ODER DURCH DIE RÜCKKOPPLUNG MURFÄHIG WERDENDEN BÄCHEN BEDROHLICHE WIRKUNGEN. OHNE SEHR STARKE REGLER (Z.B. WILDBACHVERBAUUNGEN) FINDET EINE ENTWICKLUNG STATT, DIE ERST MIT DER AUSRÄUMUNG DER LOCKERGESTEINE DES WILDBACHGEBIETES ENDET. OHNE WILDBACHVERBAUUNGEN WÄRE EIN SOLCHER ÖKOLOGISCHER KOLLAPS SCHON HÄUFIG ZU BEOBACHTEN.



DIE NACHHALTIGEN, WIEDERHOLTEN ODER ZUNEHMENDEN STÖRUNGEN POTENZIEREN DIE DYNAMIK POSITIVER RÜCKKOPPLUNGEN. DIE KATASTROPHEN WERDEN IN DER REGEL HÄUFIGER UND GEFÄHRLICHER. DIE ENTWICKLUNG KANN DURCH EINE SPIRALE VERANSCHAULICHT WERDEN. DER KOLLAPS DES ÖKOLOGISCHEN TRITTS SCHLIESSLICH BEI EINER BESTIMMTEN KATASTROPHENWIRKUNG EIN. GEGENWÄRTIGE ENTWICKLUNGEN WERDEN ERST BEIM AUFTRETEN VON METEOROLOGISCHEN AUSLÖSESITUATIONEN MANIFEST. DIESER SACHVERHALT IST BESONDERS GEFÄHRLICH, WEIL ER DIE KRISIS FÜR DEN UNGESCHULTEN BEOBACHTER VERSCHLEIERT.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im alpinen Raum zählen die Wildbachgebiete zu den bestimmenden ökologischen Einheiten. Sie wurden in der Vergangenheit von Überwiegend einmaligen Störungen beeinträchtigt. Aus den Folgen können wir Modelle ableiten, um die Auswirkungen der gegenwärtigen und zum Teil durch ihre Nachhaltigkeit viel gefährlicheren Störungen abschätzen und Gegenmaßnahmen gezielter planen und durchführen zu können. Die Einteilung der Ökosysteme in Systemkomplexe und Systeme mit leichter überblickbaren Beziehungsgefügen und Wirkungsketten kann zur besseren Aufgabenbewältigung beitragen.

Die Störungen der Ökosysteme von Wildbächen während der letzten Jahrzehnte gehen auf verschiedene menschliche Einflüsse zurück. Einmalige Störungen wurden meist durch Verkehrs- und Siedlungsbauten, durch Wintersportanlagen, durch die von den Verhältnissen erzwungene Extensivierung der landwirtschaftlichen Bearbeitung und durch forstwirtschaftliche Fehler verursacht. Sie treten immer deutlicher gegenüber den nachhaltigen Störungen durch die überregionalen Ökokatastrophen des Waldsterbens und der Wildüberhege zurück. Die Zeit bis zum Greifen der Maßnahmen zur drastischen Verminderung der Emissionen könnte vielfach dadurch überbrückt werden, daß im Immissionsschutz der noch vorhandenen Altbestände eine artenreiche Verjüngung aufgebracht wird. Dies wird durch die Folgen der Wildüberhege entscheidend erschwert (ÜBLAGGER, 1985).

Warum sind die Aussichten für die Stabilisierung der Wildbachökosysteme trotz der klaren Erkenntnis der Bedrohung des alpinen Raumes und dem zunehmenden Bewußtsein, daß die Anwendung ökologischer Grundsätze längst zu der Überlebensfrage der Menschheit geworden ist, so schlecht?

Eine Antwort gibt die Tatsache, daß bei positiven Rückkopplungen, wie dieses Referat aufgezeigt hat, die Aufschaukelung die zukünftige Entwicklung und schließliche Katastrophe schon viel früher fixiert als die Schäden offen zutage treten und dem orientierungslosen Wohlbürgers unbehagen genug werden.

Eine weitere Antwort liegt darin, daß die Bewältigung der Probleme neben hochklassigem fachlichen Bemühen auch dzt. in Europa nicht gepflegte ethische Grundhaltungen erfordert. So ist bewußtes Verzicht eine Voraussetzung dafür, daß die Bevölkerung Restriktionen, die im ökologischen Zusammenhang zumindest vordergründig und kurzfristig betrachtet nicht zu vermeiden sind, annimmt und solche Entscheidungen mitträgt. Heute wird in der Bevölkerung häufig die Befürchtung laut, daß dort wo das Volk Verzicht übt, sich andere persönliche Vorteile verschaffen.

Die Folgen der voll in Gang befindlichen großen Ökokatastrophen des alpinen Raumes zu veranschaulichen war deshalb wesentliche Absicht dieses Referates. Daß der Vorsatz bestand, für die Planung und Popularisierung von Gegenmaßnahmen einen handhabbaren Ökologiebegriff zu entwickeln, liegt auf der Hand.

L I T E R A T U R

- UEBLAGGER, G., 1981 Gedanken zur ökologischen Planung
in Landschaftswasserbau Bd. 2, 1981
- HAECKEL, E., 1866 Generelle Morphologie der Organismen,
Neuaufgabe 1906
- UEBLAGGER, G., 1986 Zur Ökologie der Wildbäche und Lawinen,
in Abfallwirtschaft Bd. 6, 1986
- VESTER, F., 1980 Ansätze zur Erfassung der Umwelt als System,
in Handbuch für Planung, Gestaltung und
Schutz der Umwelt, Bd. 3, München 1980
- UEBLAGGER, G., 1985 Die Kosten kurativer Maßnahmen zur Stabilisierung
des alpinen Ökosystems,
Seminar Schutzwald und Erosion, ÖGNU 1987

PROPOSALS FOR AN INTEGRATED PROTECTION AGAINST TORRENTS

by
Hubert Hattinger
Federal Ministry of Agriculture and Forestry
Stubenring 12
A-1010 Vienna, AUSTRIA

SUMMARY

In mountains and hilly regions all over the world we found torrential watersheds with floods, excessive erosion, landslides, mudflows, inundations and sedimentations (torrential processes) which cause again and again catastrophes in rural and urban regions. Nowadays we have a lot of methods and measures for torrent control, but often it is difficult to select the best ones. To make the solution of these problems easier, it seems to be useful to bring the whole complex into a system and to use principles and methods of systems science.

In one example a torrential watershed is considered as a system which includes two sub-systems, the ecologic system and the socio-economic system. These two systems can be considered as particular systems which include various other sub-systems. All systems can be presented in models to simplify explanations and calculations. In another example an attempt is made to unify all measures of protection against torrents to an integrated system, including two main groups. One group consists of measures with the purpose to control the torrential processes, the other group is built by measures with the purpose to influence and steer the socio-economic activities.

VORSCHLÄGE FÜR EINEN INTEGRALEN SCHUTZ VOR WILDBÄCHEN

von
Hubert Hattinger
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Stubenring 12
A-1010 Wien, Österreich

ZUSAMMENFASSUNG

Im Gebirge und Hügelland finden wir auf der ganzen Erde Wildbachgebiete mit Hochwasserabflüssen, exzessiven Bodenabtrag, Rutschungen, Muren, Überschwemmungen und Sedimentationen (Wildbach-Prozesse), die immer wieder Katastrophen in ländlichen und städtischen Regionen verursachen. Heute gibt es eine große Anzahl von Methoden und Maßnahmen für Wildbachverbauung, aber oft ist es schwierig, die besten davon auszuwählen. Um die Lösung dieser Probleme zu erleichtern, ist es zweckmäßig, die ganze Vielfalt in ein System zu bringen und die Prinzipien und Methoden der System-Wissenschaft zu benützen.

In einem Beispiel wird das Wildbach-Gebiet als ein System betrachtet, das zwei Subsysteme einschließt: Das Umwelt-System und das sozio-ökonomische System. Diese zwei Subsysteme können als eigene Systeme betrachtet werden, die wiederum verschiedene, andere Subsysteme einschließen. Alle Systeme können in Modellen dargestellt werden, um Erklärungen und Berechnungen zu vereinfachen. In einem anderen Beispiel wird der Versuch gemacht, alle Maßnahmen zum Schutz vor Wildbächen in ein integriertes System zusammenzufassen, das zwei Gruppen umfaßt. Eine Gruppe besteht aus Maßnahmen mit dem Zweck, die Wildbach-Prozesse zu kontrollieren, die andere Gruppe bildet Maßnahmen, um die sozio-ökonomischen Aktivitäten zu beeinflussen und zu steuern.

INTRODUCTION

In mountain regions and hilly land all over the world we found numerous areas with extremely intensive hydrologic and geomorphologic processes. The main processes are the following: floods, caused by rainstorms (sometimes together with snow-melt) with or without bedload and trunks; excessive erosions; landslides; mud-flows and other mass-movements (rockfall etc.); inundations and sedimentations. Areas in which these processes occur we call torrential areas, the water courses we call torrents.

These mentioned processes cause again and again disasters in rural and urban regions with loss of human lives and destruction of buildings, roads and cultivated land and disturb and interrupt the various economic activities. During the last century hundreds of human beings have lost their life in our country and the damages amounted to hundreds of millions of dollars.

But also in other countries occur every year terrible disasters caused by floods, landslides, mud flows etc. and enormous loss of cultivated land. In many countries faced with the same problems, great efforts are made in the field of torrent control, to protect the human beings, urban and rural areas and the economic activities. A short analysis of the situation in a torrential watershed shows us a considerable number of processes and activities and an amazing variety of relations. (FIG. 1) But the number of relations is growing immensely considering that each torrential process and economic activity includes a lot of subprocesses again with activities and relations. Let me give some very short examples: high-flows divided in phases and sub-processes are caused and influenced by many factors such as rainfall, (intensity and distribution) slope gradient and slope length, soil characteristics and soil humidity, vegetation etc. The sheet-erosion, only one of various kinds of erosion, is influenced by rainfall, soil characteristics, slope gradient, slope length, vegetation cover, soil conservation measures as the Universal soil Loss Equation shows. Some of the sub-processes are influenced by human activities, some not. The same situation you can see with all other hydrologic and geomorphologic processes.

Regarding the field of protection against torrent we are faced with a similar situation: nowadays we have various strategies, numerous methods and measures and a great number of constructions and activities. But which is the best combination for a certain case? Have you considered all important facts? Are the aims complete and compatible? Maybe you have found the most economic measures, but how are the financial or legal restraints? Are skilled workers available for complicated, but most efficient constructions? You could continue on and on, because there are nearly innumerable questions and point of views.

To make the solution on these problems easier and our work more effective, it seems to be useful to bring the complex as a whole into an integrated system, including all important elements and relations between them. The idea is to use by this way the tested and tried principles and methods of systems science (systems analysis, systems engineering, models etc.). The idea is not new. We are regarding the hydrologic circle as a system, or the slope, we are calculating with static or hydraulic models, we are speaking of transport systems, environmental system, cost models and systems, forest-engineering-systems, etc. What we should to try is to unify these various systems to an integrated systems of protection against torrential disasters.

The realization is difficult and troublesome and I think it will be never possible to create a perfect and all including system, but in spite of that we should do it with small steps. In this sense I want to present some suggestions and simple examples.

Basic ideas:

- o A system consists of elements. They may be molecules, grains, plants, men, measures, ideas etc.
- o Each element possesses attributes
- o Between the elements there are relationships (structural and functional)
- o Therefore all systems have a structure (or organization)
- o Each systems has a boundary which seperates the system from the surroundings (other systems or the rest of the universe).
- o We can distinguish isolated systems, closed systems and open systems.
In open systems there is a transfer of "matter" and "energy" between systems and sourroundings.
- o This transfer requires a driving force or source of energy.
- o An important characteristic of open systems is the maintenance of structure nevertheless exists a transfer or in- and output of matter and energy.
- o Within these systems there are enviromental open systems which must maintain a stable state or equilibrium state and must therefore possess the capacity of self-regulation.

- o This self-regulation is realized by a feedback-responsesystem in connexion with regulators and thresholds.
- o Systems can be divided in subsystems and the subsystem can be considered as a system for itself, continuing the subdivision as far as necessary and possible.
- o Systems are represented by models simplifying by this way the complexity of the real world.
- o We can use models for calculations, (mathematical models) to quantify state and process and for explanation to make easier the understanding of difficult relations between elements and over all between causes and effects.
- o The planned change of systems can be done effectively by projects.

The advantages of using the principles and methods of systems science for the solution of problems and task in the field of protection against torrents are chiefly following:

- o We consider the torrential watershed as a whole avoiding single solution in the field of protection against torrents.
- o We can unify important groups of elements and processes within the torrential watersheds to subsystems and consider them as systems with the corresponding inputs and outputs.
- o We can use proved principles and methods of system science over all in connection with mathematic models to quantify the situation, aims and solutions making easier to get optimal results.

EXAMPLE 1: TORRENTIAL WATERSHEDS AS A SYSTEM

In a torrential watershed-considered as an open and dynamic system (torrential watershed system) - we can distinguish two main systems or subsystems. The environmental sub-system and the socio-economic sub-system. The environmental sub-system includes all elements, processes and relationships concerning nature. Main groups of elements and subsystems are the atmosphere, the lithosphere, water, flora, fauna.

Using the principles of system science we can consider these sub-system as system for itself. Within the environmental system we can determine a subsystem including all torrential processes as floods, excessive erosion, landslides,

FIG. 1: POSSIBLE RELATION BETWEEN THE MAIN TORRENTIAL PROCESSES AND THE MAIN ECONOMIC ACTIVITIES IN A TORRENTIAL WATERSHED

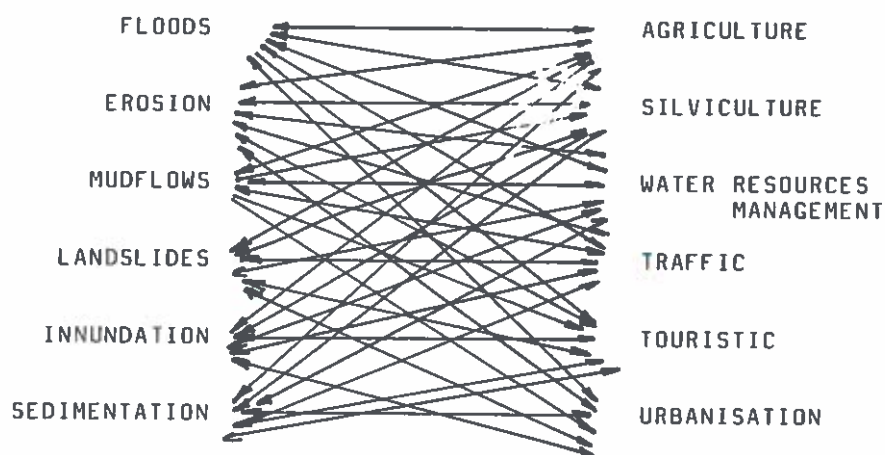
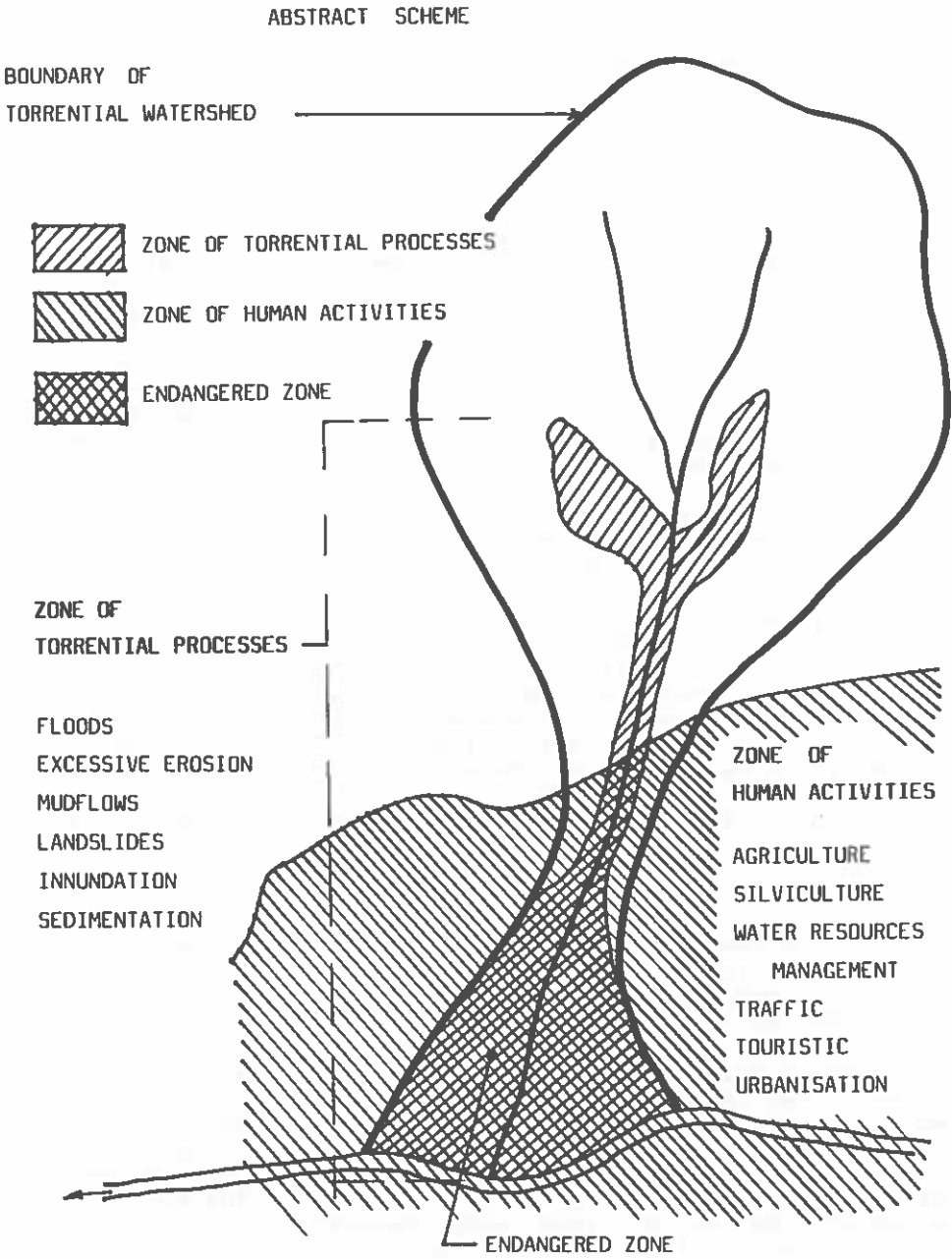


FIG. 2: TORRENTIAL WATERSHED AS A SYSTEM



mudflows, siltations and sedimentations, innundations. This subsystem we call torrential subsystem or torrential system. If we consider the phenomenas of siltation, sedimentation and innundation, we can see that these torrential processes are exceeding the boundary of the drainage basin or the catchment area. The best examples in this sense are cone-shaping-torrents. As an important consequence the boundary of a torrential watershed is not indentic with the boundary of the drainage basin.

The second main system in a torrential watershed is the socio-economic system which partly superimposes the environmental system and therefore the torrential system too. The socio-economic system includes all elements (human being and goods) and relationships concerning the socio-economic activities within the torrential watershed (or torrential watershed system). The boundary is determined by the various economic activities expressend f.i. by the various branches (agriculture, forestry, water resources management, traffic, touristic, urbanisation etc.). All mentioned systems can be represented cartographically by areas or zones: environmental zone, socio-economic zone, torrential zone. (Fig. 2).

Damages, destructions, etc. are caused if torrential processes are affecting human beings, goods and socio-economic activities. It is usefull to arrange the various kinds of damages, losses, disasters etc. to a system too. The boundary of this system is the superposition of the torrential zone over the socio-economic zone. It gives the area or zone, where torrential catastrophes occured or in future can occur, the so-called "endagered zone". The determination of this zone and the prediction of the endangering of human beings, goods and socio-economic activities by torrential processes is one of the main tasks of the science of torrents.

EXAMPLE 2: INTEGRATED PROTECTION AGAINST TORRENTS AS A SYSTEM

This example concerns a suggestion on a system of integrated protection against torrents which should include all important components of protection: strategy, measures, methods, constructions, activities etc.

Let us begin with the general aim of protection against torrents that is the maximum security by means of avoiding or reducing casualties and damages. We know that the number of casualties and the size of damages depend on various factors. On the one hand on the size and frequency of torrential processes (events), on the quantity and energy of the moved masses etc. We can call them "event-concerned factors". On the other hand on the number of human beings, goods and activities affected in endangered zones and on the resistance of

the affected constructions and soils. We can call them "object-concerned factors". There are principally two possibilities to reach the general aim of protection against torrents; first to reduce the frequency, size and intensity of torrential events, that means to reduce the frequency, quantity and intensity of torrential processes; second, to reduce the quantity of human beings, goods and socioeconomic activities and to increase the resistance of goods, especially constructions, within the endangered zones. As a consequence of these considerations follow two different main tasks: to steer and control the torrential processes and to steer and control the socio-economic activities in the endangered zones. In practice exist a lot of various measures and methods to fulfill these tasks. To put them into a system, it is useful to attach it to the two main tasks and distinguish by this way two groups of measures: "Event-concerned measures" and "Object-concerned measures". The first group includes the measures of the classic forest-engineering system: Biological-measures or measures of re-vegetation, mainly afforestations, then management measures to improve and stabilize the vegetation cover, above all forest land, and finally engineering measures or constructions.

The second group are measures of land use planning, including measures of informations, measures of incentives and legal measures on the basis of expertises and danger zones plans, then measures to increase the resistance of the endangered constructions and cultivated land.

All the measures mentioned above are preventive measures planned and realized to avoid or reduce casualties and damage in more or less far future. But we also use other kinds of protective measures, regarding the aspect of time. Immediately before an expected catastrophe we use warning measures and evacuating measures and during the catastrophe we use auxiliary measures. Above all, the warning and evacuating measures are very important to avoid casualties if preventive measures cannot be realized at all or cannot give the maximum of security. If we summarize these suggestions we could describe the integrated protection against torrents as follows: It is an interdisziplinary subject which combines various measures and methods of ecology, economy, sociology and technical science to an integrated eco-socio-engineering system with the aim to get a maximum of security by means of steering and control of the torrential processes and the steering and control of the human activities within the endangered zones. (FIG 3).

FIG. 3: SYSTEM OF INTEGRATED PROTECTION AGAINST TORRENTS
(ECO-SOCIO-ENGINEERING SYSTEM)

STRATEGY

Reduction of
torrential events

Steering and control
of
torrential processes

Reduction of
endangered objects

Steering and control
of
human activities

MEASURES

Event-concerned
Measures:

Ecological measures
 Plantations
 Afforestation

Economic measures
 Management

Engineering measures
 Constructions

Auxiliary measures

Object-concerned
Measures:

Measures of
Land use planning
 Information
 Incentives
 Laws

Measures to
Increase resistance
of objects

Warning measures
Evacuation measures
Auxiliary measures

R E F E R E N C E S

- Aulitzky H., 1978/79: Studienblätter
Zur Vorlesung Grundlagen der Wildbach-
und Lawinenverbauung. Institut für
Wildbach- und Lawinenverbauung, Univer-
sität für Bodenkultur, Wien
- Daenter W.F., 1978/79: Systems Engineering.
Verlag Peter Hanstein, Köln, Verlag
Industrielle Organisation, Zürich
- FAO, 1977: Guidelines for Watershed management. FAO Conserva-
tion Guide 1
Food and Agriculture Organization of the United
Nations, Rome.
- Hattinger H., 1984: Schutz vor Wildbächen und Lawinen.
Allgemeine Forstzeitung, 95. Jahrgang,
Folge 6, Wien, S 152-154
- White I.D., Mottershead, D.N., Harrison, s.J 1984:
Environmental Systems
An Introductory Text.
George Allen and Unwin, London.

W A L D B E H A N D L U N G
I N
W I L D B A C H - U N D L A W I N E N G E B I E T E N

von
Werner Rachoy
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Wien, Österreich

ZUSAMMENFASSUNG

Das europaweite Problem des "Waldsterbens" hat auch vor den österreichischen Wäldern nicht haltgemacht. In besorgniserregendem Ausmaß greifen die Schäden vor allem im Bergland um sich, wodurch die Einzugsgebiete von Wildbächen und Lawinen voll betroffen sind. Da hier die Waldbestände entscheidend für den Schutz vor Elementargefahren sind, muß der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung in der Zukunft intensive Schritte im Hinblick auf die Waldsanierung setzen. In diesem Sinne ist in den nächsten 3 Jahren eine Walderhebung in den Einzugsgebieten vorgesehen, welche stichprobenweise in Form von Mustererhebungsgebieten den Istzustand erfassen wird. Diese Erhebungsflächen werden so in den Einzugsgebieten verteilt, daß deren Standortsspektrum weitgehendst erfaßt ist. Der erstellte Aufnahmeschlüssel lehnt sich an den der Österreichischen Waldzustandsinventur bzw. der Forstinventur an und beinhaltet standörtlich-waldbauliche wie auch wildbach- und lawinenspezifische Merkmale. Die aufgrund dieser Istzustandserhebung zu erarbeitenden Sanierungsmodelle sollen künftig die flächenwirtschaftliche Projektierung auf vergleichbaren Standorten erleichtern und vom Projektsinhalt her optimieren. Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung glaubt, mit dieser Schwerpunktsetzung den ihm zustehenden Beitrag zur Lösung der Umweltprobleme zu leisten.

F O R E S T M A N A G E M E N T
I N
T O R R E N T A N D A V A L A N C H E A R E A S

by
Werner Rachoy
Federal Ministry of Agriculture and Forestry
Vienna, Austria

SUMMARY

The european problem of "forest decay" has not stopped in front of the austrian forests. The damages are spreading especially in the mountains regions in an alarming extent, which fully concerns the catchment-areas of Torrents and avalanches. In these areas the forest stands are very important to the protection against elemental forces, and so the Forest engineering service for torrent and avalanche control must set intensive steps to stabilize the forests. Because of that in the next three years there will be a forest exploration in the catchments areas, which will list the forest conditions in form of random tests and sample areas. These exploration areas will be spreaded out in the catchment areas in a certain way, so that you can list the site spectrum extensively. The prepared field instruction ist conform with the field instruction of the austrian forest condition survey, respectively the forest survey and contains as well silvicultural and site characteristics as torrent- and avalanche specific characteristics. The conversion modell, which must be worked out on the basis of this condition survey shall ease the projecting work at comparable sites and optimise it in connection with the content of the projects. The forest engineering service for torrent and avalanche controll expects to perform its contribution to solve the environment problems with these priorities.

A u f g a b e n s t e l l u n g

Das europaweite Problem "Waldsterben" hat auch vor den österreichischen Wäldern nicht haltgemacht. In besorgniserregendem Ausmaß greifen die Schäden vor allem im österreichischen Bergland um sich, fern von den Industriegebieten und Ballungsräumen. Damit treffen die Waldschäden auch voll die Wildbach- und Lawineneinzugsgebiete. Hier sind die Waldbestände entscheidend für den Schutz vor Elementarereignissen, sie haben demnach mit wenigen standörtlichen Ausnahmen höchste Schutzfunktion. Nur gesunde Waldökosysteme können Wildbach- und Lawinengefahren hintanhalten, ein Fortschreiten der Schäden würde jedenfalls eine nicht abzusehende Zunahme der Hochwässer, Murgänge, Rutschungen und Lawinenabgänge nach sich ziehen, deren ökologische und ökonomische Folgen im Gebirgsland unabsehbar sind. Zur Verbesserung der Situation sind in Österreich bereits eine Reihe wirksamer Maßnahmen eingeleitet worden, wobei hier zwischen Maßnahmen außerhalb und innerhalb der Waldökosysteme unterschieden werden muß. Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung hat begonnen, im letzteren Bereich seine Aktivitäten intensiv zu verstärken und arbeitet gerade am Aufbau einer Walderhebung in den Wildbach- und Lawineneinzugsgebieten, deren Ergebnisse die Grundlage für künftige Waldsanierungsprojekte darstellen sollen. Dieser Beitrag versucht, die gewählte Vorgangsweise zu erklären.

S t a n d ö r t l i c h e G e g e b e n h e i t e n

Gemäß der klimatischen und geologischen Situation läßt sich Österreich in 9 Waldgebiete einteilen (MAYER, 1971). Die Einteilung charakterisiert den von Westen nach Osten abnehmenden ozeanischen Klimaeinfluß in gleicher Weise wie die Zunahme der Kontinentalität von den Randalpen zu den Innentalen. Die Waldgebiete beinhalten aber auch die pannonischen und illyrischen Klimaeinflüsse des Ostens, Südostens und Südens und nehmen Rücksicht auf die Höhenstufen in den Bergregionen. Auch die Geologie findet ihren Ausdruck in dieser Waldgebietseinteilung, es müssen hier großräumig die außeralpine variscische Scholle, die Ebenen und Hügelländer des Molassemeeres und die österreichischen Ostalpen unterschieden werden. Wie bereits erwähnt, ist für die ggstdl. Walderhebung insbesondere die Alpenregion von Interesse, liegen doch hier der überwiegende Teil der nahezu 9000 Wildbacheinzugsgebiete und zur Gänze die 4500 Lawineneinzugsgebiete. Der Alpenbereich war noch vor 20.000 Jahren fast zur Gänze mit Eis bedeckt, seit dem Rückgang des Eises vollzieht sich der Abtrag der Bergkämme und die Auffüllung der Alpentäler unaufhaltsam, vor allem dort, wo vom Gletscher zurückgelassene Moränen bzw. Gesteine geringen Erosionswiderstandes vorliegen. Bezüglich der Fruchtbarkeit der Böden kann festgehalten werden, daß in der Alpenregion in bunter Reihenfolge saure, intermediäre und basische Gesteine abwechseln. Die Wasserkapazität der

Böden steht in ursächlichem Zusammenhang mit dem Feinerdeanteil der geologischen Substrate. In den 9 Waldgebieten treten insgesamt nahezu 60 natürliche Waldgesellschaften auf. Im Bergland dominiert dabei im montanen Höhengürtel randalpin der Fichten-Tannen-Buchenwald, zwischenalpin der Fichten-Tannenwald und inneralpin der montane Fichtenwald. Im subalpinen Höhengürtel herrscht mit der Seehöhe ansteigend der subalpine Fichtenwald und der Lärchen-Zirbenwald. Auf extremen Standorten werden diese Waldgesellschaften abgelöst von Rotföhre, Latsche und Grünerle.

H i s t o r i s c h e E n t w i c k l u n g

In dieses natürliche Waldkleid hat der Mensch seit Jahrhunderten unaufhörlich eingegriffen. Im Gebirge war es zunächst der Bauer, der vor allem ausgedehnte Rodungen an der natürlichen Waldgrenze durchführte, die ein enormes Absenken derselben nach sich zogen. Noch heute liegt die aktuelle Waldgrenze in vielen Teilen der Ostalpen bis zu 300 m unterhalb der potentiellen. Die Österreichische Forstinventur weist noch im Jahre 1980 in ihrer Hochlagenerhebung für den Höhengürtel "natürliche Waldgrenze minus 500 m Seehöhe" einen Anteil der Alm- und Weideflächen von über 42 % aus. Man kann daran ermesen, in welchem Umfang etwa im 19. Jahrhundert der Waldgürtel im Gebirge von der Landwirtschaft beeinflußt war, wobei noch dazu vermerkt werden muß, daß der Bauer noch zusätzlich in großem Umfang Rinder, Ziegen und Schafe in die verbliebenen Wälder eingetrieben und hier auch intensiv Streunutzung betrieben hat. Zusätzlich zu diesen Tributen des Waldes an die Landwirtschaft ist seit dem Beginn der Industrialisierung auf großen Flächen exploitativ in diesen eingegriffen worden. Diese Entwicklung muß bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts zu derart katastrophalen Waldzuständen geführt haben, daß im Gebirge kaum mehr Sicherheit für Mensch, Hab und Gut vor Elementarereignissen bestand. Das erste Österreichische Forstgesetz aus dem Jahre 1852 und die Gründung des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung im Jahre 1884 waren Ausdruck der damaligen Situation. Durch die Handhabung dieses Forstgesetzes ist eine fortschreitende Verbesserung des Waldzustandes eingeleitet worden, insbesondere durch die Verpflichtung zur sofortigen Aufforstung nach erfolgter Nutzung sowie durch Beschränkung der Größe der Schlagflächen. Die Waldentwicklung im 20. Jahrhundert war und ist geprägt vom ökonomischen Denken des Forstmannes. Die Nutzfunktion des Waldes wurde in den Mittelpunkt forstlichen Denkens gestellt. Dies führte unter anderem zum schlagweisen Wirtschaftsverfahren und zur Förderung der Fichte. Für die Wälder in den Einzugsgebieten bedeutete dies oftmals ein für die Erhaltung der Schutzfunktion ungeeignetes Nutzungsverfahren sowie eine genetische Verarmung der Ökosysteme. Ab dem zweiten Weltkrieg wurde in Österreichs Wälder die Erschließung mit Forststraßen eingeleitet, heute muß der Wirtschaftswald mit mehr als 35 lfm/ha als gut erschlossen

gelten. Für die extremeren Standorte in den Einzugsgebieten hat dies jedoch nicht volle Gültigkeit, hier ist sicher in Zukunft noch einiges zu tun. Zuzufolge der wirtschaftlichen Entwicklung in unseren Bergregionen -der Sommer- und Wintertourismus hat Einzug gehalten, die Landwirtschaft wurde intensiviert und auf kleinerer Fläche konzentriert- wurde in den letzten Jahrzehnten sehr viel landwirtschaftlicher Druck von den Wäldern genommen. Die Waldfläche in Österreich ist ständig im Zunehmen, allein von 1970 bis 1980 weist die Österreichische Forstinventur eine Zunahme von 0,8 % aus. Das Bewaldungsprozent beträgt derzeit 44 %, das sind 3,7 Millionen ha Wald. Österreich ist somit eines der walddreichsten Länder Europas (KASTNER, 1985).

Leider ging diese Quantitätssteigerung auf vielen Standorten nicht Hand in Hand mit einer Qualitätssteigerung. Bezogen auf die Wälder in den Einzugsgebieten muß festgehalten werden, daß die nach Inkrafttreten des Forstgesetzes 1852 begründeten Bestände heute meist einen einschichtigen Aufbau aufweisen und -obwohl sicherlicher noch nicht überall- rapide einer Zerfallphase zustreben, weiters daß die für die Erhaltung der Schutzfunktion so bedeutende Bestandespflege meist über alle Altersklassen hinweg fehlt und daß in den meisten oder zumindest sehr vielen Einzugsgebieten das Weidevieh vom Wild abgelöst wurde und zwar in einem für die künftige Waldentwicklung und insbesondere -verjüngung beunruhigenden Ausmaß. Als warnendes Beispiel mag hier gelten, daß nach der Österreichischen Forstinventur die Schältschäden im Wirtschaftswald von der Periode 1961/1970 auf 1971/1980 um 100 % zugenommen haben. Diese unerfreuliche Entwicklung des qualitativen Waldzustandes, die besonders auf den extremeren Standorten der Einzugsgebiete volle Gültigkeit hat, wird im letzten Jahrzehnt noch verstärkt durch die neuartigen Waldschäden, die im Phänomen "Waldsterben" zusammenzufassen sind. Ohne hier auf die umfangreichen Untersuchungen über die Gründe dieses Problems eingehen zu wollen, sei aus der Sicht des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung folgendes gesagt:

- Die neuartigen Waldschäden treffen in weiten Bereichen der Wildbach- und Lawineneinzugsgebiete auf Wälder, die zuzufolge der historischen Entwicklung in einem sehr labilen Zustand sind.
- Im Gebirge muß nicht der Wald zur Gänze sterben, um den beschleunigten und gehäuften Abgang von Muren und Lawinen zu provozieren. Schon ein flächiger Nadelverlust von 25 % genügt, um potenzierte Abfluß- und Erosionsverhältnisse zu schaffen. Wenn neueste Untersuchungen der Universität für Bodenkultur nachweisen, daß der Scheiteldurchflußwert nach Starkniederschlägen auf unbestockten Flächen um über 120 % höher liegt als jener von Waldflächen, so kann man ermeszen, was ein "Löchrigwerden" des Waldkleides in den Einzugsgebieten bedeutet (PRENNER, 1986).

- Zufolge der neuartigen Waldschäden muß angenommen werden, daß künftig Sekundärschäden unbekannten Ausmaßes -ausgelöst von Insekten, Pilzen, Nematoden etc.- auftreten werden.
- Schließlich könnte es zufolge dieser Schäden zu Rückgängen in der Keimfähigkeit des forstlichen Saatgutes kommen, was für den Bergwald besonders dramatisch ist.

Wenn die Österreichische Waldzustandsinventur heute nahezu 1 Million ha geschädigte Wälder in Österreich ausweist, und man weiß, daß das Waldsterben in zunehmendem Maße auf die "Reinluftgebiete" übergreift, in den nördlichen Bezirken Tirols sind bereits bis zu 50 % der Waldfläche geschädigt (SPRENGER, 1986), so muß die Entwicklung der Schutzfunktion des Waldes in den Einzugsgebieten als beunruhigend erachtet werden.

Erhebung des Waldzustandes

Die derzeitige Waldentwicklung in den Einzugsgebieten von Wildbächen und Lawinen zwingt den Forsttechnischen Dienst -auch bei vorsichtiger Einschätzung- zu Schwerpunktsetzungen, wobei zunächst eine rasche Erhebung des Waldzustandes im Vordergrund steht. Ein erster Schritt wurde bereits dahingehend getan, daß von den lokalen Organisationen der Wildbach- und Lawinenverbauung die Wälder in den Einzugsgebieten nach folgenden Kriterien gutachtlich festgelegt und kartenmäßig erfaßt wurden:

- Geschädigte Wälder mit hoher Schutzwirkung in Wildbach- und Lawinengebieten
- Wälder mit hoher Schutzwirkung in Wildbach- und Lawengebieten
- Übrige Waldfläche

Diese grobe Erfassung erfolgte in engster Zusammenarbeit mit den Landesforstdiensten und den Waldbesitzern. Als Grundlage dazu dienten die Ergebnisse des Österreichischen Bioindikatorsnetzes sowie der Waldzustandsinventur und vor allem die lokalen Kenntnisse der Forstkollegen. Als weiterer Schritt stand nun eine flächendeckende Waldzustandserhebung über alle Einzugsgebiete oder zumindest über die Waldfläche mit hoher Schutzwirkung in Diskussion. Der dazu notwendige lange Aufnahmezeitraum sowie der hohe finanzielle Aufwand ließen von einer flächendeckenden Erhebung Abstand nehmen. Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung entschloß sich daher, zusammen mit den Landesforstdiensten sogenannte Mustererhebungsgebiete festzulegen. Diese Gebiete liegen stets im Bereich geschädigter Waldflächen und haben

eine Größe von 200 - 500 ha, sie können ein oder mehrere Einzugsgebiete umfassen. Auf Österreich bezogen decken diese Mustergebiete im wesentlichen die Standortsverhältnisse in den Einzugsgebieten ab, insgesamt wurden 33 derartige Weiserflächen ausgeschieden. In diesen soll ab dem Jahre 1987 nunmehr der Waldzustand in zwei Verfahren aufgenommen werden. Mit dem Stichprobenverfahren werden die Parameter Meereshöhe, Exposition, Grundgestein, Bodentyp, Vegetationstyp, Wasserhaushalt, Waldgesellschaft, Bestandesgrundfläche, Stammzahl, Baumartenanteile, Baumartenmischung, Alter, Oberhöhe, Ertragsklasse, Altersklasse, Pflegezustand und Bestandesschäden erfaßt. Die ertragskundlichen Merkmale werden mittels Spiegelrelaskop aufgenommen, die Feststellung des Kronenzustandes und von Schäden am einzelnen Probestamm erfolgt nach der Instruktion der Waldzustandsinventur. Je nach den standörtlichen Gegebenheiten wird im Erhebungsgebiet ein Stichprobennetz von einem bis einem halben Probepunkt pro ha Verwendung finden. Flächenweise aufgenommen und kartiert werden die Geländeform, die geomorphologischen Merkmale, die Waldfunktion, die Wuchsklasse, die Entwicklungsphasen, der Schutzwaldtyp sowie die Behandlungsmaßnahmen. Die dazu notwendige Kartenunterlage wird eine Orthofokarte im Maßstab 1 : 2.000 sein, wobei teilweise Neubefliegungen notwendig sein werden. Überall dort, wo etwa aus Gründen der Begehrbarkeit die oben beschriebenen Aufnahmeverfahren nicht angewandt werden können, wird der Waldzustand mittels waldbaulicher Strukturanalyse festzustellen sein. Die Erhebungen werden teilweise von Mitarbeitern des Landesforstdienstes, teilweise von kombinierten Aufnahmeteams aus dem Forsttechnischen Dienst und dem Landesforstdienst und teilweise vom Aufnahmestab der Waldzustandsinventur gemacht werden, wobei allerdings letzterer für die ggstdl. Aufnahmen erst ab dem Jahre 1988 zur Verfügung stehen wird. Die Aufnahmegruppe wird aus einem Forstakademiker und 1 - 2 Förstern bestehen. Für den Fall, daß in einem Mustergebiet spezielle waldbauliche Fragen oder Probleme im Bereich der Wildbach- und Lawinensituation auftreten, ist die Mitarbeit der Universität für Bodenkultur bzw. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt vorgesehen. Als Grundlage für die Erstellung des Aufnahmeschlüssels dienen die Instruktionen für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur bzw. der Waldzustandsinventur. Die Auswertung des Datenmaterials wird nach einem speziell adaptierten Programm der Waldzustandsinventur an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt erfolgen. Es ist zu hoffen, daß die Aufnahmen in den 33 Erhebungsgebieten spätestens im Jahre 1990 abgeschlossen sein werden.

W a l d b a u l i c h e Z i e l s e t z u n g

Die auf der Basis des erhobenen Istzustandes nunmehr zu erarbeitenden Sanierungsmodelle müssen grundlegend davon ausgehen, daß die überschrittene Belastungsgrenze des Ökosystems Wald wieder unterschritten wird. Dabei muß getrachtet werden, in den Einzugsgebieten Bestandesformen zu erziehen, die von

ihrer Schutzfunktion her optimal intakt sind. Zumindest auf den Standorten mit hoher Schutzwirkung muß versucht werden, Wälder aufzubauen, die der Holzartenzusammensetzung nach möglichst nahe an der natürlichen Waldgesellschaft liegen und ihrer Struktur nach einen Aufbau mit höchstmöglicher Stufigkeit und Ungleichaltrigkeit auf kleinster Fläche mit Durchdringung des gesamten Wuchsraumes durch den Baumbestand aufweisen sollen (IN DER GAND, 1980). Das Sanierungsmodell muß die Eingriffsarten wie natürliche oder künstliche Verjüngung, Jungwuchspflege, Durchforstung, Entrümpelung, Bestandesumwandlung etc. räumlich und der Dringlichkeit nach zeitlich festlegen. Dabei wird es auch notwendig sein, allfällige Erschließungen zu planen und bis zur Erreichung der waldbaulichen Zielsetzungen eventuell auch technische Maßnahmen vorzusehen, außerdem sollen auch Überlegungen der Wirtschaftlichkeit hinsichtlich des Arbeitseinsatzes und der Arbeitstechnik angestellt werden. Die Sanierungsmodelle werden nicht von den Aufnahmeteams zu erarbeiten sein, sondern müssen und können nur von den örtlichen Dienststellen der Wildbach- und Lawinenverbauung in engem Zusammenwirken mit dem Forstdienst und den Waldbesitzern erstellt werden. Die Mustererhebungsgebiete sollen für den Forsttechnischen Dienst Weiserflächen sein, sie sollen die flächenwirtschaftliche Projektierung erleichtern und vom Projektsinhalt her optimieren. Bei Durchführung eines Projektes innerhalb der Weiserfläche selbst, sollte stets getrachtet werden, -so dies aus ökologischen und technischen Gründen möglich ist- nur einen Teil der Fläche zu behandeln und den anderen Teil als sogenannte Nullfläche zu belassen.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- In der Gand, H., 1980: Der Beitrag der Schnee- und Lawinenforschung zum Waldbau auf extremen Standorten.
Bericht zum Kongreß 1980 der IUFRO-Division I in Thessaloniki, 40 S.
- Kastner, A., 1985: Waldschäden in Österreich.
 Sonderdruck aus "Förderungsdienst" Heft 6/85, Wien, S. 161-170.
- Mayer, H., 1971: Die Waldgebiete und Wuchsbezirke Österreichs.
Cbl. ges. Forstw., 88, Wien, S 129-164.
- Prenner, G., 1986: Einfluß der Waldausstattung auf die Hochwasserspitze.
Allg. Forstztg., 97/7, Wien, S 204-206.
- Sprenger, E., 1986. Waldschadenssituation in Tirol unvermindert ernst.
Tiroler Forstdienst, 26/3, Innsbruck, S. 1-3.

UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG AM BEISPIEL VON MASSNAHMEN IN DER
DÜRREN AURACH
GUSTAV ÜBLAGGER

Die Umwelt des Menschen verlangt in den Industriestaaten in allen ihren Belangen nach durchgreifender Verbesserung. Immer mehr erkennt aber der Mensch, daß seine Umwelt eng verflochten ist mit der übrigen Natur, und der Umweltschutz deshalb zur Ökologie konvergiert. Der geringe Unterschied läßt sich durch die Forderung weiter eingrenzen, daß zugunsten der nachhaltigen Bedürfnisse der Bevölkerung gegen die Grundsätze der Ökologie nur so lange geplant und gehandelt werden darf, als dies die Vitalität der Bevölkerung nicht schwächt. Tatsächlich ist dieser Spielraum sehr klein. Eine entsprechende Konvention verzichtet nur auf Nuancen, schafft aber einen Ökologiebegriff, der klar und für den Planenden handhabbar ist. Der Ökologiebegriff (Häckel, 1866) ist auch wesentlich älter als der der Umwelt (Üxküll, 1909). In diesem Sinne wird in diesem Referat umweltverträglich = ökogerecht gesetzt. Der österr. Gesetzgeber hat am Sektor des Wasserrechts dem Sachverhalt übrigens durch folgende Bestimmung Rechnung getragen:

§ 105 lit. m WRG: Im öffentlichen Interesse kann ein Unternehmen insbesondere dann als unzulässig angesehen oder nur unter entsprechenden Bedingungen bewilligt werden, wenn eine wesentliche Beeinträchtigung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer zu besorgen ist.

Zur Erleichterung der der Wasserrechtsbehörde mit dieser Bestimmung aufgetragenen Abwägung kann eine Prüfung dienen,

- * die bei Großprojekten nach den aufwendigen Verfahren und umfangreichen Untersuchungen, die dem Anspruch umfassend und erschöpfend zu sein Rechnung tragen **UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVP)** bzw.
- * bei kleineren Projekten und angemessen geringerem Verfahrens- und Untersuchungsaufwand **UMWELTVERTRÄGLICHKEITSSTUDIE (UVS)** heißt.

Neben dem Ziel der Erleichterung der Tätigkeit der Wasserrechtsbehörden, die im Regelfall im Bereich der Wildbach- und - im Allgemeinendentlich einfacher - der Lawinenverbauung von den Dienststellen der MLV als den Trägern der umfangreichsten einschlägigen Erfahrungen im Lande vorzubereiten sein wird, werden aber mit der Umweltverträglichkeitsprüfung noch andere Wirkungen angestrebt:

1. Wie bei der Einführung der Kosten-Nutzen-Untersuchung, bei der als entscheidendes Ergebnis ein vermehrtes und verbessertes ökonomisches Bewußtsein anfiel, soll mit der UVP das noch weit wichtigere und aktuellere ökologische Bewußtsein der Fachleute gefördert werden.
2. Das Vertrauen der Bevölkerung zu den Planern, das in vielen Bereichen auf sehr schwachen Beinen steht, soll insbesondere durch den Ersatz von Floskeln durch anschauliche, nachprüfbare und einheitliche Fragen und Antworten gewonnen werden.
3. Für weniger erfahrene Planer sollen zutreffende Lösungen angeboten und das Variantenstudium erleichtert werden. Für die Übrigen sollen Prüflisten zur Rationalisierung der Entwurfstätigkeit führen.

Es wäre nun möglich, aus den Erfahrungen mit einfachen Formen der UVP, wie sie etwa im Bereiche des Verfassers mit ökologischen und landschaftspflegerischen Begleitplanungen durchgeführt werden, ein Gedankengebäude zu errichten und den Vorgang zu normieren. Bedeutung und Komplexität der Materie empfehlen jedoch eine aufbauende Vorgangsweise. Dies soll die Mitarbeit kompetenter Fachleute und das Einfließen möglichst vieler Erfahrungen sicherstellen. Dieses Referat soll also mit der Darstellung einschlägiger Überlegungen zu einem ausgewählten Fall den notwendigen Dialog in Gang setzen. Es wird vorausgesetzt, daß am Anfang des Meinungsbildungsprozesses inhaltliche Fragen zu behandeln sind. Die formale Gestaltung der UVP in der MLV sollte einer späteren Phase vorbehalten bleiben. Eine grundsätzliche Gliederung der Prüfungen oder Studien ist aber zweckmäßig. Sie wird folgend vorgeschlagen, wobei der vorgegebene Rahmen zu kürzester Fassung zwingt:

1 Zustand des Wildbach- und Lawinengebietes

- 1.1 Bewertung
- 1.2 Prognose ohne Projekt

2 Projekt

- 2.1 Bewertung
 - 2.1.1 Vorübergehende Belastung der Umwelt
 - 2.1.2 Bleibende Belastung der Umwelt
 - 2.1.3 Verbesserung der Umwelt
 - 2.1.4 Bilanz
- 2.2. Prognose bei Realisierung des Projektes

3 V o r s c h l a g e r g ä n z e n d e r M a ß n a h m e n

- 3.1 Ausgleich von Nachteilen durch das Projekt
- 3.1 Verbesserungen des Projektes

4 S c h l u ß f o l g e r u n g e n

- 4.1 Bilanz Ökologie und Umweltschutz
- 4.2 Empfehlung: Ausführung, Neuprojektierung, Ablehnung

Bei Wildbach- und Lawinenverbauungsprojekten, die stets Vorhaben zum Schutze der Umwelt sind und im Sinne der eingangs getroffenen Festlegung meist auch zur Verbesserung von Ökosystemen beitragen, wird die UVP überwiegend eine Optimierungsaufgabe haben. Dementsprechend werden die meisten derartigen Projekte durch Mißstände in den Ökosystemen der Wildbäche und Lawinen ausgelöst. Eine Ablehnung wird deshalb nur bei Fehlplanungen in Frage kommen.

Zur Eröffnung der Diskussion über die UVP in der WLV wird das Verbauungsprojekt 1985 Dürre Aurach, Gde. Aurach am Hongar, Bez. Vöcklabruck gewählt. Dies aus folgenden Gründen:

- a) Die UVP für dieses Projekt war planmäßig vorzunehmen; im kommenden Jahr soll mit der Verwirklichung des Projektes begonnen werden.
- b) Die Dürre Aurach ist ein ökologisch und landschaftlich sensibles Wildbachgebiet.
- c) Die Handhabung des § 105 lit. m WRG bietet gerade in der ausgewählten Region eine Fülle von Problemen.

1 Z u s t a n d d e s W i l d b a c h g e b i e t e s D ü r r e A u r a c h

Das gesamte Einzugsgebiet der Dürren Aurach umfaßt rd. 36 km². Davon nimmt der in der Verwaltung der WLV stehende Fächer der Quellbäche ca. 8,5 km² ein. Die Schwemmkegel und rezenten Talfüllungen mit ihren Gefällen von 1 - 5% liegen in einem glaziofluviatilen Sohlental, was bei entsprechenden Auslösesituationen zu umfangreichen Geschiebeumlagerungen führt. Den Untergrund der Alluvion der Dürren Aurach bilden glaziale Lockergesteine, die aber im Bach selbst nicht aufgeschlossen sind. Die typischen Wildbachgräben steilen auf etwa 30% Gefälle auf und schneiden in hier anstehenden Flysch der Oberkreide und seine Verwitterungsschwarte ein. Der Jungschutt ist kantig und übersteigt mit seinem maßgeblichen Durchmesser das Schleppvermögen des Unterlaufes. Im Sammelgebiet anstehende glaziale Restmassen werden vor allem bei Großereignissen ausgeräumt, deren letztes für die Zeit innerhalb der vergangenen 300 Jahre nachweisbar ist. Seine Geschiebefracht lag in der Größenordnung von über 100.000 m³, wobei ein erheblicher Teil einer immer noch aktiven Großbrutschung im Steingraben zuzuordnen ist.

Der glazialen Morphogenese des Tales entspricht ein deutlicher Gefällsknick am Übergang von Gräben zu den Schwemmkegel- bzw. Tallaufen mit den Folgen einer dort auch bei häufigen Ereignissen sehr unausgeglichene Wasser-Geschiebebilanz. Dies kommt in den zahlreichen aktungskundigen Beschwerden über Uferanrisse zum Ausdruck.

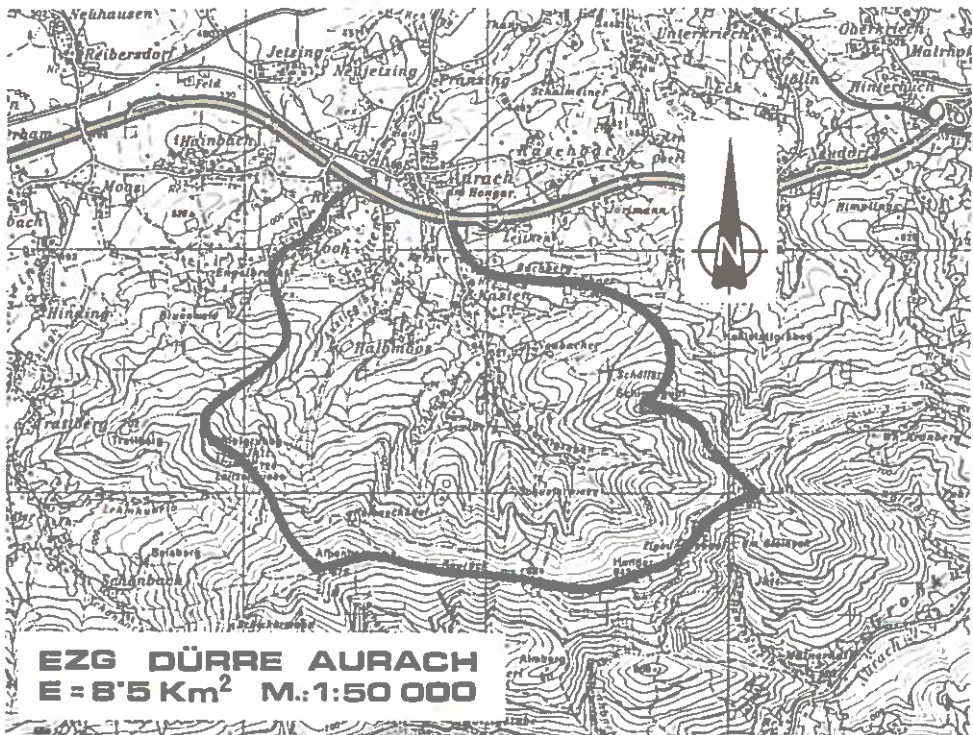


Abb1: Übersicht über das Wildbachgebiet Dürre Aurach

Das Wildbachgebiet ist zu knapp 70% bewaldet. Die Wälder hatten seit alters her Bedeutung für die Gewinnung von Kuf- und Schiffholz, in der Spätphase und im Kammereich des Hongar (972 m) auch von Hallholz (Salzgewinnung).

Das Wild spielt als waldgefährdender Faktor erst seit dem Ende des 19. Jahrhunderts eine Rolle, als die Winterfütterung eingeführt wurde und der Stand exorbitant anstieg. Die österreichische Forstinventur 1970-1980 stellte Verbißschäden und teilweise über 10% Schälsschäden fest. Mittlerweile wurde der Hongar rotwildfrei gestellt.

Die Waldschäden durch Immissionen sind erheblich. Der Hongar ist für die aus West bis Nord anströmenden Fernimmissionen die erste bedeutende voralpine Erhebung und liegt zudem im Bereich der Nahimmissionen der Vöckla-Ager-Industriezone (BIN 1984 - Bioindikatornetz : 0,081 - 0,11 % SO₂, WZI und WSE 1984 - Waldzustandsinventur und Waldschadenserhebung: bis Verlichtungsstufe 3).

Der Steinbach wurde zur Wasserkrafterzeugung (Mühle) genutzt. Das Mühlgerinne in der linken Talflanke wurde trotz wiederholter Bachausbrüche als Hauptgerinne angesehen und die ursprüngliche Bachstatt in der Tiefenlinie aufgelassen und in letzter Zeit zum Teil in landwirtschaftliche Bewirtschaftung genommen.

1.1 B e w e r t u n g

Das hohe Bewaldungsprozent hat die Folgen der hydrologisch hochwirksamen konzentrischen Anlage der Quellbäche im allgemeinen gemildert. Nur bei Niederschlagsexzessen traten nach Überschreitung des Speichervermögens des Waldbodens katastrophale Wirkungen auf. Möglicherweise war manchmal auch der Waldzustand nicht optimal. Zahlreiche Dokumente über Waldbeschauen und ähnliches der kaiserlichen Aufseher deuten auf fallweise Übernutzungen hin. Es wurden nicht nur die Gräben, sondern auch die Siedlungen und Kulturgründe in den Schwemmkegel- und Tallaufbereichen verwüstet. Mächtige Erosionskehlen, deren jüngste noch wenig verschliffen und mit relativ dünner Humusauflage versehen sind, belegen diese Ereignisse.



Abb.2: In der Dürren Aurach zählen die Erosionskehlen zu den wichtigsten stummen Zeugen der Wildbachkatastrophen.

Der Wald wurde in neuerer Zeit forstlich vorbildlich bewirtschaftet. Dies wird aber durch die Folgen der Wildüberhege zunehmend und die Immissionsschäden vermutlich völlig in Frage gestellt.

In den Gräben sind nach einer längeren Periode ohne Hochwasserexzesse viele Bäume in die Hochwasserabfluß- und Nachböschungsbereiche eingewachsen. Die Uferbegleitvegetation an den Schwemmkegel- und Tallaufen ist vom Standpunkt des Landschaftsschutzes aus gesehen wertvoll. Ökologisch nachteilig ist das Einwachsen des Starkholzes in den Abflußquerschnitt, was zur Gefährdung benachbarter Lebensgemeinschaften führt. Die zu geringe Verjüngung des Uferbewuchses beruht auf der Traufwirkung der überalterten Bäume. Dadurch ist die nachhaltige Wirkung des Uferbewuchses in Frage gestellt.

1.2 Prognose ohne Projekt

Erwartet werden im Auftragsbereich der Wildbäche (Schwemmkegel- und Tallauf) folgende Wirkungen der Ufervegetation:

1. Festigung der Ufer
2. Beschattung des Bachlaufes und Wassers (Wassertemperatur, Luftfeuchte)
3. Angebot für die Nahrungskette der Wassertiere
4. Windschutz (Verdunstung, Luftfeuchte)
5. Immissionsschutz, Staubfilter
6. Schutz angrenzender Biozönosen bei Hochwasser vor der Wasserwelle, dem Geschiebe und dem Unholz
7. Erleichterung des Austausches von Grund- und Bachwasser
8. Humusbildung für weitere biologische Uferfestiger
9. Einstand für Säuger, Vögel, Insekten usw.
10. Wohltuende Beeinflussung des Landschaftsbildes

Durch die Überalterung des Bestandes werden insbesondere die Wirkungen 1,4,5,6 und 9, durch das Einwachsen des Altholzes ins Profil die Wirkungen 1 und 6 beeinträchtigt. Die Erneuerung des Uferbewuchses wird auf erhebliche Strecken erst nach seiner schlagartig erfolgenden Zerstörung vor sich gehen können, wenn nicht fördernd eingegriffen wird. Derzeit sind sämtliche Wirkungen des Uferbewuchses nachhaltig gefährdet. In den Hochwasserabfluß einstürzendes Starkholz wird in der unmittelbaren und fallweise auch in der ferneren Umgebung des Unterwassers (Brücken) zu ökologisch und landschaftlich abträglichen Folgen führen.



Abb. 3: Die Lebensgemeinschaften der Bachufer werden im Bereich von Uferanbrüchen völlig zerstört. Darüber hinaus wirken sich Uferanbrüche in Wildbächen mit Geschiebeüberschuß weit ins Unterwasser negativ aus.

Die landschaftlich wunderschöne Kulisse des Uferbewuchses im Hintergrund ist in einem ökologisch nicht unbedenklichen Zustand.

Der bei kleineren Hochwasserereignissen in kleinen Abschnitten, bei Großereignissen aber weitläufige Zusammenbruch des Uferbewuchses wird auch zur Mobilisierung von Geschiebemengen aus Uferanbrüchen und damit zur ökologisch ungünstigen Labilisierung des ohnehin angespannten Wasser - Geschiebehaushaltes führen.

Die Holzartenselektion und Verjüngungsschwäche in den vor Hochwässern schützenden Wäldern im Sammelgebiet durch die Wildüberhege, vor allem aber der zunehmende Vitalitätsverlust dieser Wälder durch die Immissionen wird, auch wenn sofort alle möglichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden sollten, noch mehrere Jahrzehnte eine Zunahme des Katastrophenpotentials, das zudem auf einem zumindest zeit- und abschnittsweise geschwächten natürlichen Uferschutz trifft, hervorrufen. Die Vernichtung erheblicher Teile einer Landschaft, die, gemessen am Sachverhalt, daß es sich um eine durch dokumentierte 6 Jahrhunderte hindurch vom Menschen gestaltete Kulturlandschaft handelt, nicht weit vom ökologischen Optimum entfernt und daher höchst schützenswert ist, ist damit programmiert. Die Sorgen der Gemeinde und der Anrainer sind somit voll gerechtfertigt.

2. Die proj e k t i e r t e n M a ß n a h m e n

2.1 Bewertung

Das Projekt sieht für die Maßnahmen folgende Grundsätze vor:

- a) Das Fassungsvermögen der Bachstatt soll nicht durch Erhöhungen der Ufer vergrößert werden. Die dzt. vorhandenen "natürlichen" Retentions- (=Überschwemmungs-)räume sind zu erhalten. In der Bachstatt ist das schadlos verkraftbare Geschiebe-Umlagerungsvolumen möglichst groß zu halten. Doppelprofile sind günstig, der Uferbewuchs ist entsprechend zu pflegen.
- b) Der Schutz gefährdeter Ufer ist so vorzunehmen, daß den ökologischen Forderungen nach optimalem Bewuchs mit seinen unter Kapitel 1.1 angeführten Funktionen entsprochen wird.
- c) Wo bei der Schließung ökologischer Wunden die Bachstatt gestaltet wird, ist auf ihre Heterogenität (Verstärkung lediglich des Prallufers, natürliche Linienführung, wechselnde Sohlenbreite, Ufer- und Sohlenrauigkeit, Förderung von Gumpen als Lebensraum und - bei Trockenheit - Überlebensraum der Fische, Schaffung von Niederwasserge-rinnen für den Fischzug, Belüftung des Wassers durch niedrige Über-fälle) zu achten. Mit den Maßnahmen zur Belüftung des Wasserkörpers ist gleichzeitig die Stabilisierung des Benthos im Oberwasser be-absichtigt. Weiters sollen dadurch die Folgen der unvermeidlichen Sohlschwankungen für die Ufervegetation verringert werden.
- d) Am Schwemmkegel- und Tallauf sollen so gut wie ausschließlich natür-liche Baumaterialien (lebende Pflanzen, einwachsende Steine, Holz) verwendet werden. Sie sollen so eingesetzt werden, daß durch ge-schickte Linienführung die Orte erhöhten Wanddruckes bei Hochwässern vorherbestimmt und damit die Länge des erforderlichen Uferschutzes beschränkt wird.

- e) In den Wasser - Geschiebehaushalt wird an ökologisch unbedenklichen bzw. erwünschten Orten so eingegriffen, daß die Weiterentwicklung der ökologischen Systemkomplexe Schwemmkegel- und Tallauf auf möglichst lange Abschnitte und Zeiträume gesichert werden kann. Dazu gehört die Fortführung der im Projekt eingeleiteten Pflege des Uferbewuchses durch den Betreuungsdienst.

Insgesamt sieht das Projekt im wesentlichen folgende Maßnahmen vor, wobei die Gesamtlänge der behandelten Wildbachabschnitte über 13 km beträgt:

- 1) 3 Stück Dosieranlagen mit Konsolidierungsstufe
- 2) 10 Stück Konsolidierungsquerwerke aus Holz oder Beton
- 3) 7 Stück Steinrampen
- 4) 53 Stück niedrige Rundholzschwellen
- 5) 3 Stück Brücken (zur Ausschaltung von potentiellen Verklausungsstellen)
- 6) 1410 lfm Ufersicherung durch Steinsätze mit Buschlagen und Bepflanzung (d.s 5,45 % der Uferlänge der behandelten Bachstrecke)
- 7) 20 lfm Ufermauer in Beton (an einer Engstelle in besiedeltem Bereich)

Die Kosten des Projektes wurden mit S 8,5 Mio. ermittelt.

2.1.1 Vorübergehende Belastungen der Umwelt

An den Schwemmkegel- und Unterläufen ergeben sich bei der Durchführung der Maßnahmen zum Uferschutz geringfügige Störungen des Benthos und eine jeweils kurze und ungefährliche Schwebstoffführung. Die Pflege des Uferbewuchses führt bei der notwendigen Verjüngung zu nach bereits vorgenommenen Testen nicht merkbaren Lücken.



Abb. 4: Überalterte Ufervegetation und in das Abflußprofil einwachsende Bäume. Beim Eintritt einer Hochwasserkatastrophe ist hier eine breit angelegte Zerstörung der Biozönose zu erwarten. Die Unholz- und Geschiebeführung des letztjährigen unbedeutenden Hochwassers hat an Stamm und Wurzeln bereits deutliche Spuren hinterlassen.

In den Gräben bringen auf sehr kurzen Strecken die Maßnahmen zur Geschiebemanagement Eingriffe in die aktuelle Ufervegetation und eine bei jahreszeitlicher Abstimmung und in Zusammenarbeit mit den Fischereiberechtigten ungefährliche Schwebstoffführung.

2.1.2 B l e i b e n d e B e l a s t u n g e n d e r U m w e l t

Die Dosieranlagen und in unerheblichem Ausmaß die Konsolidierungsmaßnahmen bilden Hindernisse für einige Wasserbewohner. Etwa die Hälfte der Sperren erfordert Sprunghöhen von über 0,75 m, sodaß ein Fischzug behindert oder unterbunden wird. Tatsächlich trocknen die Bäche aber fallweise aus. Erfahrungsgemäß wachsen Querwerke gut in die Ufer- und Bachsysteme ein. Durch die Fixierung des von den Anrainern aus der Tiefenlinie an den linken Einhang in das ehemalige Mühlgerinne verlegten natürlichen Laufes des Steinbaches werden massivere Einbauten erforderlich und trotzdem - weitaus bedeutender - schwere und wiederholte Schäden an der Ufervegetation und an benachbarten Biozönosen für eine absehbare Zukunft programmiert. Behindert wird dadurch weiters die natürliche Interaktion des Bach- und Grundwassers mit ihren ökologisch erwünschten Wirkungen. Der Projektant hat diesen Teil seines Entwurfes darauf abgestimmt, daß nur die projektierte Lösung bei den Anrainern willkommen und damit durchsetzbar ist.

2.1.3 V e r b e s s e r u n g e n d e r U m w e l t s i t u a t i o n

In den Schwemmkegel- und Talläufen wird die Verjüngung der Ufervegetation zur Vermeidung kleinräumiger Ökokatastrophen eingeleitet. Danach kann die nachhaltige Bewirtschaftung durch den Betreuungsdienst der Wildbach- und Lawinenverbauung erfolgen.

Die sich wiederholenden tiefgreifenden Rückschläge in der ökologischen Entwicklung durch Uferabbrüche und Bachverwerfungen werden durch die geschiebemanagierenden Maßnahmen, die Beseitigung von Verklauungsstellen und die Verbesserung der Wirkung des Uferbewuchses in Zahl und Ausmaß verringert.

Unterhalb der Querwerke bilden sich Gumpen, die bei der öfter eintretenden Austrocknung der Bäche ein Überleben der Fische und den Ausgangspunkt für eine Wiederbesiedlung der ausgetrockneten Strecken durch zahlreiche Tierarten bilden.

Die Sohlenfluktuationen werden verringert und damit Katastrophen von den Biozönosen der Ufer und dem Benthos ferngehalten. Die Vermeidung von Katastrophen für Arten und Individuen ist aber eine ökologische Grundforderung. Ihr wird damit weithin entsprochen.

Es soll nicht vergessen werden, daß durch die Verringerung des Geschiebeüberschusses der Schutz der Siedlungen, Verkehrswege und Kulturgründe, aber auch der zum Teil hochwertigen Biozönosen erreicht wird. Besonders anschaulich ist der Schutz der bis zur Optimalphase lange benötigten Lebensgemeinschaften der Böden, wenn die Erosion und die Überschotterung bei Hochwässern eingeschränkt wird.

2.1.4 B i l a n z

Die gut geplanten und geringfügigen Belastungen werden durch die erzielbare Verbesserung der Umweltsituation bei weitem überkompensiert. Die Bilanz geht also eindeutig zugunsten des Projektes auf, sogar wenn auf die sozioökonomischen Zwecke des Projektes keine Rücksicht genommen würde. Das Projekt 1985 Dürre Aurach kann daher den Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zugeordnet werden. Für den Abschnitt der schwemmkegelartigen Talfüllung des Steinbaches ist allerdings eine Beibehaltung ökologisch ungünstiger Konstellationen gegen den sozioökonomischen Bedarf abzuwägen. Da der sozioökonomische Erfolg (Schutz von Objekten und Kulturgründen) durch die Verlegung des Baches an seinen natürlichen Platz in der Tiefenlinie des Tales nicht nur gleichermaßen, sondern sogar besser zu erzielen ist, steht der Ablehnung dieses Teils des Projektes aus ökologischen Gründen nichts entgegen. Die Einbuße an unter Umständen widerrechtlich genutztem Grund des Wassergutes ist gering und wird durch die schwere und häufigere Beeinträchtigung bei Hochwässern mehr als ausgeglichen.

2.2 P r o g n o s e b e i R e a l i s i e r u n g d e s P r o j e k t e s

Nach der Verwirklichung des Projektes wird besonders unter Berücksichtigung der dauernden Betreuung und Instandhaltung eine erhebliche Verbesserung der Lage im Ökosystem unter Zugrundelegung der jetzigen Grundbedingungen zu erwarten sein. Gerade die Grundbedingungen verändern sich aber durch das Waldsterben und die Wildüberhege in einem in dieser Region noch nie dagewesenen Ausmaß. Auf dieses Problem geht das Projekt nicht ein. Es ist eine Verschlechterung der Abfluß- und Erosionsdynamik im Gange und bis zu einem Ausmaß nicht aufzuhalten, das vorbeugende und vorbereitende Maßnahmen dringend empfiehlt.

3 V o r s c h l ä g e f ü r e r g ä n z e n d e M a ß n a h m e n

Die Vorschläge sind auf Grund der UVP im wesentlichen bereits in das Genehmigungsverfahren nach dem WBFG eingeflossen.

3.1 A u s g l e i c h v o n N a c h t e i l e n , d i e d u r c h d a s P r o j e k t e n t s t e h e n

- a) Die vorübergehenden ökologischen Beeinträchtigungen durch Bauarbeiten können zum Teil durch die Anwendung der Trockenbauweise (Bachumleitung) minimalisiert werden.

- a) In einer Phase, in der ökologische Fragen mit planerischen Laien zu erörtern sind, hat auch die formale Frage ihre imagebildende Bedeutung. Hierzu sollen die Pläne so verfaßt werden, daß das gegenseitige Verständnis erleichtert wird. So sollte in den Lageplänen auf Hilfslinien, wie exakt konstruierte Bachachsen und fiktive Böschungslinien verzichtet werden, weil diese eine nicht erwünschte und nicht vorgesehene Geometrie der Maßnahmen vortäuschen.

3.3 Vorgeschlagene Verbesserungen

Das Projekt sollte die mit dem Waldsterben und der Wildüberhege im Sammelgebiet in Gange gesetzte Dynamik stärker berücksichtigen und spätere Gegenmaßnahmen vorbereiten. Hierzu wird vorgeschlagen:

- a) * Anlage von eingezäunten Probeflächen zur Demonstration der Folgen der Wildüberhege und der waldbaulichen Möglichkeiten (Naturverjüngung, Vielfalt der Holzarten).
- * Umwandlung der im Sammelgebiet vorhandenen etwa 25 ha Ausmaß aufweisenden nicht standortsgemäßen Fichtenmonokulturen, soweit dies im dzt. Entwicklungszustand noch möglich ist.
- b) Verstärkung der ausgleichenden Wirkungen der Geschiebedosieranlagen durch die Vergrößerung des Volumens der Ausgleichsräume, um die auf Grund des bereits beschriebenen Bachcharakters ökologisch besonders bedenklichen Folgen von Großkatastrophen zu mildern.

Dosieranlagen wirken ökologisch besonders günstig weil

- * wenig ungünstige Auswirkungen durch die Anlage selbst weitreichenden Schutzwirkungen gegenüberstehen. Im gegenständlichen Fall hat der Projektant gleichzeitig wirtschaftlich und ökologisch planend die Standorte so gewählt, daß eine Konsolidierungsstufe auch an Ort und Stelle alle negativen Auswirkungen kompensiert. Damit werden nämlich zum Teil massive Nachböschungen abgestützt.
- * sie neben dem in der Bachstatt zur Verfügung stehenden Umlagerungsraum die natürlichste Form des Ausgleiches von Exzessen im Wasser-Geschiebehaushalt darstellen. Geschiebe wird bei richtiger Dimensionierung der Anlage nur nach Maßgabe der jeweils verfügbaren Transportleistung des Baches abgegeben.
- * der Ausgleich über mehrere Ereignisse hinweg erfolgen kann und deshalb oft die hinsichtlich des Tiefenschurfes besonders gefährliche Anlaufphase und die hinsichtlich der Anlandung wirksame Ablaufphase des Ereignisses entschärft werden. Die günstigen ökologischen Wirkungen sprechen für sich.
- c) Wenn kein Konsens mit den Grundbesitzern am Steinbach zu erreichen ist, sollte dort nur die Dosieranlage errichtet und auf die Maßnahmen im Bereich der schwemmkegelartigen Talfüllung verzichtet werden. Kommt ein Konsens zustande, wäre auf die Führung des Baches in der Tiefenlinie umzuprojektieren. Der für eine ausreichende Ufervegetation erforderliche Grund wäre von den Anrainern zu verlangen. Die Dosieranlage verhindert auch Exzesse in diesem Bereich, wirkt aber darüber hinaus weit ins Unterwasser.

4. S c h l u ß f o l g e r u n g e n

4.1 B i l a n z

Es ergibt sich für das Projekt bei Berücksichtigungen der vorgeschlagenen ergänzenden Maßnahmen eine uneingeschränkte positive ökologische und umweltschützerische Bilanz. Es muß klar sein, daß in anderen Fällen, in denen ökologische Nachteile gegen sozioökonomische Vorteile abzuwägen sein werden, erheblich kompliziertere und quantifizierende Untersuchungen erforderlich sein werden.

Diesbezüglich sind im Rahmen der österreichischen Wildbach- und Lawinenverbauung Erleichterungen von den Gefahrenzonenplänen zu erwarten. Diese weisen nämlich nicht nur auf den räumlichen Umfang der möglichen Wirkungen des Bemessungsereignisses hin, sondern erlauben zusammen mit den Richtlinien Hinderungsgründe auch die Durchsetzung ökologischer Maßnahmen zum Schutz vor Wildbachhochwässern und Lawinen.

4.2 E m p f e h l u n g

Im Sinne der vorstehenden Vorschläge kann das Verbauungsprojekt 1985 Dürre Aurach im Sinne seiner Umweltverträglichkeit uneingeschränkt zur Ausführung empfohlen werden.

Abschließend wird festgehalten, daß die Umweltverträglichkeitsprüfung auch in der vorgestellten Form der Umweltverträglichkeitsstudie geeignet ist, dem Wirkungs- und Beziehungsgefüge der Wildbach- und Lawinengebiete stärkere Beachtung zu verschaffen, das Bewußtsein zu fördern, daß sich die Grundbedingungen jeder Planung laufend ändern und auch das beste Projekt nach seiner Verwirklichung der dauernden Überwachung und Betreuung bedarf.

Die Forderung nach Umweltverträglichkeitsprüfungen wird in allen Bereichen des Planens und Handelns und von Fachleuten ebenso wie von breiten Kreisen der Bevölkerung erhoben. Die Beteiligten sollten von der Chance Gebrauch machen, durch ihre eigene Initiative das Verfahren einfach und zweckmäßig zu gestalten und die Prüfung auf dem eigenen hohen fachlichen Niveau vorzunehmen. Tun sie das nicht, besteht Gefahr, daß die Prüfungen auf weniger geeigneter Basis von Fachfremden durchgeführt wird.

L I T E R A T U R

- | | |
|-------------------|---|
| HAECKEL, E., 1866 | Generelle Morphologie der Organismen,
Neuaufgabe 1906 |
| UEXKUELL, 1909 | Umwelt und Innenwelt der Tiere
2. Auflage, Berlin 1921 |

V I I . A N H A N G

F E D E R A L F O R E S T R Y R E S E A R C H O R G A N I Z A T I O N

Institute for torrentology
A-1130 Wien - Schoenbrunn, Austria

EXCURSION GUIDE FOR THE SCHMITTENBACH

At Zell am See, region Mittepinzgau, Salzburg country

Short version, adapted by
G. Kronfellner-Kraus, G. Ruf and H. Schaffhauser

State: August 1986

CASE HISTORY

The Schmittenbach at Zell am See in the region Mittelpinzgau, Salzburg country, was one of the most dangerous torrents of the region Pinzgau in the last century. Its watershed (10,0 km²) was deforested to a large extent and mud flows and avalanches were nothing out of the ordinary. Technical and biological measures (correction of the downstream channel, check dam chains in the gullies, drainage and revegetation of the scarps of 30 ha), together with the reorganization of the management of the watershed area (reduction of grazing by purchase of 5 pastures and afforestation of 150 ha) as well as complementary avalanche control, all made mainly from 1880 to 1900, lead to restoration to a large extent. The catastrophic year of 1966 showed however, that increasing settlement and touristic development create new problems, which have to be reconciled with the potential of danger.

AIMS OF THE INVESTIGATIONS

The Schmittenbach was integrated into the net of experimental watersheds of the Institute for torrentology at the Federal Forestry Research Organization Vienna, to improve the fundamentals of project design and danger zonation (potential of floods and bed load) by exact measurements, and especially to clarify questions of management. It is highly commendable that the institute gets great support from the cooperation with the practical torrent and avalanche control service and the hydrological service.

INVESTIGATIONS

From a special flight of the year 1967 the photogrammetric department made a contour map in the scale of 1:5000 (MAYER and TIROCH; FBVA-F-6), in which the new skiing tracks can be seen now. Relative later the measurement equipment was installed, starting with the construction of the discharge gage (1977) and the use of recording and printing precipitation gages (1978; RUF 1981). These precipitation records are completing measurements by the Meteorologische Zentralanstalt Vienna, running here since more than hundred years (1876) in Zell am See and at the Schmittenhöhe.

By means of sprinkling experiments on measurement plots the effect of different vegetation cover on runoff and erosion was tested (SCHAFFHAUSER, 1979). What concerns recording of snow data there were temporary tests of electronical equipments (ultrasonic snow gage and neutron sonde for the determination of water equivalence) at the Schmittenhöhe in cooperation with the Institute for Electronics of the University of Graz (Prof. FRITSCHÉ †). Avalanches and bed load transport are observed currently by quantity (at sedimentations and in a sedimentation basin). As far as there are already results the literature is cited as follows.

L I T E R A T U R E

- HARTWAGNER, H., 1963: Die Verbauung des Schmittenbaches und die Aufforstung seines Einzugsgebietes. Ms. hektographiert, 13 S.
- KOIDL, H., 1969: Hochlagenaufforstung Schmittenbachgebiet vor Vollendung. Allg. Forstztg., 80, H. 7, 166 - 167.
- KRONFELLNER-KRAUS, G., 1967: Abfluß- und Abtragmessungen in Österreich im Sinne der internat. FAO/EFC/TORR-Klassifikation für Wildbach-Einzugsgebiete. XIV. IUFRD-Welt-Kongress, München, Sektion 11, 349 - 361.
- 1985: Forschung in kleinen Mustereinzugsgebieten in Österreich; Ziele, Methoden und ausgewählte Ergebnisse.
Research in small experimental watersheds in Austria; Aims, Methods and selected results.
In: Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 156/1985, 161 - 168.
 - 1986: New Results and experiences in the quantitative estimation of torrents. 15th Session of FAO/EFC/MW-WP, Ms. 17 pp.
- RUF, G., 1977: Konzept und Methodik hydrologischer Untersuchungen in den Mustereinzugsgebieten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Wildbach- und Lawinenverbau, Sonderheft November 1977, 80 - 93.
- 1981: Abflußmeßanlagen in geschiebeführenden Wildbächen. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 138, 125 - 136.
 - 1986: Abflußmessungen zur regionalen Verbesserung der Hochwasserberechnung in Wildbächen. Jahresbericht 1985 der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 132 - 136.
- SCHAFFHAUSER, H., 1979: Beregnungsversuche auf Schipisten, Informationsdienst der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Allgemeine Forstztg., 179. Folge.

A P P E N D I X

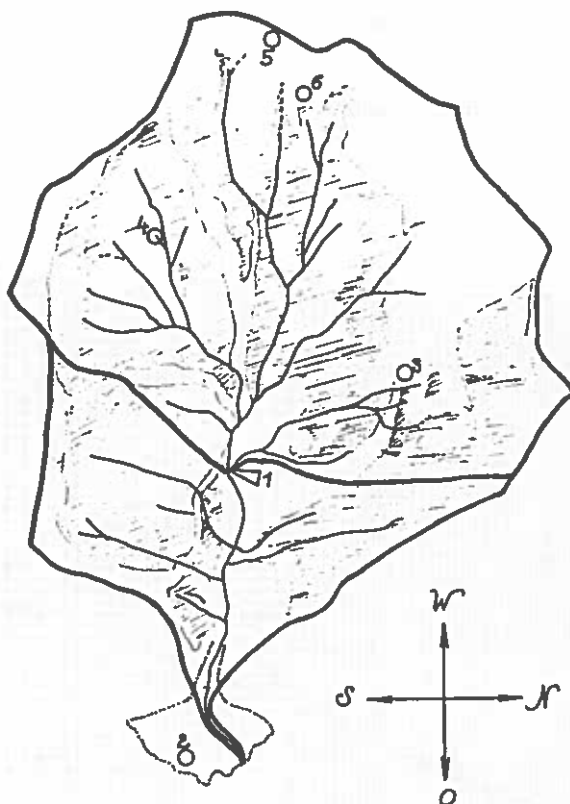
- 1) Experimental watershed Schmittenbach, main hydrologic characteristics and net of stations (FBVA-WL/b).
- 2) Frequency distribution of annual floods.
- 3) Photos.

Appendix 1:

Experimental watershed Schmittenbach, main hydrologic characteristics and net of stations (FBVA):

Total area from ridge to the mouth:	10,03 km ²
catchment area to the gage station	7,26 km ²
forested area of it	4,60 km ² = 63 %
grassland and pasture of it	2,66 km ² = 37 %
exposition: east (from north-east to south)	
shape: round (kidney-shaped), length: width = 0,8	
geology: paleozoic schist	
altitude range: highest point	1924 m a. sl.
lowest point	905 m a. sl. (gage station)
	1059 m
length of the main channel: 3100 m	
mean head of the main channel: 34 %	
normal value of annual precipitation:	Zell am See 1056 m
	Schmittenhöhe 1320 m
normal value of the mean annual temperature:	Zell 6,5°C
	Schmittenhöhe 1,7°C

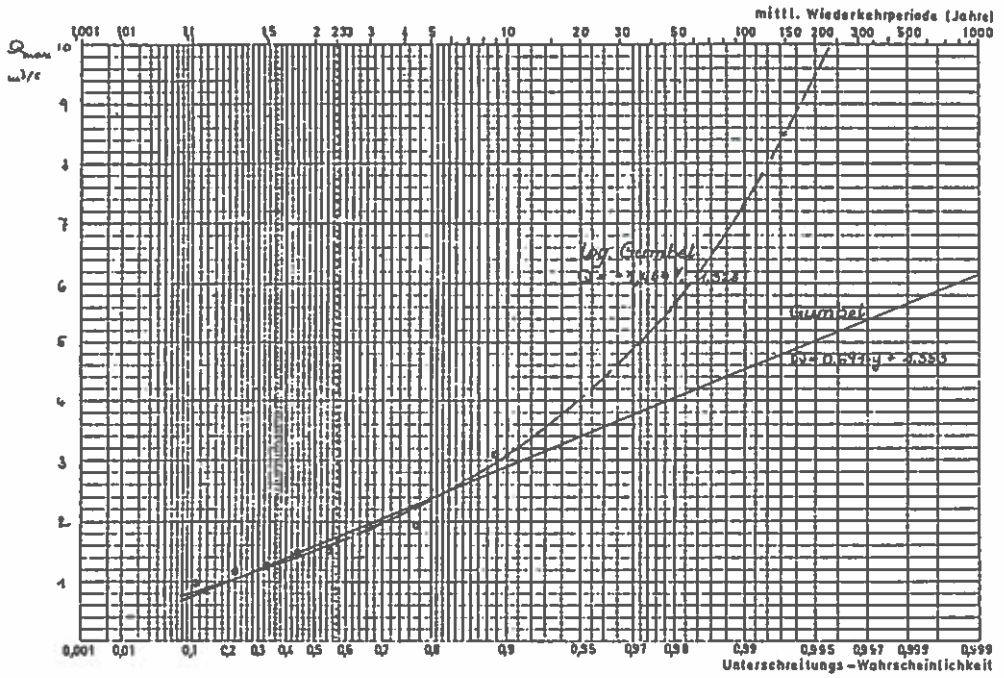




- 1 = discharge gage station (FBVA), since 1977/78
- 2 = base station Zell/See: daily precipitation, temp., height of snow (official station of the Met. Zentralanstalt)
- 3 = precipitation station Sonnmalm: automatic precip. pickup with printer; all-year (FBVA)
- 4 = precip.station Breitenbach: raingage; only summer (FBVA)
- 5 = station Schmittenhöhe: autom. precip.gage, temp., height of snow, radiation (official station of the Met. Zentralanstalt).
- 6 = snow gage Zeller Hochalm: ultrasonic gage (FBVA/Univ. Graz), temporary.

Appendix 2:

Frequency distribution of annual floods:



The series is still too short to select the suitable distribution.

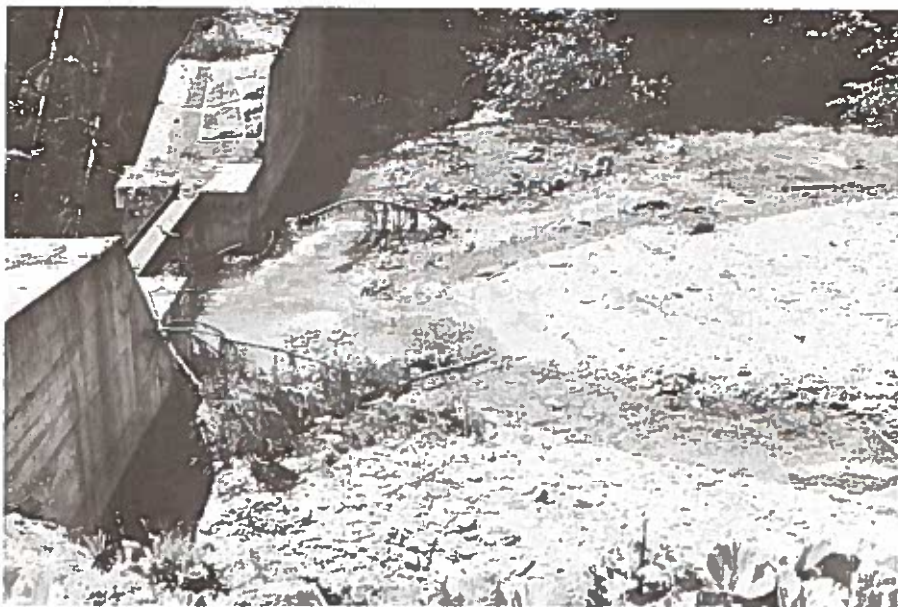
Appendix 3:

Photos:

The forest from restoration works made about 1900 and its reduction by skiing tracks in the last centuries



A sedimentation basin behind a storage dam serves as an indicator for the bed load transport.



The discharge measurement station "Schmitten".



Aus dem Publikationsverzeichnis der Forstlichen Bundesversuchsanstalt

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

- 1981 135 Österreichisches Symposium Fernerkundung. Veranstalter 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 ÖS 250.-- 217 S.
- 1981 136 Großdüngungsversuch Pinkafeld
Johann, Klaus: Ertragskundliche Ergebnisse
Stefan, Klaus: Nadelanalytische Ergebnisse
Preis ÖS 150.-- 131 S.
- 1981 137/I Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen. IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen. Tagungsbeiträge zur XI. Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchschaadensachverständiger, 1.-6. Sept. 1980 in Graz, Österreich.
Preis ÖS 180.-- S. 1-164
- 1981 137/II Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen. IUFRO-Fachgruppe S2.09-00 Luftverunreinigungen. Tagungsbeiträge zur XI. Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchschaadensachverständiger, 1.-6. Sept. 1980 in Graz, Österreich.
Preis ÖS 200.-- S. 167-328
- 1981 138 Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (3). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen.
Preis ÖS 200.-- 162 S.
- 1981 139 Zuwachskundliche Fragen in der Rauchschaadensforschung. IUFRO-Arbeitsgruppe S2.09-10 "Diagnose und Bewertung von Zuwachsänderungen". Beiträge zum XVII. IUFRO-Kongress.
Preis ÖS 100.-- 85 S.
- 1981 140 Standort: Klassifizierung - Analyse - Anthropogene Veränderungen. Beiträge zur gemeinsamen Tagung der IUFRO-Arbeitsgruppen S1.02-06 (Standortsklassifizierung) und S1.02-07 (Quantitative Untersuchung von Standortsfaktoren). 5.-9. Mai 1980 in Wien, Österreich.
Preis ÖS 250.-- 239 S.
- 1981 141 Müller, Ferdinand: Bodenfeuchtheitsmessungen in den Donauauen des Tullner Feldes mittels Neutronsonde.
Preis ÖS 150.-- 51 S.

- 1981 142/I Dickenwachstum der Bäume. Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9.-12. September 1980.
Preis ÖS 250.-- S. 1-235
- 1981 142/II Dickenwachstum der Bäume. Vorträge der IUFRO-Arbeitsgruppe S1.01-04, Physiologische Aspekte der Waldökologie, Symposium in Innsbruck vom 9.-12. September 1980.
Preis ÖS 250.-- S. 239-469
- 1982 143 Mildner, Herbert; Haszprunar, Johann; Schultze Ulrich: Weginventur im Rahmen der Österreichischen Forstinventur.
Preis ÖS 150.-- 114 S.
- 1982 144 Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (4). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 Wildbäche, Schnee und Lawinen.
Preis ÖS 300.-- 297 S.
- 1982 145 Margl, Hermann: Zur Alters- und Abgangsgliederung von (Haar-)Wildbeständen und deren naturgesetzlicher Zusammenhang mit dem Zuwachs und dem Jagdprinzip.
Preis ÖS 100.-- 65 S.
- 1982 146 Margl, Hermann: Die Abschüsse von Schalenwild, Hase und Fuchs in Beziehung zu Wildstand und Lebensraum in den politischen Bezirken Österreichs.
Preis ÖS 200.-- 42 S.
- 1983 147 Forstliche Wachstums- und Simulationsmodelle. Tagung der IUFRO Fachgruppe S4.01-00 Holzmessung, Zuwachs und Ertrag, vom 4.-8. Oktober 1982 in Wien.
Preis ÖS 300.-- 278 S.
- 1983 148 Holzschuh, Carolus: Bemerkenswerte Käferfunde in Österreich. III.
Preis ÖS 100.-- 81 S.
- 1983 149 Schmutzenhofer, Heinrich: Eine Massenvermehrung des Rotköpfigen Tannentriebwicklers (*Zeiraphera rufimitrana* H.S.) im Alpenvorland (nahe Salzburg).
Preis ÖS 150.-- 39 S.
- 1983 150 Smidt, Stefan: Untersuchungen über das Auftreten von Sauren Niederschlägen in Österreich.
Preis ÖS 150.-- 88 S.
- 1983 151 Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas. Referate der IUFRO-Fachgruppe S6.07-00 Forstgeschichte, Tagung in Wien vom 20.-24. September 1982.
Preis ÖS 150.-- 134 S.

- | | | | |
|------|--------|---|------------|
| 1983 | 152 | Sterba, Hubert: Die Funktionsschemata der Sorten-
tafeln für Fichte in Österreich.
Preis ÖS 100.-- | 63 S. |
| 1984 | 153 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenfor-
schung (5). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung
und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und
Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 250.-- | 224 S. |
| 1985 | 154/I | Österreichische Forstinventur 1971-1980. Zehn-
jahresergebnis.
Preis ÖS 220.-- | S. 1-216 |
| 1985 | 154/II | Österreichische Forstinventur 1971-1980. Inventur-
gespräch.
Preis ÖS 100.-- | S. 219-319 |
| 1985 | 155 | Braun, Rudolf: Über die Bringungslage und den Wer-
bungsaufwand im österreichischen Wald.
Preis ÖS 250.-- | 243 S. |
| 1985 | 156 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenfor-
schung (6). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche,
Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von
Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schnee-
schäden und Lawinen.
Preis ÖS 250.-- | 247 S. |
| 1986 | 157 | Zweites österreichisches Symposium Fernerkundung.
Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung
der Österreichischen Gesellschaft für Sonnenener-
gie und Weltraumfragen (ASSA), 2.-4. Oktober 1985
in Wien.
Preis ÖS 250.-- | 220 S. |
| 1987 | 158/I | Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von
Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswir-
kung auf die Fischpopulation.
Preis ÖS 250.-- | S. 1-196 |
| 1987 | 158/II | Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von
Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswir-
kung auf die Fischpopulation.
Preis ÖS 250.-- | S. 196-364 |
| 1988 | 159 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenfor-
schung (7). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche,
Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von
Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schnee-
schäden und Lawinen.
Preis ÖS 420.-- | 410 S. |

ANGEWANDTE PFLANZENSOZIOLOGIE
Veröffentlichungen der Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

- | | | | |
|------|----|---|--------|
| 1973 | 21 | Margl, Hermann: Waldgesellschaften und Krummholz auf Dolomit.
Preis ÖS 60.-- | 51 S. |
| 1975 | 22 | Schiechtel, Hugo Meinhard; Stern Roland: Die Zirbe (Pinus cembra L.) in den Ostalpen. I. Teil.
Preis ÖS 100.-- | 84 S. |
| 1978 | 23 | Kronfuss, Herbert; Stern, Roland: Strahlung und Vegetation.
Preis ÖS 200.-- | 78 S. |
| 1979 | 24 | Schiechtel, Hugo Meinhard; Stern, Roland: Die Zirbe (Pinus cembra L.) in den Ostalpen. II. Teil.
Preis ÖS 100.-- | 79 S. |
| 1980 | 25 | Müller, H.N.: Jahrringwachstum und Klimafaktoren.
Preis ÖS 100.-- | 81 S. |
| 1981 | 26 | Alpine Vegetationskartographie.
Preis ÖS 300.-- | 283 S. |
| 1983 | 27 | Schiechtel, Hugo Meinhard; Stern, Roland: Die Zirbe (Pinus cembra L.) in den Ostalpen. III. Teil.
Preis ÖS 200.-- | 110 S. |
| 1984 | 28 | Schiechtel, Hugo Meinhard; Stern, Roland: Die Zirbe (Pinus cembra L.) in den Ostalpen. IV. Teil.
Preis ÖS 200.-- | 99 S. |
| 1985 | 29 | Balatova-Tulackova, E.; Hübl, E.: Feuchtbiootope aus den nordöstlichen Alpen und aus der böhmischen Masse.
Preis ÖS 280.-- | 131 S. |