

NATURGEFAHREN IN ÖSTERREICH

Ursachen, Verbreitung, Schäden und Schutzmaßnahmen

Christine EMBLETON-HAMANN, Wien*

mit 7 Abb. und 1 Tab. im Text

INHALT

1.	Einleitung	198
2.	Flüsse und ihre Hochwässer	200
	2.1 Art und Ausmaß der Hochwassergefahr	200
	2.2 Die Hochwasserkatastrophen der letzten 100 Jahre	201
	2.3 Hochwasserschutz in Österreich	202
3.	Wildbäche und Muren	205
	3.1 Wildbachcharakteristika und Wildbachtypen	205
	3.2 Wildbachdichte und Wildbachzonen in Österreich	206
	3.3 Wildbachschäden	208
	3.4 Wildbachschutz und Wildbachforschung in Österreich	208
4.	Massenbewegungen	211
	4.1 Regionale Verbreitung in Österreich	211
	4.2 Erfassung der Massenbewegungen in Österreich	215
5.	Lawinen	216
	5.1 Ursachen für Lawinenabgänge und Lawinentypen	216
	5.2 Regionale Verbreitung der Lawinengefährdung in Österreich	217
	5.3 Lawinenkatastrophen in Österreich	217
	5.4 Lawinenschutz	219
6.	Bodenerosion	220
7.	Gefahrenpotentiale im Gletscherbereich	222
8.	Permafrost	223
9.	Erdbeben	225
10.	Summary	228
11.	Literaturverzeichnis	229

* ao.Univ.-Prof. Dr. Christine Embleton-Hamann, Institut für Geographie der Universität Wien, A-1010 Wien, Universitätsstaße 7; e-mail: christine.embleton-hamann@univie.ac.at; Homepage: http://www.gis.univie.ac.at/geo/inst/lehrkorp/pers/embl_chr.html

1. Einleitung

Österreich ist ein Gebirgsland: ungefähr 60% des Staatsgebietes entfallen auf die Alpen. Die Gebirgsgruppen im Westteil des Landes weisen Gipfelhöhen bis über 3.000 m auf und sind vielfach vergletschert. Zusammen beträgt die Fläche der heutigen Gletscher rund 540 km². Im Pleistozän lag der gesamte Alpenraum bis zum Ostrand der Niederen Tauern unter einem mächtigen Eisstromnetz, aus dem nur die höchsten Gipfel herausragten. Diese Vereisung hinterließ nicht nur ein Steilrelief aus glazialen Erosionsformen, sondern auch flächenhaft Ablagerungen aus bewegungsanfälligerem Lockermaterial. Die Ostalpen sind weiters eine Zone aktiver tektonischer Hebung mit einer Rate von etwa 2 mm pro Jahr im Bereich der Hauptwasserscheide. Das Hochgebirgsklima fördert eine schnelle Verwitterung und stellt reichlich Niederschläge zum Abtransport des Verwitterungsmaterials zur Verfügung. Alle diese Faktoren begünstigen eine hohe Aktivität der geomorphologischen Prozesse, deren Wirkungen aber nicht nur den Alpenraum betreffen, sondern auch weit in das Vorland hinausreichen können.

Trotzdem erscheint Österreich bezüglich der Probleme mit Naturgefahren nur im Mittelfeld, vergleicht man es mit den anderen Ländern Europas. Das Gefahrenpotential der Küstenstaaten ist ebenfalls hoch – dort werden die Kosten typischerweise hochgebirgsbedingter Erscheinungen wie Lawinen, Wildbäche und Muren wettgemacht durch die Palette der Schäden aufgrund von Sturmfluten und Küstenerosion. In den osteuropäischen Staaten wiederum entstanden hohe Sanierungskosten durch die anthropogen verursachte Landdegradation. Am größten sind die Probleme in vielen Mittelmeerstaaten, allen voran in Italien, wo zu den Naturgefahren des Gebirges und der Küste und zu einer schon früh induzierten Bodenerosion auch noch eine bedeutende seismische und vulkanische Aktivität tritt.

Innerhalb des Maßnahmenkataloges gegen diese Naturgefahren sind technische Bauten am teuersten, können aber trotz der hohen Kosten keinen absoluten Schutz bieten. In der modernen Katastrophenvorbeugung hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß auf lange Sicht zwei andere Zugänge erfolgversprechender sind, nämlich raumplanerische Maßnahmen zur Vermeidung der gefährdeten Gebiete und eine Handlungsstrategie nach dem Grundsatz "mit der Natur arbeiten und nicht gegen sie". Mit der Natur arbeiten heißt zum Beispiel, daß im Kampf gegen Hochwässer und Lawinen die Pflege des Gebirgswaldes vorrangig ist, oder daß entlang der Flüsse natürliche Überflutungsräume, die im Katastrophenfall den Überschuß an Wasser aufnehmen können, wiederhergestellt werden müssen. Für den Schutz vor Hochwässern, Massenbewegungen und Lawinen sowie für die Bekämpfung der Bodenerosion ist in Österreich das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF) zuständig.

Eine erste zusammenfassende Darstellung über Naturgefahren in Österreich findet sich bei FINK (1986). Sie ist als Beitrag zur Lösung der Raumordnungsprobleme,

welche sich daraus ergeben, konzipiert. Um den Planern das Verständnis und die Beurteilung der Naturereignisse zu erleichtern und die Instrumente der Raumplanung zur Katastrophenvorbeugung eingehend darzustellen, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf den Ursachen von Naturgefahren und auf den Schutzmaßnahmen gegen sie. Ein zweiter Überblick mit Erhebungsstand 1990 wurde von mir gegeben (EMBLETON-HAMANN 1997), in welchem gleichgewichtig mit der Behandlung der Ursachen und Schutzmaßnahmen auch die regionale Verbreitung und das Schadensausmaß von Naturkatastrophen dargestellt wurde. Sieben Jahre später bedarf dieses Thema einer Überarbeitung und Ergänzung.

Es liegt auf der Hand, daß nach dieser Zeitspanne einiges aktualisiert werden muß, etwa die Berichterstattung über die aufgetretenen Naturkatastrophen oder den Stand der Gefahrenzonenplanung. Aber auch das Wissen über Naturgefahren und ihre Bekämpfung hat sich in den letzten Jahren stark erweitert. Neue Forschungsbefunde gibt es zum Beispiel über das Alter einiger Bergstürze und über die Verbreitung des Permafrostes im österreichischen Alpenraum. Verbesserte statistische Daten liegen vor – etwa über das Ausmaß der Bodenerosion in landwirtschaftlich genutzten Gebieten oder über die Wildbachschäden: hier konnte nach genauer Aufbereitung des Datenmaterials die Anzahl der Todesopfer nach unten korrigiert werden. Auch die Strategien in der Katastrophenvorbeugung haben sich geändert. Insbesondere durch die Novellierung des Wasserbautenförderungsgesetzes im Jahre 1994 wurden wesentliche Impulse für eine Ökologisierung der Schutzwasserwirtschaft gesetzt.

Am detailliertesten wird in der vorliegenden Abhandlung auf jene Naturereignisse eingegangen, die für den Lebens- und Wirtschaftsraum in Österreich die größte Bedrohung darstellen, – es sind dies Hochwässer, Massenbewegungen und Lawinen.

Das Flußnetz in Österreich weist eine Gesamtlänge von annähernd 100.000 km auf. Hochwasserereignisse äußern sich im Mittel- und Unterlauf der Flüsse durch Wasserkatastrophen, im gebirgigen Oberlauf durch große Sedimenttransporte und -ablagerungen auf den Talböden. Dieser grundlegende Unterschied zwischen den Flüssen der Niederungen und den Wildbächen des Gebirges besteht aber nicht nur in der Art der Hochwassergefahr, sondern natürlich auch in deren Ursache und Bekämpfung. Dementsprechend ist die Betreuung der Fließgewässer Österreichs auf zwei Dienststellen des BMLF aufgeteilt. Auch die Finanzierung der erforderlichen Maßnahmen erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. Dieser naheliegenden Einteilung in "Flüsse" einerseits und "Wildbäche" andererseits wird hier gefolgt.

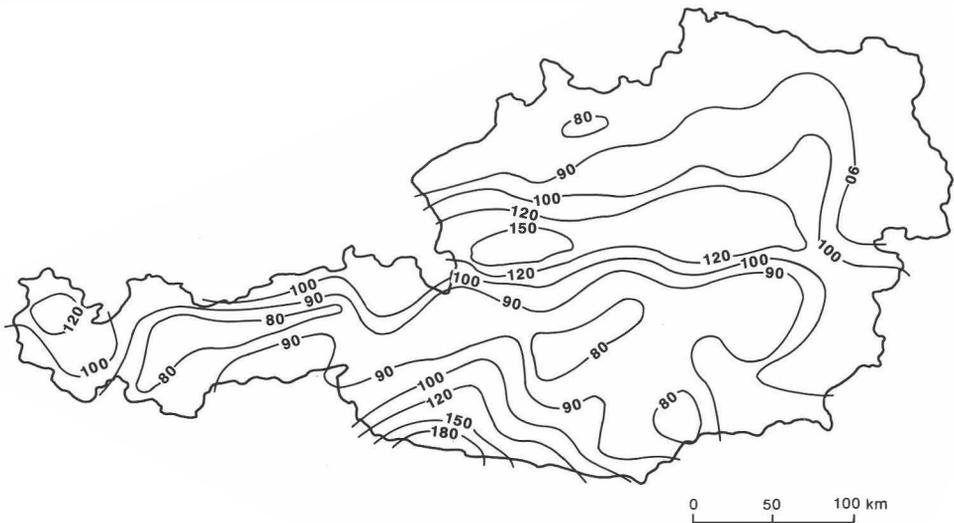
Da in der Natur die Übergänge zwischen stark geschiebeführenden Wildbach- und echten Murkatastrophen fließend sind, wurden die Muren gemeinsam mit den Wildbächen behandelt, obwohl sie aus geomorphologischer Sicht dem nächsten Kapitel zuzuordnen wären. Dieses widmet sich den Massenbewegungen, die in den Alpen in allen ihren Bewegungsvarianten, stürzend, gleitend und kriechend, vom plötzlichen Bergsturz bis zum unmerklichen Talzusub, auftreten. Im Anschluß an ein Kapitel über Lawinen werden in etwas kürzerer Form die Probleme der Bodenerosion und

Erdbeben­­tätigkeit sowie die Gefahren­­potentiale im Gletscher- und im Permafrost­­bereich behandelt. Ihnen ist gemeinsam, daß sie zwar der Wirtschaft Schaden anrichten können, aber in Österreich kaum lebensbedrohend sind. Glazial verursachte Katastrophen sind durch den allgemeinen Gletscherrückgang zudem mehr oder minder historisch.

2. Flüsse und ihre Hochwässer

2.1 Art und Ausmaß der Hochwassergefahr

Die Hochwässer an den Flüssen Österreichs werden meist durch länger dauernde ergiebige Niederschläge oder durch die Kombination von Niederschlägen mit der Schneeschmelze verursacht. Abbildung 1 gibt zu erkennen, daß die ergiebigsten Niederschläge in den Staulagen der Alpen auftreten. Die Isolinien der höchsten Tagesniederschläge zeichnen deutlich den Nordrand der Alpen nach. Dazu tritt ein zweites Maximum im Süden des Bundesgebietes: hier können auf dem Wege von Nord-Süd verlaufenden Tälern Oberitaliens mediterrane Luftmassen sehr weit ins Gebirgsinnere vordringen, bevor sie zum Aufsteigen gezwungen sind. Die meteorologischen Rahmenbedingungen für Wildbachkatastrophen sind demgegenüber etwas anders. Bei den Wildbächen sind kurzdauernde intensivste Starkregen am gefährlichsten, die sehr häufig durch lokale Wärmegewitter ausgelöst werden.



Quelle: Abb. 9D in SEEBACHER & SHAHIN (1985)

Abb.1: Maximale Tagesniederschläge (mm) im 50-jährigen Mittel.

Durch die Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee ergeben sich für viele Flüsse Österreichs jahreszeitliche Abflussschwankungen, die eine Hochwassergefahr im Winter ausschließen. Schadenbringende Hochwässer durch Eisstau sind selten. Nach PRODINGER (1975) können sie an den Oberläufen der Alpenflüsse etwa alle 20 Jahre auftreten. Besonders anfällig ist das Gebiet der Oberen Mur und ihrer Zubringer, welches oft auch als Kältepol Österreichs bezeichnet wird. In strengen Wintern müssen hier Eissprengungen durchgeführt werden. An der Donau kam es in den Wintern 1828/29 und 1932 zu Eisstoßbildungen.

96% der Staatsfläche Österreichs gehören dem Stromsystem der Donau an, die Restanteile entfallen auf das des Rheins. Das gesamte Bundesgebiet nördlich des Alpenhauptkammes wird direkt in die Donau entwässert. Durch diese Einheitlichkeit werden bei ergiebigen Stauniederschlägen an der Alpennordseite etwa zwei Drittel des Bundesgebietes gleichzeitig von der Hochwassergefahr bedroht (vgl. Abschnitt 2.2). Alle großen Donauzuflüsse, im Norden der Inn mit der Salzach, die Traun und die Enns, im Süden die Drau und die Mur, sind mit Kraftwerksketten ausgestattet. Flußkraftwerke führen zu einer zwiespältigen Situation. Durch ihren Bau wird in der Regel der örtliche Hochwasserschutz verbessert, aber gleichzeitig die Gefahr für den Unterlieger erhöht. Wenn die Kraftwerke in ihrem Betrieb gut aufeinander abgestimmt sind, kann eine treffsichere Hochwasserprognose die Nachteile für den Unterlieger in begrenztem Ausmaß unterbinden.

Der Wasserstandsnachrichtendienst für die Schifffahrt und die Hochwasserprognose wurden in Österreich um die Jahrhundertwende begründet. Die Vorhersage stützt sich auf ein Pegelfernmeßnetz, das ständig verdichtet wurde und wird. Diese Dienstleistung ist nicht nur von nationaler, sondern auch von internationaler Bedeutung. Österreich ist an einigen großen Flüssen Unterlieger-, an vielen jedoch Oberliegerstaat. Für alle diese grenzübertretenden Hauptflüsse existieren bilaterale und multilaterale Grenzverträge mit den Nachbarstaaten, welche die gemeinsame Behandlung wasserwirtschaftlicher Fragen regeln und den Oberlieger zur Benachrichtigung bei Hochwassergefahr verpflichten.

2.2 Die Hochwasserkatastrophen der letzten 100 Jahre

Betrachtet man die Hochwasserereignisse der letzten 100 Jahre, so stechen die Jahre 1897 und 1899, 1954 und 1959, sowie 1965 und 1966 hervor. Bei diesem gepaarten Auftreten ergab sich für das jeweils zweite Katastrophenjahr eine verschärfte Situation, da die Schäden der vorangegangenen Hochwässer noch nicht beseitigt waren.

Das Juli-Hochwasser 1897 und das September-Hochwasser 1899 betrafen das gesamte Einzugsgebiet der Donau nördlich des Alpenhauptkammes und natürlich die Donau selbst. Gleiches gilt für die Hochwasserkatastrophen 1954 und 1959. 1954 erreichten die Ereignisse ihren Höhepunkt im Juli: die Überschwemmungsgebiete in den Donauniederungen waren bis zu 7 km breit, zahlreiche Ortschaften waren vollständig überflutet. 1959 dauerte die akute Hochwassergefahr von Mitte April bis

Mitte August. In dieser Zeit kam es zu insgesamt fünf Hochwasserwellen, die sich nicht allein durch die zunehmende Wassersättigung des Bodens von Mal zu Mal vergrößerten.

Zum größten bekannten Hochwasserjahr in der österreichischen Geschichte wurde das Jahr 1965. Merkmal war zum einen die lange Dauer der Niederschläge, zum anderen ein Auftreten und Zusammentreffen von Wetterlagen, welche im Zeitraum März bis September im gesamten Bundesgebiet zu Rekord-Niederschlagssummen führten. Selbst der flußarme Nordosten litt unter bislang unbekanntem Überschwemmungen. Der Schwerpunkt der Schäden befand sich im Draugebiet, welches als letztes im September, ausgelöst durch eine Südwestlage, heimgesucht wurde. In Osttirol und Westkärnten wurden fast alle Täler verwüstet: es kam zu einer gewaltigen Umformung der Flußbetten. Das Jahr 1966 sah jeweils ein Hochwasserereignis im August und eines im November. Beide suchten wiederum das schon schwer geschädigte Draugebiet am stärksten heim.

Die jüngsten Unwetterlagen, die im Juli 1997 im Wienerwald sowie im Oberlauf von Erlauf und Traisen zu Abflüssen führten, die nur alle 100 Jahre zu erwarten sind, haften noch frisch im Gedächtnis, sind jedoch nicht das größte Ereignis der letzten 30 Jahre. Hochwässer gleicher Dimension traten 1987 im Ötztal und im Oberpinzgau auf, verursachten enorme Schäden und forderten zudem 15 Todesopfer. Am schlimmsten war die Situation 1991, weil in diesem Jahr die Hochwasserlage nicht regional begrenzt war, sondern wie bei den Katastrophen der 50er und 60er Jahre weite Bereiche des Bundesgebietes betraf.

2.3 Hochwasserschutz in Österreich

2.3.1 Entwicklung des Schutzwasserbaus

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Wende von der kleinräumigen, örtlich begrenzten, händischen Wasserabwehr zum breit angelegten Schutzwasserbau mit großtechnischen Mitteln und makroökonomischen Zielsetzungen. Dafür waren staatliche Mittel notwendig, deren Bereitstellung 1830 zum ersten Mal gesetzlich vorgesehen wurde. In der Praxis wurden aber bis zur Gesetzesreform von 1884 nur dann Mittel ausgeschüttet, wenn Staatszwecke im Vordergrund der geplanten Maßnahmen standen; alle anderen Schutzprojekte scheiterten an der Geldfrage. Ab 1884 folgte eine Periode großer Leistungen im Schutzwasserbau, welche erst durch den Beginn des Zweiten Weltkrieges abgebrochen wurde.

Am Ende des Krieges lagen sämtliche Regulierungs- und Erhaltungsmaßnahmen an Flüssen und Bächen völlig darnieder. Die Nachkriegsjahre zeichneten sich durch eine nicht abbreißende Folge von kleineren und größeren Hochwasserereignissen aus, welche schließlich in den Katastrophen der 50er und 60er Jahre kulminierten. Es entstand eine Spirale aus Baurückständen und ständiger Ausweitung der Hochwasserschäden in den unzulänglich gesicherten Flußbetten.

Die Wende von der vorwiegenden Schadensbehebung zum vorwiegend vorbeugenden Hochwasserschutz kam anfangs der 70er Jahre, gekennzeichnet durch den Beginn einer umfassenden und überörtlichen Planung im Flußbau. Die herkömmlichen Schutzmaßnahmen, nämlich der Bau von gestreckten, geschlossenen Regulierungen mit dem Ziel einer beschleunigten Wasserabfuhr hatten vielerorts die Überschwemmungsgefahr in den flußabwärts gelegenen Gebieten verschärft. Zur Erreichung eines landesweiten Hochwasserschutzes und zur Schaffung von Rückhalteräumen, die die Wassermassen vorübergehend aufnehmen können, mußten die einzelnen Maßnahmen untereinander im größeren Rahmen des jeweiligen Flußlaufes abgestimmt werden. Ebenso konnte das ständige Vordringen der Intensivnutzung in die gewässernahe Zone nur auf der Basis von Gefahrenzonenplänen gestoppt bzw. lenkend beeinflußt werden.

In den 80er Jahren sah sich der Schutzwasserbau einer immer stärker werdenden Kritik durch Ökologen und Umweltschützer ausgesetzt. Man forderte eine Verminderung der bautechnischen Eingriffe in die Struktur der Flüsse um deren ökologische Funktionsfähigkeit nicht zu gefährden. Eine Phase des intensiven Dialogs zwischen Technikern und Ökologen sowie der praktischen Erprobung einer naturnahen Gewässerbetreuung mündete schließlich an der Wende zu den 90er Jahren in eine Neuorientierung des Schutzwasserbaus mit entsprechenden Gesetzesnovellierungen. In den Zielsetzungen des heutigen Flußbaus stehen schutzwasserwirtschaftliche und ökologische Gesichtspunkte gleichermaßen im Vordergrund (zu den Neuerungen im Detail vgl. BMLF 1996).

2.3.2 Die schutzwasserwirtschaftliche Planung

Der Flußbau kennt dreierlei übergreifende Planungsinstrumente, nämlich das "Gewässerbetreuungskonzept" (früher: "Grundsatzkonzept"), das "Generelle Projekt" und den Gefahrenzonenplan. Inhalt und Aufbau dieser Planungsinstrumente sind in den "Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung" (BMLF 1994) festgelegt. Sie werden im Wasserwirtschaftskataster des BMLF veröffentlicht und können dort eingesehen werden.

Gewässerbetreuungskonzepte setzen sich aus drei Abschnitten zusammen. Der erste Teil ist eine umfassende Bestandesaufnahme. Hydrologie, Flußmorphologie, Geschiebehalt, Vegetation, Fauna und Wassergüte des gesamten Flußgebietes werden untersucht und dokumentiert, des weiteren die Hochwassergefährdung der Siedlungen, die bereits bestehenden Einrichtungen des Hochwasserschutzes und die Nutzung des Gewässers und seines Umlandes. Der zweite Teil hat die schutzwasserwirtschaftlichen und ökologischen Ziele zum Inhalt. Es muß konkretisiert werden, wie der spezifische Gewässertyp in ökologisch intaktem Zustand aussehen würde. Man bedient sich dazu gut untersuchter und dokumentierter Referenzstrecken, welche die Elemente des ursprünglichen Flußtyps in ihrer spezifischen Ausprägung und in ihrem spezifischen Zusammenspiel zeigen. Basis für die Festlegung der schutzwasserwirtschaftlichen Ziele bildet die "Schutzwürdigkeit" der verschiedenen Nut-

zungen auf der Talsohle, welche ebenfalls in den Richtlinien festgelegt ist. Demnach sind hohe Lebens-, Kultur- und Wirtschaftswerte vor jedem Hochwasserereignis zu schützen, Siedlungen und bedeutende Wirtschaftsanlagen vor Hochwässern mit 100-jährlicher Häufigkeit. Land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen werden nicht gesondert geschützt, da sie als natürliche Hochwasserrückhalteräume dienen sollen, d.h. als Überflutungsflächen, in die das Wasser auslaufen und versickern kann. Im dritten Teil des Gewässerbetreuungskonzeptes wird für das untersuchte Flußgebiet ein "Gewässerspezifisches Leitbild" erstellt. Darin werden die ökologischen und schutzwasserwirtschaftlichen Ziele koordiniert, für die einzelnen Gewässerabschnitte werden Handlungsschwerpunkte gesetzt und die durchzuführenden Maßnahmen in ihrer Priorität gereiht.

Grundsatzkonzepte sind Planungsunterlagen, die vor der Neuorientierung der Schutzwasserwirtschaft entstanden sind. In ihren Bestandesaufnahmen fehlt noch eine ausführliche Behandlung von Vegetation, Fauna und Wassergüte, ebenso natürlich die ökologische Zielsetzung und ein entsprechendes gesamtheitliches Leitbild.

In den *Generellen Projekten* werden die im Gewässerbetreuungskonzept vorgeschlagenen Maßnahmen in baureife Projekte umgesetzt. Wenn für ein Flußgebiet noch kein Gewässerbetreuungskonzept existiert, so können die erforderlichen Fachgrundlagen auch im Rahmen des Generellen Projektes erhoben werden. Neben der technischen Maßnahmenplanung enthalten daher einzelne Generelle Projekte auch reichhaltige Information zur gesamtheitlichen Gewässersituation.

Die *Gefahrenzonenpläne* des Flußbaus gehen vom 100-jährlichen Hochwasserabfluß aus. Flächen, die unter diesem Blickwinkel zur ständigen Benutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke nicht geeignet sind, werden als "Rote Zone" ausgeschieden. Daran anschließend folgt eine "Gelbe Zone", in der es zur Beschädigung von Bauobjekten und Verkehrsanlagen sowie zur Behinderung des Verkehrs kommen kann. Diese wichtigen Unterlagen werden allerdings nicht im gleichen zahlenmäßigen Umfang wie bei der Wildbach- und Lawinenverbauung erstellt, da sie anders als dort für die Flächenwidmungspläne der Gemeinden nicht bindend sind. Gegenwärtig (Stand Dezember 1996¹⁾) sind rund 1.000 km Flußlänge in insgesamt 174 Gemeinden bearbeitet oder teilweise bearbeitet. 120 Gemeinden haben Gefahrenzonenpläne, die alle Fließgewässer auf ihrem Gebiet abdecken.

2.3.3 *Der Hochwasserschutz für Wien*

Zu den aufwendigsten Bauten gehört der Hochwasserschutz für Wien. Die einst bis zu 5 km breite und unwegsame Strom-Aulandschaft der Donau bei Wien wurde bereits durch die große Donauregulierung 1870 vom Menschen total verändert. Man grub der Donau ein künstliches Bett, angelegt für eine Höchstdurchflußmenge von

1) Daten freundlicherweise von der Sektion IV des BMLF zur Verfügung gestellt.

11.000 m³ pro Sekunde, wobei rund 12 Mio. m³ Aushubmaterial bewegt wurden. Diese Dimensionierung reichte aber nicht aus. Schon bald setzte sich die Erkenntnis durch, daß für den totalen Hochwasserschutz Wiens von einer Abflußmenge von etwa 14.000 m³ pro Sekunde ausgegangen werden muß. 1969 wurde das zweite große Donauregulierungsprojekt in Angriff genommen. Zur Vergrößerung des Durchflußquerschnittes baute man ein 22 km langes und durchschnittlich 160 m breites Entlastungsgerinne, die "Neue Donau". Sie ist vom Strom durch die 200 m breite "Donauinsel" getrennt. Gleichzeitig wurde mit diesem Großprojekt die Grundwassersituation entscheidend verbessert und rund um Neue Donau und Donauinsel ein großes Bade- und Erholungsgebiet für die Wiener angelegt.

3. Wildbäche und Muren

3.1 Wildbachcharakteristika und Wildbachtypen

Ein Wildbach im Sinne des österreichischen Forstgesetzes 1975 ist ein "dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur für kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefährdendem Ausmaß entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes ablagert oder einem anderen Gewässer zuführt".

Damit die spezielle Betreuung eines Baches durch das BMLF als "Wildbach" einsetzt, muß ein Gewässer offiziell zu einem solchen erklärt werden. Da die Auslegung der Definition des Forstgesetzes durch die verschiedenen Sachbearbeiter naturgemäß etwas schwankt, ergibt sich eine gewisse Spanne im Erscheinungsbild der "offiziellen" Wildbäche. Im allgemeinen können jedoch folgende Merkmale als typisch abstrahiert werden:

- a) Erhebliches Gefälle: in hochalpinen Bereichen bis zu 20%, im restlichen Alpenraum über 12% (nach Abb. 4 in AULITZKY 1984)
- b) Relativ kleine Einzugsgebiete gekoppelt mit entsprechend kurzen Bachlängen. Nach AULITZKY (1986a) schwankt die Länge des "mittleren" Wildbaches zwischen 4 und 6 km.
- c) Hohe Abflußspitzen: Starkregenereignisse überdecken meist die gesamte Fläche der kleinen Einzugsgebiete und in der Folge schwillt das Wasser im kurzen, steilen Bachlauf schnell an. Das Abflußverhalten der Wildbäche zeichnet sich daher durch geringe oder fehlende Niederwasserführung und erhebliche Hochwasserführung aus. Ausnahmen von dieser Regel können Bäche aus Gletscher- und Karstgebieten sein.
- d) Gefährliche Geschiebe- und Feststoffführung. Bereits 1931 unterschied STINY zwischen "Jungschutt" und "Altschutt". Unter Altschutt versteht man pleistozäne und subrezente Lockerschuttmassen glazialer bis fluviatiler Herkunft. Jung-

schutt dagegen umfaßt den ständig neu produzierten Verwitterungsschutt. Er fällt in größerem Ausmaß bei gering widerständigen Gesteinen wie z.B. Schiefern an, bei Gesteinen, die tektonisch stark beansprucht wurden und in den kalkalpinen Gebieten mit ihren riesigen Schuttschürzen. Durch den ständigen Abtransport ist der Jungschutt im Allgemeinen weniger zu fürchten als die großen Lager der Altschuttmassen, es sei denn, er entwickelt sich im Fuße großer Talzuschübe zu einem mächtigen Herd (vgl. das in Abschnitt 4.1 beschriebene Fallbeispiel von Putschall in Kärnten). Innerhalb der weiteren, vom Hochwasser transportierten Feststoffe ist das sogenannte "Unholz" besonders gefährlich. Man versteht darunter mitgerissene Baumstämme, welche an natürlichen und künstlichen Engstellen des Baches zu Verschluß des Bachbettes führen können. Im Gefolge solcher Verklausungen steht oft ein katastrophaler Durchbruch der Wasser- und Geschiebemassen.

- e) In der Regel kommt es zur Ausbildung eines Schwemmkegels oder Schwemmfächers. Steile Schwemmkegel entstehen bei Vorherrschen des groben Geschiebes, flache Schwemmfächer bei Vorherrschen von feinem Geschiebe. Dieser Mündungskegel fehlt nur dann, wenn der Vorfluter in der Lage ist, das Geschiebe abzutransportieren oder bei sehr flachen Wildbächen, wo das Material in Verwilderungsstrecken abgelagert wird.

Je größer das Geschiebe- und Feststoffangebot des Einzugsgebietes ist, desto gefährlicher wird der Wildbach. Im Extremfall ist die Entwicklung von Muren möglich, welche als Kennzeichen des gefährlichsten Wildbachtupes gelten. In Muren ist der Feststoffanteil auf den gesamten Durchflußquerschnitt verteilt. Es entsteht ein Wasser-Schlamm-Schottergemenge, das nicht mehr den Gesetzen der Hydraulik unterliegt. Hohe Geschwindigkeiten, hohes Gewicht der bewegten Massen und große Durchflußhöhe rufen die destruktive Gewalt der Muren hervor. Neben diesem gefährlichsten Wildbachtup werden drei weitere Typen unterschieden: Wildbäche mit sehr großer Geschiebeführung, Wildbäche mit Geschiebeführung und bloß hochwasserführende Wildbäche.

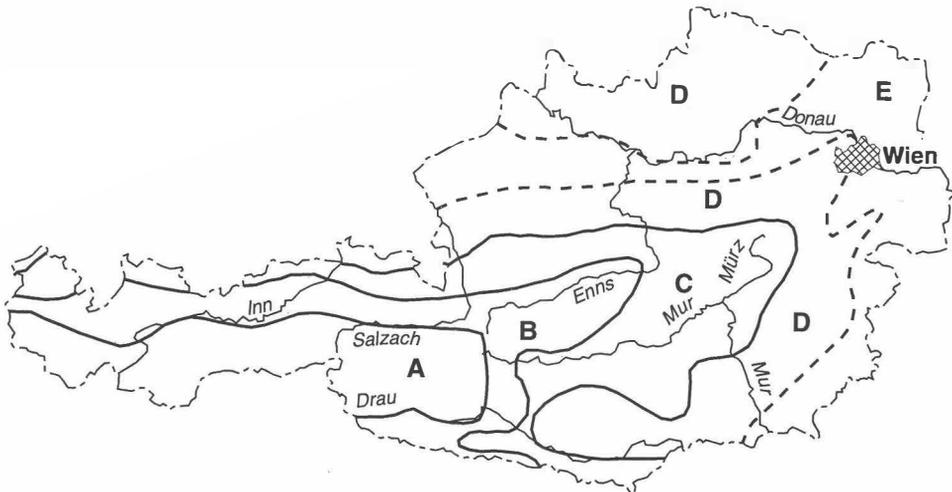
3.2 Wildbachtichte und Wildbachzonen in Österreich

Österreich, das zu zwei Drittel aus Gebirgslandschaften besteht, ist zu einem großen Teil von Wildbacheinzugsgebieten bedeckt. Die Gesamtzahl der einzelnen Wildbäche beträgt mehr als 10.000 (ANDRECS 1996).

Abbildung 2 gibt einen Überblick über das regionale Ausmaß der Wildbachgefahr in Österreich. Quelle für Abbildung 2 ist die von KRONFELLNER-KRAUS (1989) publizierte Karte der Wildbachzonen, welche das Produkt einer langjährigen Entwicklung darstellt. Die Abgrenzung der Zonen fußt auf den Angaben über die Feststofffrachten von ca. 2.000 Wildbachkatastrophen aus bis zu 80 km² großen Einzugsgebieten. Das so entstandene Kartenbild deckt sich gut mit den Ergebnissen von AULITZKY, welcher anders vorgeht, und zur Darstellung der Wildbachverbreitung und -gefahr in Österreich die Anzahl der verschiedenen Wildbachtupen in den

einzelnen Bezirken verwendete. Im Zuge eines Vergleichs der Karten von AULITZKY (1986) und KRONFELLNER-KRAUS (1989) wurde das Verhältnis der Wildbachtypen in den einzelnen Wildbachzonen ausgerechnet; es ist in Tabelle 1 (= Legende zu Abb. 2) angeführt.

Mächtige und gefährliche Altschuttherde sind charakteristisch für Zone A, welche die höchsten Erhebungen des Alpenhauptkammes umreißt. Diese noch nicht ausgeräumten Altschuttherde führen zu einem Vorherrschen des gefährlichsten Wildbachtyps. Altschuttherde können zwar auch noch in Zone B auftreten, sind dort jedoch seltener und in der Regel kleiner.



Quelle: KRONFELLNER-KRAUS (1989). Die Definitionen für die Zonen A bis E gehen aus Tabelle 1 hervor.

Abb. 2: Wildbachzonen in Österreich

Zone	Beobachtete maximale Feststofffrachten*	Verhältnis der Wildbachtypen		
		Typ 1+2**	Typ 3**	Typ 4**
A	weit über 100.000 m ³ , im Extremfall bis zu 1.000.000 m ³	81%	19%	-
B	bis zu 100.000 und 200.000 m ³	64%	35%	1%
C	bis zu 60.000 m ³	33%	55%	12%
D	bis zu 20.000 m ³	10%	68%	22%
E	Lößwildbäche bis zu einigen 1.000 m ³ übrige: bis zu mehreren 100 m ³	-	65%	35%

* KRONFELLNER-KRAUS G. – mündliche Mitteilung

** 1+2 = murfähige und stark geschiefbeführende; 3=geschiefbeführende; 4=hochwasserführende

Tab. 1: Wildbachzonen und Wildbachtypen in Österreich

Während Zone A durch ein einziges Merkmal hinreichend gekennzeichnet ist, sind die Steuerfaktoren für die Wildbachprobleme in den Zonen B und C vielschichtiger. Sie umfassen Gebirgszüge, die überwiegend aus Schiefern und Kalken aufgebaut sind und daher zu einer starken Jungschuttbildung neigen. Weiters liegen die beiden Zonen im Bereich der Starkniederschläge (vgl. Abb. 1) des Alpenrandes, welche örtlich durch Korridore auch ins Alpeninnere vordringen, wie z.B. im Gebiet der oberen Drau. Bei Kalken und Dolomiten kann die entstehende Hochwasserwelle durch eine unterirdische Entwässerung abgemildert werden, bei Schiefern nicht. Der direkte Anlaß für eine Wildbachkatastrophe in den Zonen B und C kann somit regional sehr unterschiedlich sein. Insgesamt jedoch ist im Vergleich zur Zone A ein verringertes Geschiebepotential und eine verringerte Gefahr des Einzel-Wildbaches bei gleichzeitig erhöhter Wildbachdichte festzuhalten.

In den voralpinen Niederungen und in den außeralpinen Landesteilen Österreichs, zusammengefaßt in den Zonen D und E sinken Geschiebepotential und Wildbachdichte jäh ab. Als Besonderheit sind die Lößwildbäche der an und für sich problemfreien Zone E zu nennen. Entlang von ihnen, häufig ausgelöst durch eine falsche Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen, treten neuerdings bislang unbekannte Erosionsschäden auf.

3.3 Wildbachschäden

Seit 1972 werden in Österreich Wildbachschäden in umfassender und mittels eines Meldeformulars standardisierter Form erfaßt. ANDRECS (1996) wertete diese Daten für den Zeitraum 1972-1993 aus.²⁾ Seinen Ergebnissen zufolge gab es in diesen 22 Jahren 39 Tote zu beklagen, 12 davon fielen einem einzigen Ereignis, nämlich der tragischen Murkatastrophe 1975 in der Gemeinde Ramingstein/Salzburg zum Opfer. An Sachschäden waren insgesamt 4.630 zerstörte bzw. vermutete Gebäude zu verzeichnen, die Flurverwüstungen betrafen 6.170 ha. Als absolutes Katastrophenjahr ist das Jahr 1991 zu nennen. In diesem kam es zu 429 Wildbach-Unglücken, während im Durchschnitt der Jahre 100-150 Schadensereignisse verzeichnet wurden. Dabei ist über den Beobachtungszeitraum hinweg keine Verbesserung der Situation zu erkennen, – der Ausbau des Wildbachschutzes scheint durch neu hinzukommende Risiken immer wieder egalisiert zu werden.

3.4 Wildbachschutz und Wildbachforschung in Österreich

Seit 1884 nimmt der Staat den Wildbachschutz als öffentliche Aufgabe wahr. Anlaß für die Gründung des staatlichen Wildbachschutzes waren die furchtbaren Hochwasserkatastrophen südlich des Alpenhauptkammes im Jahre 1882. Der "Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung" untersteht dem BMLF und ist

2) Jährliche Statistiken für den Zeitraum 1972-1989 wurden von JEGGLITSCH in den Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Heft 114, sowie in den FBVA-Berichten 42, 53, 54, 62, 64 und 66 publiziert. ANDRECS setzte die Berichterstattung für die Jahre 1990-91 im FBVA-Bericht 80 fort.

zugleich, wie der Name besagt, mit dem Lawinenschutz betraut. Die Tätigkeit dieser Dienststelle umfaßt vier Aufgabenfelder: 1) Errichtung von technischen Schutzbauten, 2) Hochlagenaufforstung und Schutzwaldbewirtschaftung, 3) Gefahrenzonenkartierung für die Raumplanung und 4) Forschung.

Wenn trotz aller Bemühungen des Wildbach- und Lawinenschutzes in Österreich die Zahlen der bundesweiten Katastrophenstatistik in jüngerer Zeit nicht sinken wollen, so ist das vor allen Dingen auf zwei Probleme zurückzuführen: Mit der Entdeckung des Alpenraumes für den Tourismus war eine enorme, und bis vor kurzem ungehemmte Ausweitung des Siedlungsraumes verbunden, die auch vor gefährlichen und nur mit aufwendigen und sehr teuren Maßnahmen schützbaaren Standorten nicht halt machte. Das zweite Problem betrifft den Zustand des Bergwaldes.

Da der Wald bei Starkniederschlägen einen großen Einfluß auf die Dimension der entstehenden Hochwasserwelle nimmt, ist seine Pflege für den Wildbachschutz von großer Bedeutung. Im Lawinenschutz hat er durch die Verhinderung von gefährlichen Schneeanstimmungen sogar entscheidende Funktion. Auf die Schwierigkeiten bei der Erhaltung und Wiederherstellung des Bergwaldes wird im Kapitel Lawinen näher eingegangen (vgl. Abschnitt 5.4.1).

Das Problem der ungehemmten Siedlungsausweitung hat der staatliche Wildbach- und Lawinenschutz seit 1975 mit der Erstellung von Gefahrenzonenplänen in Angriff genommen. Als Grundlage für die Raumplanung einer Gemeinde weisen diese Pläne folgendes aus:

- 1) Einzugsgebiete von Wildbächen und Lawinen.
- 2) Gefahrenzonen. Das Ausmaß der Gefährlichkeit wird wiederum zweistufig als rote und gelbe Zone angegeben. Bemessungsereignis für die rote Zone ist eine Wildbachkatastrophe mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren.
- 3) Flächen, die für Schutzmaßnahmen vorgesehen sind.
- 4) Flächen, die möglicherweise von anderen Naturgefahren, z.B. von Massenbewegungen bedroht sind.
- 5) Natürliche oder künstliche Gegebenheiten (z.B. Dämme), die schützend wirken und die der Pflege bedürfen.

Die Gefahrenzonenkartierung in Österreich erfreut sich eines international beachteten Standards und deckt auch bereits sehr große Teile des Alpenraumes ab (vgl. Abb. 3).

Der Wildbach- und Lawinenschutz unterhält eigene Forschungsinstitute zum Studium der Vorgänge in Wildbacheinzugsgebieten und zum Studium der Lawinen, daneben auch ein Institut für forstliche Untersuchungen und Kartierungen.

Eine internationale, in Österreich gegründete Forschungsplattform bedarf der besonderen Erwähnung. Ausgelöst durch die extremen Hochwasserereignisse der Jahre 1965 und 1966 entstand in Kärnten eine Arbeitsgemeinschaft zur vorbeugenden Bekämpfung von Hochwasserschäden, welche 1967 zu einer internationalen Tagung

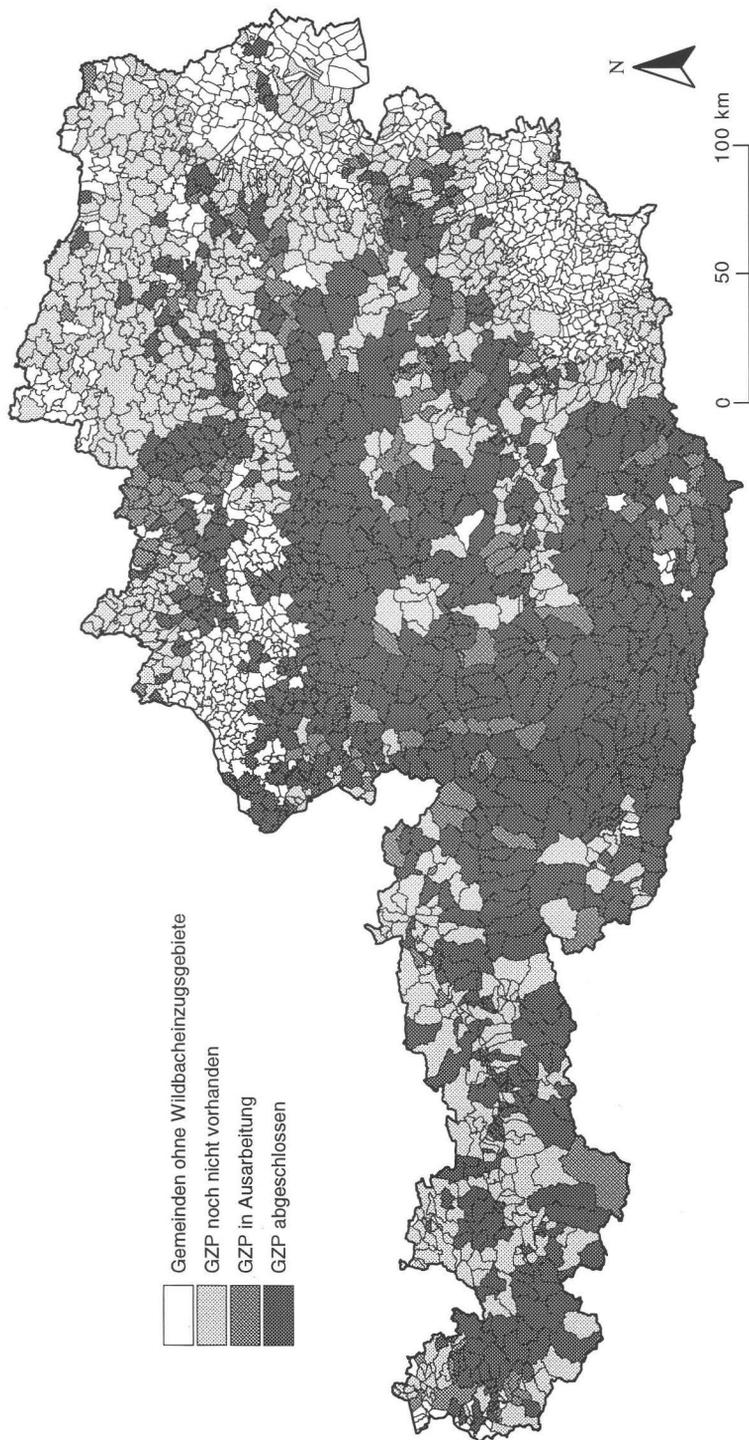


Abb.3: Stand der Gefahrenzonenplanung in Österreich per 1. August 1997. Die Daten wurden vom BMLF zur Verfügung gestellt

in Klagenfurt einlud. Auf dieser wurde die "Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung" gegründet. Seither gibt es alle vier Jahre das "Interpraevent Symposium", auf dem die Grenzen und Möglichkeiten der Vorbeugung gegen Elementarereignisse, insbesondere gegen Hochwässer, Muren, Rutschungen und Lawinen erörtert werden. Die Interpraevent-Tagungen erfreuen sich eines internationalen Zulaufes und die Tagungsbände sind vielfach vergriffen.

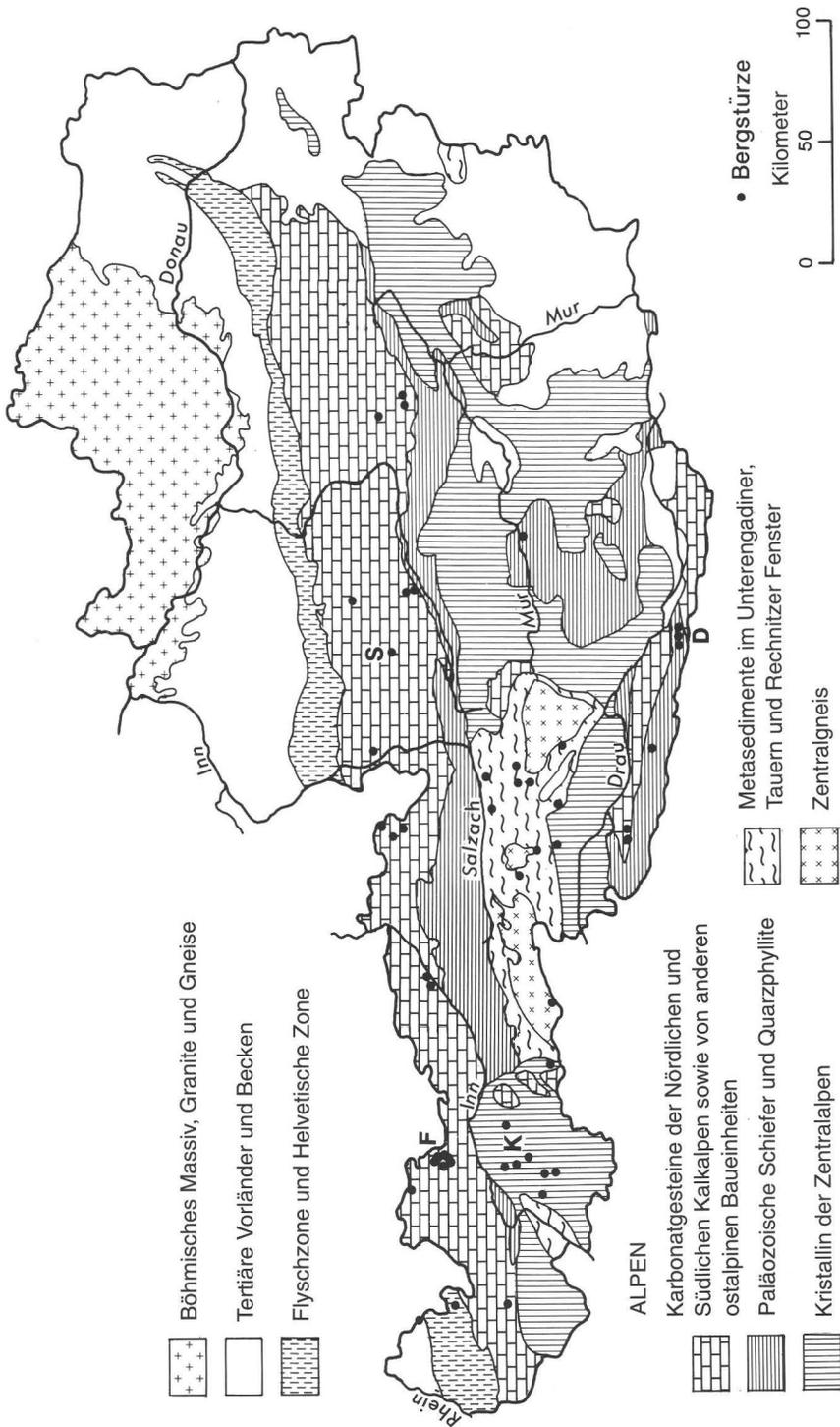
4. Massenbewegungen

Die Muren als Sondertyp der Massenbewegungen waren ein Schwerpunkt des letzten Kapitels. An dieser Stelle sollen alle anderen Festgesteins- und Lockergesteinsbewegungen behandelt werden, bei denen Durchfeuchtung zwar eine Rolle spielen kann, das Wasser aber nicht als Transportmittel fungiert. Liegen solche Massenbewegungen in Wildbach-Einzugsgebieten, so werden sie von der Wildbachverbauung miterfaßt und in Gefahrenzonenpläne und Katastrophenstatistik aufgenommen. Im Detail erfolgt die Dokumentation jedoch durch die Geologische Bundesanstalt. Die bisherigen Erhebungen erlauben eine vorsichtige Schätzung der Anzahl von alten und aktuellen Rutschgebieten in Österreich auf mindestens 100.000 (SCHÄFFER, persönliche Mitteilung).

4.1 Regionale Verbreitung in Österreich

Abbildung 4 zeigt die Verbreitung der gewaltigsten unter den Massenbewegungen, nämlich die der Bergstürze. Sie sind ihrer Natur nach auf die Alpen beschränkt und mehr oder minder historisch. Eine Ausnahme bildet der Bergsturz am Sandling, der sich am 12. September 1920 ereignete und 6-8 Mio. m³ Gestein bewegte (in Abb. 4 mit S markiert).

Aus Abbildung 4 und aus den Ausführungen ABELES (1974) geht hervor, daß in den kristallinen Zentralalpen die Zahl und das Volumen der Bergstürze geringer ist als in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß im sedimentären Bereich oft ein weitmaschiges Netz von Kluft-, Störungs- und Schichtflächen vorhanden ist, an denen die Schollen sich ablösen bzw. abgleiten können. Die metamorphen Schiefer, Gneise und gneisartigen Gesteine besitzen dagegen eine geringere Standfestigkeit und gehen daher meist in Form kleinerer Fels- und Schuttbewegungen zu Tal. Vom Volumen her befinden sich die Bergstürze von Köfels, Fernpaß und Dobratsch (in Abbildung 4 mit ihren Anfangsbuchstaben eingetragen) unter den zehn größten Ereignissen der Alpen. Dabei ist die Sonderstellung des Bergsturzes von Köfels hervorzuheben, welcher sich in den kristallinen Zentralalpen ereignete, wogegen alle übrigen Maximal-Ereignisse aus dem kalkalpinen Bereich stammen. Mit 24 km² erreicht die Fläche der resultierenden Tomalandschaft am Fuß des Dobratsch besonders große Ausdehnung, ist dort allerdings aus mehreren Ereignissen zusammengesetzt.



 Böhmisches Massiv, Granite und Gneise
 Tertiäre Vorländer und Becken
 Flyschzone und Helvetische Zone

ALPEN
 Karbonatgesteine der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen sowie von anderen ostalpinen Baueinheiten
 Paläozoische Schiefer und Quarzphyllite
 Kristallin der Zentralalpen

 Metasedimente im Unterengadiner, Tauern und Rechnitzer Fenster
 Zentralgneis

 • Bergstürze
 Kilometer
 0 50 100

Abb. 4: Geologische Übersichtskarte von Österreich (nach TOLLMANN 1986 und VETTERS o.J.) und die Verbreitung der Bergstürze (nach ABELE 1974 und MONTANDON 1933)

Während die Dimension der einzelnen Bergstürze leicht zu erfassen ist, kann über ihr Alter und über ihre unmittelbare Ursache meist nur spekuliert werden. Ausnahmen von dieser Regel bilden der Bergsturz vom Dobratsch, dessen Auslösung durch ein Erdbeben im Jahre 1384 bekannt ist (vgl. Abschnitt 9), und der Bergsturz von Köfels, welcher auf 8710 ± 150 Jahre BP ^{14}C datiert werden konnte (HEUBERGER 1966). Die alpinen Bergstürze wurden mangels absoluter Altersdatierungen gemeinhin als spätglaziale Ereignisse gedeutet, verursacht durch die Druckentlastung der Hänge nach dem Verlust der quartären Eisfüllung der Täler. In jüngerer Zeit glücken aber immer mehr ^{14}C -Datierungen, die die Bergstürze als wesentlich jüngere, postglaziale Erscheinungen darstellen. Für den Tschirgant-Bergsturz liegt ein Alter von rund 2900 Jahren vor (PATZELT & POSCHER 1993) und für den Fernpaß-Bergsturz besteht der Verdacht auf ein ähnliches Alter (ABELE 1991).

Abbildung 4 zeigt weiters die wichtigsten geologischen Zonen Österreichs. Deren Tendenz zu aktuellen, den Menschen und seine Wirtschaft bedrohenden Massenbewegungen aller Art soll im Folgenden skizziert werden. Basis für diesen Versuch ist die Lithologie. Es ist jedoch zu betonen, daß damit eine Generalisierung vorgenommen wird, die darüber hinwegsieht, daß örtlich nicht der Gesteinsbestand sondern die Tektonik ausschlaggebend ist. Abgesehen von der Präsenz vieler alter Störungs- und damit Schwächezonen, sind die Alpen eine mobile Nahtfuge der Erdkruste, an der aktuelle Bewegungen durch Messungen belegt sind. Die Hebung der Ostalpen in ihrem Scheitelbereich liegt im Millimeterbereich pro Jahr, laterale Versetzungen in den Nördlichen Kalkalpen sogar im Zentimeterbereich. Die Folge ist eine Auflocke- rung von Gesteinen entlang von Bruch- und Bewegungszonen. In einigen näher untersuchten Räumen der österreichischen Alpen ist der Zusammenhang mit großen Massenbewegungen evident.

Die allein durch Gestein und Relief verursachte Neigung zu Massenbewegungen läßt sich für die einzelnen geologischen Zonen Österreichs folgendermaßen charakterisieren:

Böhmisches Massiv: Es kann im Vergleich zu allen anderen Gebieten als relativ problemfrei eingestuft werden. Aufgebaut aus harten und standfesten Hauptgesteinsarten (Granite und Gneise), zeigen die weitgespannten Hochflächen im Allgemeinen nur geringe Höhenunterschiede und Hangneigungen.

Tertiäre Vorländer und Becken: Die tertiären Sedimente enthalten Lagen aus Feinsanden, Schluffen, Tonen und Tonmergeln, die bei starker Durchfeuchtung zu Massenbewegungen führen können. Vor allem beim Straßenbau oder durch Hangbewegungen in Hügelländern (z.B. in der Oststeiermark) kommt es zu Problemen. So sackte im Dezember 1985 ein 150 m langes Stück der gerade neu eröffneten Südbahn bis zu 15 m tief ab.

Flyschzone und Helvetische Zone: Die Sandsteine und Tonschiefer dieser Voralpenzone sind sehr bewegungsanfällig und Massenbewegungen, insbesondere Rutschun-

gen, daher häufig. Sie treten stellenweise großflächig auf und gefährden Ansiedlungen oder wichtige Verkehrs- und Versorgungseinrichtungen. Recht kostspielig war zum Beispiel die Sanierung der 2. Wiener Hochquellenleitung, die quer durch die Flyschzone Wasser aus den Kalkalpen nach Wien führt.

Kalkalpen: Sie beziehen ihr Gefährdungspotential im wesentlichen aus dem Wechsel zwischen Festgesteinen (Kalken und Dolomiten) und veränderlich festen Gesteinen, die bei Wasseraufnahme mobil werden können. Es handelt sich dabei um Tone, Tonschiefer, Salz und Gips, die innerhalb der Kalkalpenzone zu einem Viertel das Anstehende bilden. Die Anzahl der auftretenden Massenbewegungen ist geringer als im Flysch, die Dimension der ablaufenden Prozesse jedoch größer.

Ein rund 30 km² großes, besonders mobiles Gebiet befindet sich westlich und südlich des bereits erwähnten Bergsturzgeländes am Sandling. Als Beispielsfall für dieses Gebiet sollen die Massenbewegungen im Einzugsgebiet des Stambaches angeführt werden. Sie wurden von SCHÄFFER (1983) näher beschrieben. Die Kalkwände im Quellgebiet des Stambaches sind durch ihre tonig-mergeligen Basisschichten, durch zahlreiche Störungen und vermutlich auch durch neotektonische Bewegungen instabil. In den Jahren 1978 bis 1981 lösten sich aus ihnen drei Felsstürze mit Kubaturen zwischen 30.000 und 60.000 m³. Das Material stürzte auf eine alte, vermutlich spätglaziale Rutschmasse, bestehend aus tonigen, mergeligen und salzhaltigen Schichtgliedern der Kalkalpen. Diese wurde dadurch mobilisiert und bewegte sich langsam talwärts, wobei die Bewegung einmal einen und einmal zwei Monate dauerte. Auch eine Mure brach in dem losen Material am Fuß der Felswände an. Größere Waldflächen und einige Straßenabschnitte im Stambachtal wurden zerstört.

Paläozoische Schiefer und Quarzphyllite: Die in Abbildung 4 unter dieser Bezeichnung zusammengefaßten Gebiete stammen zum Teil aus unterschiedlichen tektonischen Einheiten. Ihr äußerst rutschungsanfälliger Gesteinsbestand klammert sie jedoch zusammen. Besonders problemreich ist die Grauwackenzone, welche zwischen Zentralalpen und Nördlichen Kalkalpen vom Ursprungsgebiet der Salzach nach Osten zieht. Zu den zahlreichen kleinen Rutschungen treten nicht selten auch Talzuschübe. Ein Beispiel für diese wird im nächsten Absatz beschrieben.

Zentralalpen: Sie zeigen einen vielfältigen Gesteinsbestand, vorherrschend sind jedoch metamorphe Gesteine. Entsprechend der Buntheit der Gesteine und ihrer wechselnden Ausprägung von massiv bis stark schiefrig, kommen alle Typen von Massenbewegungen vor. Besondere Instabilität kennzeichnet das Gebiet der Metasedimente des Tauernfensters, welches durch seine Position im Deckenbau der Alpen äußerster tektonischer Beanspruchung unterlag. Große Hangneigungen, hohe Niederschlagssummen, starke Infiltrationsraten durch Gesteinsauflockerung und andauernde tektonische Spannungen lassen hier sehr großräumige Massenbewegungen entstehen. Die Zentralgneise im Innersten des Tauernfensters sind dagegen wieder standfester.

Als Beispiel sei die große Massenbewegung bei Putschall in Kärnten angeführt, ausgebildet in einer Phyllitserie an der Südgrenze der Metasedimente des Tauernfensters zum Kristallin der Zentralalpen. Betroffen ist die gesamte, 1.100 m hohe, durchschnittlich 25-27° geneigte Talflanke auf einer Breite von 1.000 m. Im obersten Bereich zeigt sich eine Abbruchkante von 40 m Höhe; im unteren Bereich ist der Hangfuß konvex vorgewölbt. Die Bewegungen sind sowohl kriechend als auch gleitend und vollziehen sich in periodischen Schüben, wobei die jährlichen Beträge zwischen 50-60 cm am Oberhang und zwischen 20-30 cm am vorgewölbten Hangfuß liegen (MOSER & GLUMAC 1982).

Die Massenbewegung bedroht den Talort Putschall und einige landwirtschaftliche Betriebe mußten ausgesiedelt werden. Gefährlicher als die Hanginstabilität selbst ist jedoch deren räumliche Verknüpfung mit einem aktiven Wildbach. Die mobile Talflanke liefert dem Flußlauf an ihrem Fuß völlig zerrüttetes Material an, welches bei Hochwasser ausgeräumt wird. So wurden Teile von Putschall bei den Hochwasserkatastrophen 1965 und 1966 bis zu 12 m hoch verschüttet und mußten aufgegeben werden. Die Verbauungsmaßnahmen in solchen Wildbächen sind zudem finanziell ungemein aufwendig, da alle Bauten starkem seitlichen Druck durch die Bewegungssstirn der Massenbewegung ausgesetzt sind.

4.2 Erfassung der Massenbewegungen in Österreich

An der Geologischen Bundesanstalt wurde 1979 unter der Leitung von SCHÄFFER ein Projekt mit dem Titel "Dokumentation der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren" gestartet. Diese Dokumentation umfaßt neben anderen Sachverhalten (z.B. Verkarstung, fluviale Erosion) die Verbreitung sämtlicher Massenbewegungstypen in Österreich. Relevante, oft schwer zugängliche Gutachten und wissenschaftliche Abhandlungen werden gesammelt, die Position der einzelnen Rutschungen auf Karten verstandortet. Schließlich wird der Inhalt jedes Kartenblattes durch Geländekartierungen überprüft und vervollständigt.

Produkt dieser Dokumentation ist ein neues Kartenwerk, nämlich die "Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren", in welcher die Hangbewegungen sowie Merkmale einer verminderten Hangstabilität (z.B. Zerrüttungszonen, Vernässungszonen, erosive Unterschneidung, Bergzerreibungen) auf einer geologischen Grundkarte eingetragen sind. Zusätzlich findet sich eine Tabelle, die die Einheiten der geologischen Kartenlegende nach Gesteinsbestand, geotechnischen Merkmalen (z.B. Festigkeit) und Wasserempfindlichkeit aufschlüsselt. 1990 wurde der Einsatz digitaler Techniken für Entwurf und Redaktion dieses Kartenwerkes eingeleitet und der Maßstab von 1 : 50.000 auf 1 : 25.000 umgestellt. Gegenwärtig sind rund 50.000 geologisch-geotechnische Fakten erfaßt.

5. Lawinen

5.1 Ursachen für Lawinenabgänge und Lawinentypen

Lawinen entstehen entweder durch einen geringen Zusammenhalt der einzelnen Schneekristalle oder durch eine schlechte Bodenhaftung der Schneedecke, kombiniert mit Spannungsänderungen in dieser.

Der wichtigste Prozeß, der zu bindungslosem Schnee führt, ist die Kristall- und Strukturveränderung des Schnees während und nach seiner Ablagerung. Diese Schneemetamorphose verläuft je nach Temperatur und Feuchtigkeit von Boden, Schnee und Luft und je nach Windeinwirkung unterschiedlich. Ihr Ergebnis kann eine Kornverkleinerung, eine Kornvergrößerung oder die Ausbildung von Harsch sein. Während der Metamorphose selbst besteht eine labile Situation mit geringer Schneefestigkeit. Erst nach ihrem Abschluß sind im Falle einer Kornverkleinerung die Schneekristalle dichter gepackt und besser aneinander gebunden: die Schneedecke hat sich gesetzt und die Gefahr ist entschärft. Bei einer Kornvergrößerung hingegen ist nicht nur der Prozeß sondern auch dessen Produkt äußerst gefährlich: es entwickelt sich der sogenannte Schwimmschnee, bei welchem keinerlei Haftung zwischen den Einzelkristallen existiert. Unter Harsch ist eine stark verfestigte Schneeoberfläche zu verstehen, die entweder durch einen Wechsel von Tauen und Wiedergefrieren oder durch die Windpressung entsteht. Ergiebige Neuschneefälle führen somit zu einer gefährlichen Situation, denn in ihrem Gefolge setzt die Schneemetamorphose ein. Daneben kann aber auch rascher Temperaturanstieg oder Regen die Schneefestigkeit herabsetzen. In diesem Fall wird die Haftung der Kristalle durch einen Schmelzwasserfilm verringert. Zur bleibenden Gefahr wird bindungsloser Schnee, wenn er als Gleitfläche unterhalb oder innerhalb der Schneedecke liegt. Solche Gleitflächen sind in der Regel Schwimmschneeschichten oder alte zugeschnittene Harschflächen. Starke Spannungen in der Schneedecke vergrößern die Lawinengefahr. Sie sind insbesondere in windverfrachteten Schneemassen vorhanden, entwickeln sich aber auch, wenn sich der Schnee setzt und am geneigten Hang zu kriechen beginnt. Zusammen mit Gleitflächen führen sie zu einem labilen Schneedeckenaufbau. In der Folge können etwaige Spannungsänderungen, hervorgerufen zum Beispiel durch Temperaturschwankungen, durch das Gewicht von Neuschnee oder durch die plötzliche Auflast eines Skifahrers, die Lawine auslösen.

Insgesamt präsentieren sich somit große Neuschneezuwächse, rascher Temperaturanstieg und starke Windverfrachtung mit der kumulierten Wirkung von Schneedeckenerhöhung, Spannungsaufbau und Harschbildung als die gefährlichsten Situationen. Dies kommt auch in der Lawinenstatistik³⁾ zum Ausdruck. Bei rund 75% der

3) Die Lawinenstatistik für den Zeitraum Winter 1974/75 bis Winter 1992/93 ist in den FBVA Berichten 10, 15-17, 35, 38, 68, 74, 91 publiziert. Von LUZIAN wurden die bislang unveröffentlichten Daten über die Winter 1993/94 und 1994/95 zur Verfügung gestellt.

Schadlawinen des Zeitraumes 1977/78-1986/87 konnte die unmittelbare Abgangsur- sache angegeben werden (dem restlichen Viertel lag eine Faktorenkombination zugrunde oder der eigentliche Wirkfaktor blieb unklar). Die Auslösemechanismen der eindeutig analysierbaren Ereignisse waren: Neuschnee mit Windverfrachtung (25%), Schnee(regen) mit Temperaturanstieg (24%), Neuschnee (21%), Tempera- turanstieg (16%), Personen (14%).

Zur Typisierung der Lawinen gibt es zahlreiche, voneinander abweichende Gliede- rungsprinzipien. Unumstritten ist die Einteilung nach der Form des Anbruches: Lockerschneelawinen haben einen punktförmigen Anbruch, der sich nach unten erweitert. Bei den Schneebrettlawinen setzt sich im Augenblick des Abbruches eine Schneetafel unterschiedlicher Größe flächenhaft in Bewegung. Die Schneebrettlawinen verursachen im Allgemeinen den höheren Schaden und sind leider auch häufiger: Im 20-jährigen Beobachtungszeitraum Winter 1975/76 bis Winter 1994/95 konnten in Österreich 80% der Lawinen klassifiziert werden. Von diesen wurden 70% als Schneebrettlawinen und 30% als Lockerschneelawinen eingestuft.

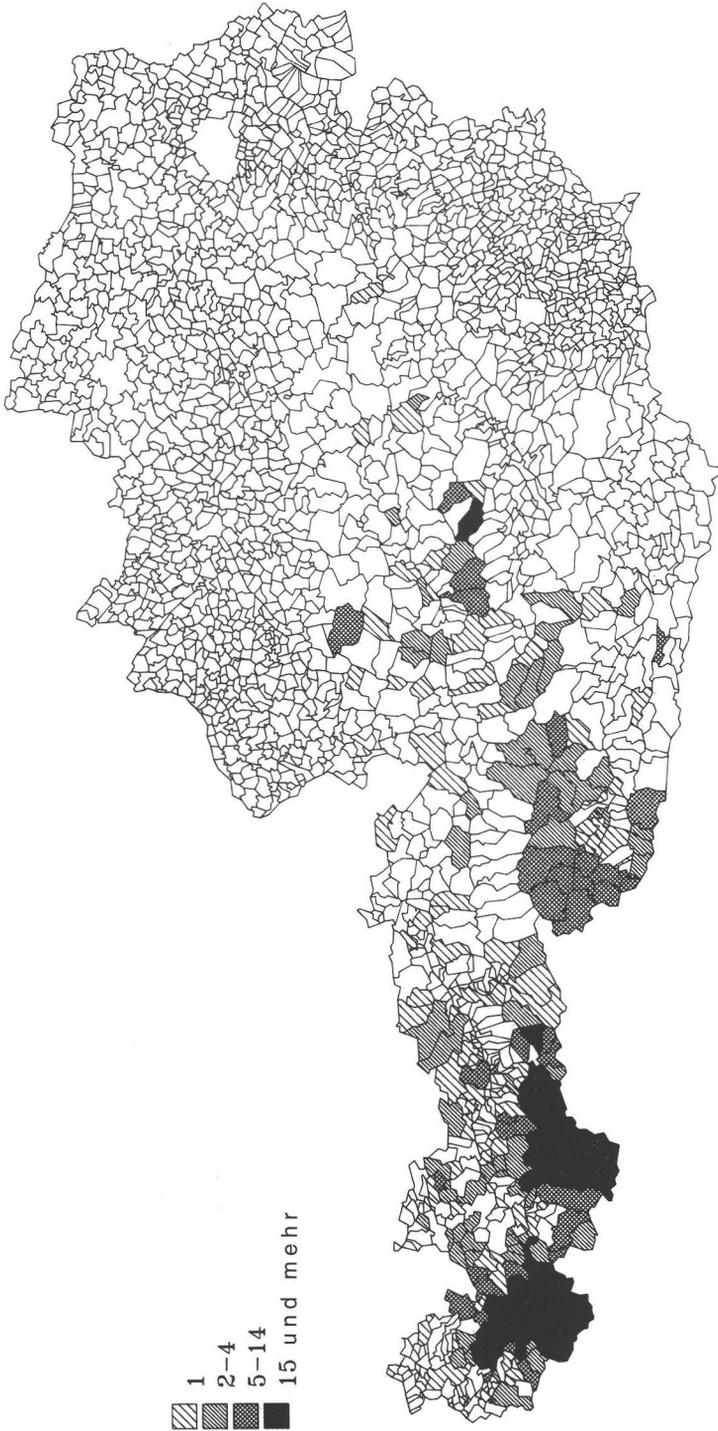
5.2 Regionale Verbreitung der Lawinengefährdung in Österreich

Im Wildbach- und Lawinenkataster des BMLF sind über 5.800 Lawinenstriche im dauerbesiedelten Raum ausgewiesen. Der größere Teil davon gefährdet Verkehrs- wege. Die in den Alpenhauptkamm zurückgreifenden Täler besitzen meist nur einen einzigen Zugang. Wenn dieser durch Lawinenabgänge bedroht ist, können ganze Talschaften mehrere Tage lang von der Außenwelt abgeschnitten sein.

Rund 1.000 Lawinen gefährden Siedlungsräume. Ihre Verbreitung ist in Abbildung 5 dargestellt, aus welcher die Lage der am stärksten von der Gefahr betroffenen Gebiete deutlich hervorgeht. Es sind die hochalpinen Teile Österreichs, wo die Steilheit der Hänge den Lawinenabbruch fördert und die große Seehöhe zu hohen Schneemengen führt. Innerhalb der Hochalpen bringt die Karte drei Schwerpunkte der Gefährdung zum Ausdruck. Es sind dies von W nach O: die Arlbergregion, die inneren Täler Westtirols und etwas abgeschwächt mit fünf bis 14 Lawinenstrichen die inneren Täler Osttirols. In diesen Gebieten ist eine besondere Häufung von Starkschneefällen festzustellen, verursacht durch den Stau der Niederschlagsfronten am Alpenhauptkamm. Da im Winter die dominanten Wetterlagen zu einem Anströ- men der Luftmassen aus dem NW führen, sind die Arlbergregion und Westtirol etwas stärker gefährdet als das an der Alpensüdabdachung gelegene Osttirol.

5.3 Lawinenkatastrophen in Österreich

Der bisher jüngste Katastrophenwinter ereignete sich 1953/54; er forderte 143 Todesopfer. Besonders heimgesucht wurde Vorarlberg, wo neben den vielen Lawi- nentoten enorme Sachschäden mit nahezu 300 zerstörten Gebäuden zu verzeichnen waren. Ein Unglücksjahr gleicher Größenordnung ist seither nicht mehr eingetreten. Allerdings kann daraus noch kein Erfolg der enormen Anstrengungen der Lawinen-



Quelle: BMLF 1989; Computergraphik: FASSMANN

Abb. 5: Anzahl der siedlunggefährdenden Lawenstriche in den Gemeinden Österreichs

verbauung und des Lawinenwarndienstes abgeleitet werden, denn eine so extreme Schnee- und Wettersituation, wie sie im Winter 1953/54 herrschte, hat sich zum Glück nie wieder ergeben. Auch aus einem anderen Grund verbietet es sich, die Leistung des Lawinenschutzes an der Katastrophenstatistik zu messen: durch die massive Ausdehnung der zu schützenden Siedlungsbereiche in der jüngeren Vergangenheit (vgl. AULITZKY 1986b) stand man vor der gleichen Kosten- und Leistungsexplosion wie beim Wildbachschutz.

Als weitere schwere Lawinenwinter sind die Winter 1974/75 und 1981/82 zu nennen. Wieder gab es Tote im Siedlungsbereich zu beklagen. Dennoch zeigt die Lawinenstatistik klar, daß die am meisten gefährdeten Personen heute die Wintersportler im nicht kontrollierten Gelände sind. Darunter fallen die Tourengesher und Variantenfahrer sowie die kleine, aber stetig wachsende Gruppe der Eiskletterer. Die tödlichen Lawinenunfälle der zehn Winter des Beobachtungszeitraumes 1978/79-1987/88 verteilen sich wie folgt: 78% der Betroffenen befanden sich auf einer Schitour in hochalpinem Gelände (häufig trotz Warnung); 10% der Verunglückten waren Einwohner oder Gäste im Siedlungsbereich; 8% Personen im Katastropheneinsatz (Rettungsmannschaften, Lawinenwarnkommission, Bundesheer); 2% Schifahrer auf gesperrten Pisten und 2% Schifahrer auf nicht gesperrten Pisten. In der jüngsten Periode (88/89-94/95) hat sich dieser Trend noch verstärkt: der Prozentsatz der im freien, ungesicherten Schirraum Verunglückten liegt heute bei 88%, wogegen es im Siedlungsraum zu überhaupt keinen Unfällen mehr kam. Dazu ist allerdings anzumerken, daß diese letzten sieben Jahre die lawinenärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen waren.

5.4 Lawinenschutz

5.4.1 Permanenter Lawinenschutz

Schon im 17. und 18. Jahrhundert wurden von Bergbauern einfache Lawinenverbauungen errichtet; manche von ihnen erfüllen noch heute ihre Funktion. Im vorigen Jahrhundert achtete man vor allem beim Eisenbahn- und militärischen Straßenbau auf einen entsprechenden Schutz der neuen Verbindungen. Seit 1884 nimmt der Staat den Lawinenschutz als öffentliche Aufgabe wahr. Die Arbeit dieser Dienststelle des BMLF wurde bereits im Abschnitt 3.4 eingehend beschrieben.

Als schwierigste Aufgabe des Lawinenschutzes ist heute die Hochlagenaufforstung und Schutzwaldbewirtschaftung anzusehen, da hier immer größere Flächen zu bewältigen sind und immer neue Probleme auftauchen. Ein ungleichaltriger, mehrstufiger und in sich gut geschlossener Waldbestand hebt das Windfeld, wirkt ausgleichend auf die Schneeablagerung und verhindert die Ausbildung zusammenhängender Spannungszonen in der Schneedecke. Zudem kann sich der Schnee im Umfeld der Bäume gut verfestigen. Dieser ideale Waldbestand wurde im Laufe der Jahrhunderte in den Alpen stark reduziert, muß mühsam wieder hergestellt werden und leidet dabei unter den steigenden Schadeinflüssen der jüngsten Zeit.

Gleichzeitig nimmt die Fläche, die wegen Lawinengefahr aufgeforstet werden muß, zu. Einerseits vergrößerte sie sich durch den Wintersport-Boom und seine bis vor kurzem ungehemmte Ausdehnung in immer höhere Areale mit waldlosen Lawinenanbruchgebieten. Andererseits fallen aus wirtschaftlichen Gründen immer mehr landwirtschaftlich genutzte Flächen des alpinen Bereiches brach. Vielfach handelt es sich um mittelalterliche Rodungsinseln inmitten des Gebirgswaldes, auf denen früher durch eine arbeitsintensive Pflege die Gefahr des Lawinenanbruches gering blieb. Heute aber wuchert auf ihnen ein langhalmiges Gras, welches potentielle Lawinen-Gleitbahnen bildet. Diese Flächen müssen entweder ihrer traditionellen Bewirtschaftung wieder zugeführt oder aufgeforstet werden.

Der notwendigen Vergrößerung der Waldfläche steht gegenüber, daß das Aufkommen der Aufforstungen sowie die natürliche Verjüngung der Lawinenschutzwälder heute oftmals gefährdet ist. Die Forstleute klagen über den hohen Wildbestand, der zu Verbiß- und Fegeschäden an den Jungpflanzen führt. Das Waldsterben nimmt auch an der oberen Waldgrenze spürbare Formen an, wobei das Ausmaß künftiger Schäden noch gar nicht abzuschätzen ist.

5.4.2 Temporärer Lawinenschutz

Kurzfristig wird der Lawinengefahr durch Warnung, Sperre von Verkehrswegen und Schipisten, Evakuierung von Gebäuden und durch künstliche Lawinenauslösung begegnet. Diese Maßnahmen werden vom Lawinenwarndienst und von den örtlich zuständigen Lawinenkommissionen veranlaßt.

Mit Ausnahme von Niederösterreich, Wien und Burgenland haben alle Bundesländer Österreichs seit dem Jahre 1975 einen Lawinenwarndienst, welcher täglich anhand der Wetter- und Schneebeobachtung an ausgewählten Meßstationen eine Übersicht über die allgemeine Gefahrensituation erstellt und über Rundfunk, Presse und Telephon-Tonband bekannt gibt. Dieser "Lawinenbericht" bildet eine wichtige Hilfe bei der örtlichen Beurteilung der Lawinengefahr durch die Lawinenkommissionen. Sie entscheiden in der Folge, ob und wo Straßen und Schipisten zu sperren bzw. bedrohte Gebäude zu evakuieren sind, oder sie veranlassen Lawinensprengungen, um die Gefahr zu verringern.

6. Bodenerosion

Die Formen der fortgeschrittenen Gully-Erosion und die der natürlichen Bodenerosion im Bergland werden in Österreich zusammen mit den Wildbächen und Muren erfaßt und kontrolliert. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der flächenhaften Bodenerosion auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche, welche durch falsche Bewirtschaftung ausgelöst wird. Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der österreichischen Staatsfläche liegt wegen der großen Ausdehnung von Wald und alpinem

Ödland unter 50%. Auf diesen 3,47 Mio. ha (Stand 1995) hat sich jedoch in den letzten Jahrzehnten die Bodenerosion durch die Intensivierung der Landwirtschaft verstärkt. Als Ursachen im Detail sind zu nennen: die Mechanisierung und Bodenkommassierung, die zu Großfeldern führte, welche häufig in der Falllinie bearbeitet werden; der Wechsel im Anbauverhältnis von bodenschützenden Pflanzen wie Klee und Luzerne zu erosionsfördernden Kulturen, insbesondere zu Mais, und die Umwandlung von Grünlandflächen zu Ackerland in Hanglagen.

Eine Erfassung der Bodenerosion erfolgt im Zuge der österreichischen Bodenkartierung. Diese wird vom Institut für Bodenwirtschaft des Bundesamts und Forschungszentrums für Landwirtschaft seit dem Frühjahr 1958 systematisch durchgeführt; der Kartierungsmaßstab ist 1 : 10.000. Es handelt sich um eine "Lokalformenkartierung", bei der auf der Karte Flächen abgegrenzt werden, die innerhalb ihrer Grenzen weitgehend gleiche Beschaffenheit zeigen ("Bodenformen" oder "Einheiten"). Die Eigenschaften dieser Bodenformen, darunter auch deren Erosionsgefährdung, werden in einer gesonderten Erläuterung beschrieben (vgl. POVOLNY 1983). Auf Anfrage und gegen Vergütung wird die maßgebliche Information aus der Bodenkarte isoliert und eine Sonderkarte der "Erosionsgefährdung" hergestellt. Hierbei muß bedacht werden, daß für die Abschätzung der Erosionsgefährdung zwar objektive Kriterien wie Neigung, Hanglänge, Boden- und Nutzungsart als Richtlinien vorhanden sind, dem Kartierer jedoch bei der endgültigen Beurteilung ein subjektiver Ermessensspielraum bleibt.

Die statistische Auswertung dieses Kartenwerkes⁴⁾ erlaubt eine grobe Abschätzung des Umfangs der Bodenerosion in Österreich. Demnach sind 85.120 ha stark und 518.300 ha mäßig, zusammen also 603.420 ha von einer Bodenerosion durch Wasser gefährdet. Es handelt sich dabei um einen Minimalwert, denn die Bodenerosion wurde nicht kartiert in Weingärten und auf Almen. Zudem hat die Erscheinung in Maisanbaugebieten seit Kartierungsbeginn erheblich zugenommen. Von einer windbedingten Bodenerosion sind in Österreich 20.950 ha stark und 231.720 ha mäßig betroffen.

KLAGHOFER (in: BMLF [Hrsg.], o.J.) ermittelte den Umfang der Bodenerosion in Österreich auf einem anderen Weg. Er spricht von der "potentiell gefährdeten Fläche" und addiert dafür die Anbauflächen von Mais, Zuckerrübe und Wein (1985: 431.000 ha), sowie die alpinen, über 30% geböschten, hauptsächlich als Grünland genutzten Flächen, für die er einen Wert von 300.000 ha setzt. Da es in der Zwischenzeit zu einem Rückgang des Mais-, Zuckerrüben- und Weinanbaus gekommen ist (auf 373.000 ha im Jahr 1995), kann KLAGHOFERS Ergebnis als Maximalwert angesehen werden.

4) Freundlicherweise zur Verfügung gestellt vom Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft; Erhebungsstand: April 1997

Beide Schätzungen, diejenige der Bodenkartierung nach oben und die von KLAGHOFER nach unten korrigiert, ergeben, daß in Österreich rund 18% der landwirtschaftlich genutzten Fläche erosionsgefährdet sind. Für die Bodenerosion durch Wind errechnen sich 7%. Darüberhinaus wurden im Rahmen der österreichischen Bodenkartierung noch weitere 5% der Flächen als rutschungsgefährdet eingestuft.

Aussagen über die regionale Verbreitung der Bodenerosion sind auf der Basis der vorhandenen Unterlagen schwieriger. Ein Schwerpunkt ist sicherlich im NO des Staatsgebietes festzustellen, und zwar aufgrund der dort weit verbreiteten Löss, welche intensiv genutzt werden und sowohl für die flächenhafte Bodenerosion als auch für die Gully-Erosion anfällig sind. Die Winderosion spielt ebenfalls in den Flachlandschaften des NO und O ihre größte Rolle, insbesondere im Wiener Becken und im österreichischen Anteil der Kleinen Ungarischen Tiefebene.

Das BMLF unterhält eine Beratungsservicestelle für die Landwirtschaft, welche Direktiven und Unterlagen für geplante Maßnahmen entwickelt und an die regionalen Agrarbehörden weiterleitet. Auf diesem Wege wurde bereits sehr viel zur Erosionsbekämpfung unternommen, vor allem in der Steiermark und in Niederösterreich. Die einzelnen Landwirte werden zu ackerbaulichen Schutzmaßnahmen angehalten. Bei Mais- und Zuckerrübenfeldern haben sich Getreidestreifen und Zwischenfruchtanbau bewährt. Im Weinbau dient als Erosionsschutz eine Dauerbegrünung des Bodens oder Strohmulchen. Auf den steilen Lößhängen der Wachau und am Wagram in Niederösterreich ist dies aber nicht ausreichend, hier verhindert nur die traditionelle Terrassierung eine Bodenerosion. In Gebieten der Winderosion werden zur Reduktion der Windgeschwindigkeit Bodenschutzstreifen angelegt. Der Kern dieser Streifen besteht aus Bäumen, beiderseits pflanzt man Sträucher aus bodenständigen Arten.

Weiters unterhält der Staat ein spezielles Forschungsinstitut zu Fragen der Bodenerosion und des Erosionsschutzes in Österreich, das ist die Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen (NÖ). An diesem Institut beschäftigt man sich sowohl mit den praktischen Anliegen des Erosionsschutzes als auch mit aktuellen Forschungsfragen, etwa mit der Ermittlung geeigneter Parameter für verschiedene Computer Modelle zur Erfassung der Bodenerosion (vgl. dazu z.B. KLAGHOFER & SUMMER 1990).

7. Gefahrenpotentiale im Gletscherbereich

Glazial bedingte Naturkatastrophen gehen entweder zurück auf Eisstürze und Eislawinen, welche beim Abbruch eines vorrückenden Gletschers über einen Steilrand oder über glattes, abschüssiges Gelände passieren, oder es handelt sich um Hochwassertragödien, verursacht durch den Dambruch eines Stausees, der direkt oder indirekt durch den Gletscher entstanden ist.

Schadereignisse der ersten Gefahrenkategorie sind aus den österreichischen Alpen unbekannt weil stets nur Vorposten des Dauersiedlungsraumes bis in den anökumenischen Bereich des unmittelbaren Gletschervorfeldes vordrangen. Historische Aufzeichnungen über gletscherbedingte Hochwasserkatstrophen dagegen gibt es viele. Insbesondere das Ötztal war davon betroffen. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts, vor allem aber im 19. Jahrhundert zwischen 1830 und 1890 wurde das Tal wiederholt durch die Ausbrüche des Rofener und des Gurgler Eisstausees verwüstet. Der Rofener See war dabei der gefürchtete von beiden. Er bildete sich bei raschen Vorstößen des Vernagtferners, der, aus einem Seitental kommend, mit seinem Eis das Haupttal oberhalb von Vent abdämmte. Sechs verheerende Ausbrüche des Rofener Sees sind bekannt, mit Flutwellen, die selbst den Inn bei Innsbruck noch stark und plötzlich ansteigen ließen. Eisblöcke aus dem Ausbruch des Jahres 1680 sollen noch in der Donau beobachtet worden sein. Etwas anders verlief der gelegentliche Aufstau des Gurgler Sees. Er bildete sich in einem Seitental, welches durch den Gletscher des Haupttales blockiert wurde. Dank der massiveren Eisabdämmung brachen die Wassermassen nie so katastrophal schnell aus wie beim Rofener Eissees und richteten nur in zwei Fällen größere Schäden an. Eine detaillierte Aufstellung der Ereignisse findet sich bei LEYS & REINWARTH (1975).

In heutiger Zeit würde ein neuerliches Vorrücken der Gletscher nicht nur die Bildung gefährlicher Eisseen ermöglichen. Es käme auch zu beträchtlichen wirtschaftlichen Schäden in den Gletscherschübegebieten, deren Infrastruktur sich zur Gänze innerhalb der Moränen des Hochstandes des letzten Jahrhunderts befindet (SLUPETZKY, persönliche Mitteilung). Theoretisch fällt die Gletscherüberwachung in die Kompetenz der Wildbach- und Lawinenverbauung. In der Praxis geht jedoch von den heutigen Gletschern, die sich generell im Rückzug befinden, keine Gefahr aus.

8. Permafrost

Es steht heute außer Zweifel, daß in den alpinen Hochlagen Permafrost existiert und dies in viel größerer Verbreitung, als man bis vor kurzem annahm. Vor 1980 hat nicht berücksichtigter Permafrost bei Bauprojekten im Gebirge wiederholt zu technischen Problemen und Mehrkosten geführt. Auch die wissenschaftliche Erforschung dieses Phänomens war in den Ostalpen lange Zeit auf einige kleine Gebiete beschränkt. Erst 1996 erschien eine umfassende Monographie zur Permafrostforschung in Österreich, in der die ersten Ergebnisse des vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanzierten Projektes "Hochgebirgspermafrost" niedergelegt sind (= Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz, Bd. 33).

Abbildung 6 zeigt eine Überblickskarte zur Verbreitung des alpinen Permafrostes, die von LIEB erstellt wurde (Abb. 1.9 in EMBLETON-HAMANN 1997). LIEB stütze sich bei diesem Kartenentwurf auf seine eigenen umfangreichen Erhebungen in den

Gebirgsgruppen Ostösterreichs (LIEB 1996) und ergänzte sie mit Auskünften von KERSCHNER zur Situation in Westösterreich. Die in Abbildung 6 ausgewiesenen Flächen geben jene Gebiete an, in denen in schattseitiger Lage mit großer Wahrscheinlichkeit mit diskontinuierlichem Permafrost zu rechnen ist. Im Bereich des Alpenhauptkammes wurde als Indikator die Untergrenze der intakten Blockgletscher verwendet. Intakte Blockgletscher sind an der Nordabdachung der Hohen Tauern ab 2.400 m und an deren Südabdachung ab 2.500 m anzutreffen; nach Westen hin steigt ihre Untergrenze bis in die Tiroler Zentralalpen um 100 bis 200 m an. Die Randalpen sind vielfach arm an oder überhaupt frei von Blockgletschern. Das Vorhandensein von Permafrost kann hier nur durch aufwendige Untersuchungen festgestellt werden. Dazu zählt die Messung der Basistemperatur der winterlichen Schneedecke, die Erfassung von Quelltemperaturen und die geophysikalische Prospektion mittels Refraktionsseismik, Geoelektrik oder Georadar. Mit entsprechenden Temperaturmessungen hat LIEB im Dachsteingebiet Permafrost in N-Expositionen ab 2.300 m Höhe nachgewiesen. Dieser Wert wurde in Abbildung 6 zur Abgrenzung des Phänomens in den Nördlichen Kalkalpen verwendet. Geophysikalisch am besten erforscht sind in den österreichischen Alpen ein Blockgletscher in den Ötztaler Alpen (HAEBERLI & PATZELT 1982) und einer in der Ankogelgruppe (LIEB 1996, SCHMÖLLER & FRÜHWIRTH 1996).

Permafrostprobleme bei Hochlagenbauten gab es immer wieder, so zum Beispiel beim Neubau des Observatoriums auf dem Hohen Sonnblick, beim Bau einer Radarstation des Bundesheeres auf dem Gipfel des Glungezer (vgl. die Permafrostkartierung von PATZELT 1983) und bei Bauarbeiten in Gletscherschigebieten. Bei der Fundierung von Seilbahnstützen und größeren Gebäuden sowie bei der Trassierung und beim Vortrieb von Zufahrtsstraßen und Zufahrtstunnels stieß man auf Permafrost, wel-

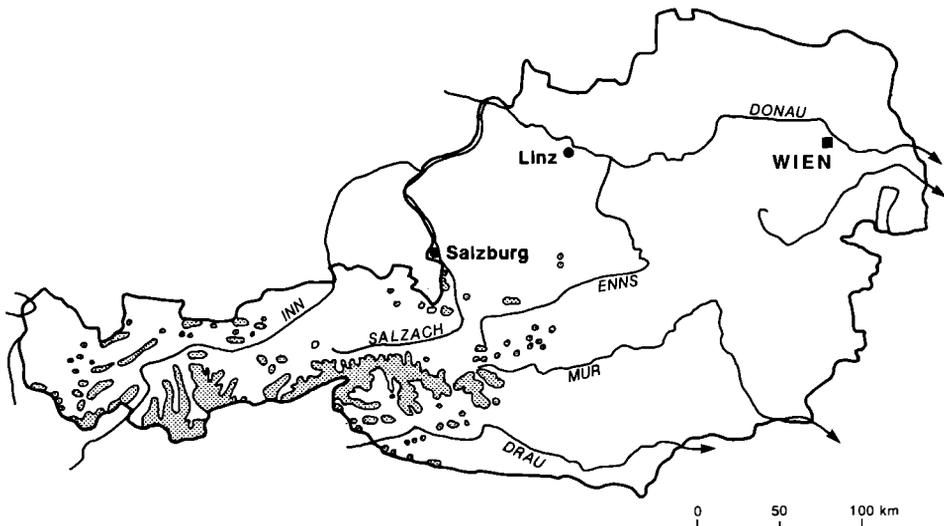


Abb. 6: Die Verbreitung des alpinen Permafrostes in Österreich (Kartenautor: LIEB)

cher in der Folge zu Bauverzögerungen und immer wieder auftretenden Bauschäden führte. In einigen wenigen Fällen wurde der Abbruch und die Neuerrichtung der Objekte notwendig. Alle diese Probleme sind unzureichend dokumentiert, kaum publiziert, und da die betroffenen Betreiber meist nicht gerne darüber reden, ist es schwierig, mehr über die spezifische Natur der bautechnischen Probleme zu erfahren.

In einigen wenigen Fällen gelang es LIEB (1996) Näheres in Erfahrung zu bringen. Als Beispiel seien hier die Schwierigkeiten beim Neubau des Observatoriums auf dem Hohen Sonnblick in 3.106 m Seehöhe wiedergegeben. Am Gipfel des Sonnblicks liegt über dem Anstehenden ein mächtiger Verwitterungsmantel, der ab 30 cm Tiefe ganzjährig gefroren ist. Dadurch ergaben sich im einzelnen folgende Probleme:

- Bei der Schrämmung kam es zu einem sofortigen Wiederfestfrieren des gelockerten Gesteins.
- Beim Bau der Fundamente wurde das Gleichgewicht zwischen der Wärmeleitung von oben und von unten gestört und stellte sich erst nach 2-3 Jahren wieder ein.
- Das Auffrieren von Tropfwasser am Permafrostspiegel erforderte spezielle bauliche Anpassungen.
- Hebungs- und Setzungserscheinungen machten zusätzliche Isolationen, z.B. unter dem Estrich, notwendig.

Durch ihre gesammelten Erfahrungen haben die Baufirmen heute die Arbeit im Permafrostbereich gut im Griff, und Anlagen, die nach 1980 in den österreichischen Hochalpen errichtet wurden, können als problemfrei gelten.

9. Erdbeben

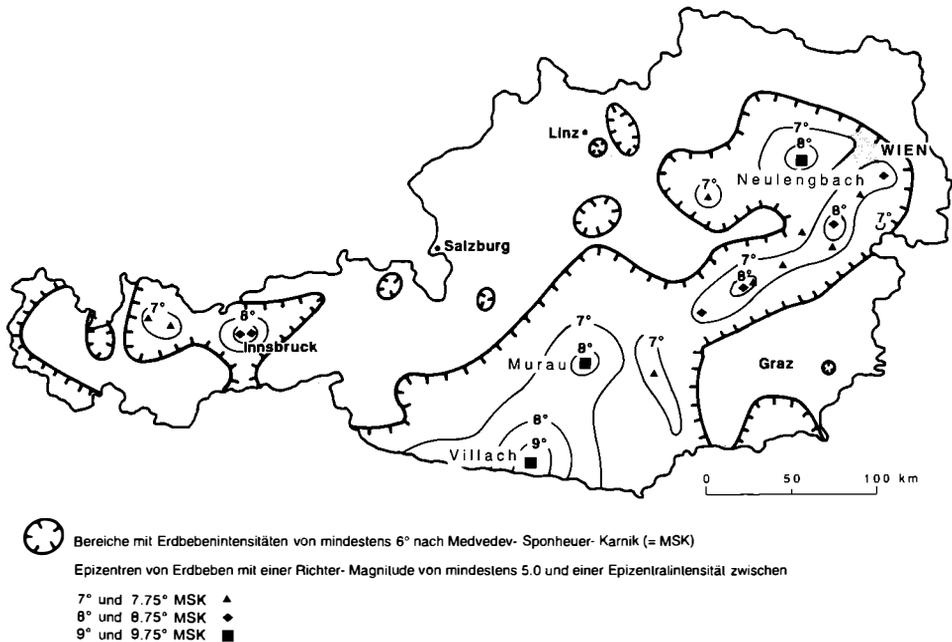
Am Rande des Mediterran-transasiatischen Erdbebengürtels gelegen, ist Österreich zwar kein klassisches Erdbebenland, kann jedoch im Extremfall von Ereignissen der Größenordnung des Friauler Bebens vom 6. Mai 1976 heimgesucht werden. Die seismische Aktivität ist an die Tektonik der Ostalpen gekoppelt.

Seit Beginn dieses Jahrhunderts werden Erdbeben in Österreich wissenschaftlich erfaßt. Dokumentations- und Forschungszentrum ist der Erdbebendienst der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Weiters beschäftigt sich die Kommission für Geophysikalische Forschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften mit der Seismizität Österreichs. Die regionale Verbreitung der Erdbebengefährdung im Bundesgebiet wurde in jüngster Zeit vor allem von DRIMMEL untersucht. Die folgende Übersicht stützt sich im wesentlichen auf seine Arbeiten (DRIMMEL 1980; DRIMMEL in FINK 1986).

Für die in Österreich auftretenden Erdbeben sind seichte Bebenherde typisch, welche in der oberen Kruste in Tiefen von 7-12 km liegen, in Ausnahmefällen in bis zu 20 km Tiefe. Ein besonderes Merkmal ostalpiner Starkbeben ist die Form des

Schüttergebietes, welches nicht kreisförmig ist, sondern einer gestreckten Ellipse ähnelt, deren große Achse den Alpenzug quert und in deren südlichen Brennpunkt das Epizentrum liegt. Dadurch pflanzen sich die seismischen Wellen bevorzugt nach N bis NW fort, d.h. die Beben sind häufig noch außergewöhnlich weit im Norden, nämlich in Böhmen und Mitteldeutschland, spürbar. Dieses Phänomen war bereits im letzten Jahrhundert bekannt und führte zum Begriff "Transversalbeben" als gebräuchliche Denomination ostalpiner Beben. Eine zufriedenstellende Erklärung für diese Erscheinung steht allerdings noch aus.

Abbildung 7 zeigt die von DRIMMEL entworfene Karte der Erdbebengefährdung in Österreich. Die zugrundeliegenden Daten reichen weit über die Periode der seismographischen Aufzeichnungen hinaus bis ins Jahr 1201 zurück und wurden aus der Analyse von einschlägigen Berichten in Geschichtsschroniken gewonnen. Aus der Beschreibung der Bebenwirkungen wurde die Intensität der historischen Beben mit Hilfe der Medvedev-Sponheuer-Kárník Skala (welche der Mercalli-Sieberg Skala äquivalent ist) erfaßt. Auf diese Weise ist zwar primär nur die Epizentralintensität und die Größe des Schadensgebietes rekonstruierbar; mit Hilfe von semiempirischen Gleichungen kann aber in der Folge auch die zugehörige Richter-Magnitude abgeschätzt werden. Zum Entwurf der Karte wurden alle Ereignisse mit einer Intensität von 6° MSK oder mehr ausgewertet; das ist jene Intensitätsstufe, ab der Schäden an solid gebauten, gut erhaltenen Gebäuden auftreten.



Quelle: Abb. 3.2 in FINK 1986

Abb. 7: Karte der Erdbebengefährdung in Österreich, abgeleitet aus den maximalen Epizentralintensitäten von Ereignissen des Zeitraumes 1201 bis 1982

Aufgrund der Bebenstatistik sind in Österreich durchschnittlich alle 46,3 Jahre zerstörende Erdbeben mit Maximalintensitäten von mindestens 8°MSK zu erwarten; für Erdbeben mit einer Intensität von mindestens 7°MSK beträgt der Wiederholungszeitraum 8,5 Jahre und für Erdbeben gerade über der Starkbebengrenze von 6°MSK 1,6 Jahre. Die Zentren der drei gefährlichsten Erdbebengebiete Österreichs mit Epizentralintensitäten von 9-10°MSK bzw. einer Richter Magnitude von 6-6.5 befinden sich der Reihe nach in Villach, in Murau und in Neulengbach (vgl. Abb. 7).

Eine 250 km lange und 30 ± 5 km breite seismisch aktive Zone setzt auf der Karte in Abbildung 7 bei Murau ein und läßt sich gegen NW bis in den Wiener Raum verfolgen. Sie knüpft sich an das alpine Längsbruchsystem der Mur-Mürz Linie und an das Störungssystem des Wiener Beckens. In diesem größten österreichischen Erdbebengebiet wurde mehr als die Hälfte aller Starkbeben seit dem Jahr 1200 verzeichnet. Besonders energiereiche Beben betrafen in der Vergangenheit Murau im Murtal und Kindberg im Mürztal und das bisher stärkste Erdbeben des 20. Jahrhunderts (16. April 1972) hatte sein Epizentrum bei Seebenstein-Pitten, etwa 55 km südlich von Wien.

Ein weiteres Viertel aller Erdbeben ereignete sich in Tirol mit einem zahlenmäßigen Schwerpunkt der Ereignisse um Innsbruck und Hall, wo die Wipptalstörung auf die Inntalstörung trifft. Verglichen mit den Erdbebenherden an den Bruchsystemen der Mur-Mürztal Linie und des Wiener Beckens, die ihren Sitz in 8-12 km (im Semmeringgebiet bis zu 18 km) Tiefe haben, knüpfen sich die Tiroler Erdbeben an etwas höher liegende Hypozentren. Im Haller Raum wurden auch einige schwache und sehr seichte Erschütterungen aufgezeichnet, die offenbar auf Bodensenkungen im Gefolge des Salzbergbaus zurückzuführen sind.

Maßgebend für die potentiell gefährlichste Erbebenzone Österreichs ist die Periadriatische Naht, an der sich das bisher schwerste Beben Mitteleuropas ereignete. Am 25. Jänner 1348 wurde Villach durch ein Beben der Intensitätsstufe 10°MSK, bzw. einer Magnitude von 6,5 heimgesucht. Dessen Wirkung kann in etwa mit der des Friauler Bebens vom 6. Mai 1976 verglichen werden. Die Stadt wurde durch die Erschütterungen und durch die nachfolgenden Brände in Schutt und Asche gelegt. Die besondere Dimension dieser Erdbebenkatastrophe entstand aber durch die schweren morphologischen Folgewirkungen der Erschütterungen. Aus der Südwand des Dobratsch löste sich ein riesiger Bergsturz und verlegte das Gailtal. Durch den Bergsturz und die Überflutungen des aufgestauten Flusses wurden noch einmal 17 Dörfer, drei Schlösser und neun Kirchen vernichtet. Am 4. Dezember 1690 erlitt Villach ein zweites, fast ebenso starkes Beben und ein weiteres Starkbeben traf das Gebiet im Jahr 1855.

Einige kleinere seismische Quellgebiete liegen außerhalb der zusammenhängenden Erdbebenregionen Österreichs am Alpennordrand. Dazu gehören das Epizentrum von Neulengbach; westsüdwestlich davon folgt das von Scheibbs (in Abb. 7 durch ein Symbol für Epizentren der Stärke 7-7,25° MSK verstandortet) und in der Verlän-

gerung trifft man auf das von Molln. In der geologisch-tektonischen Interpretation dieser scheinbar isolierten Herde ist man sich nicht einig. Alle drei knüpfen sich an Bruchlinien, die tief unter den alpinen Decken in deren kristallinem Sockel liegen und die sich nicht bis an die Oberfläche durchpausen. DRIMMEL (1980) postuliert ihre Zusammengehörigkeit und sieht sie entlang einer dem Alpenrand ungefähr gleichgerichteten Störungszone aufgereiht. TOLLMANN (1986) hingegen ordnet den Neulengbacher Starkbebenherd dem SSW-NNE laufenden Mailberger Bruchsystem zu.

Diese wissenschaftliche Kontroverse ist insoferne bemerkenswert als sie in die öffentliche Diskussion über Österreichs erstes und zugleich letztes Atomkraftwerk eingebracht wurde, das in Zwentendorf nördlich von Neulengbach gebaut worden war, und dessen Inbetriebnahme schließlich durch eine Volksabstimmung verhindert wurde. Dabei bestand über die Erdbebengefährdung der Anlage eigentlich kein Zweifel. Selbst wenn der Verlauf der maßgeblichen Störungslinie nicht festgestellt werden kann, so bleibt doch die Tatsache, daß der Ort im Schüttergebiet eines bekannten Starkbebenherdes liegt, bedenklich genug.

10. Summary

Christine Embleton-Hamann: Natural Hazards in Austria. Causes, Distribution, Damage and Protection Measures

This paper revises and updates my recently published account of geomorphological hazards in Austria (EMBLETON-HAMANN 1997). The original manuscript was published 1997 but the last opportunity which I had to revise the text was in 1990. Things like the report on recent catastrophes and the state of hazard-zone mapping have been updated and other new details have been added. Additional information became available in the following fields:

New research results – distribution and characteristics of permafrost in the Eastern Alps; dating of some of the large rockfalls which were supposed to be late glacial but are actually much younger.

Improved statistical data – extended figures on soil erosion in agricultural areas; careful data processing on torrent damage reveals that the formerly given figure for death tolls was too high.

Renewals in disaster mitigation strategies – legislative changes in 1994 accommodated ecological sensitivity within the existing decision-making framework in flood protection.

11. Literaturverzeichnis

- ABELE G. (1974), Bergstürze in den Alpen. Ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen (= Wiss. Alpenvereinshefte 25). 230 S. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Habil.-Schr.
- ABELE G. (1991), Der Fernpaßbergsturz. Eine differentielle Felsgleitung. In: Jahresbericht 1989/90 (91) / ÖGG / Zweigverein Innsbruck, S. 22-32.
- ANDRECS P. (1996), Analyse und statistische Auswertung von Hochwassermeldungen 1972-1993. Grundlagen für die Beurteilung von Gefährdungen durch Wildbäche (= Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 170). VII, 143 S.
- AULITZKY H. (1984), Über die regionale Verteilung der Wildbachverbauung in Österreich. In: Österr. Wasserwirtschaft, 36, S. 309-318.
- AULITZKY H. (1986a), Über den Einfluß naturräumlicher Gegebenheiten auf Erosion und Wildbachtätigkeit in Österreich. In: Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, S. 45-62.
- AULITZKY H. (1986b), Über die Verteilung der Schadlawinen in Österreich und die zu erwartende Entwicklung. In: Sicherheit im Bergland, Jahrbuch 1986, S. 19-38.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1989), Lawinen in Österreich. Lawinengefahren und Lawinenschutz. Wien, BMLF. 30 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1994), Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung, Technische Richtlinien gemäß § 3 Abs.2 WBF, RIWA-T. Wien, BMLF. 55 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1996), Gewässerschutzbericht 1996. Wien, BMLF.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (o.J.), Beratungsschwerpunkt Bodengesundheit. Eine Arbeitsunterlage der Beratungsservicestelle des BMLF.
- DRIMMEL J. (1980), Rezent Seismizität und Seismotektonik des Ostalpenraumes. In: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT ÖSTERREICHS (Hrsg.), Der geologische Aufbau Österreichs, S. 507-527. Wien, Springer.
- EMBLETON-HAMANN C. (1997), Austria. In: EMBLETON C. & EMBLETON-HAMANN C. (Hrsg.), Geomorphological Hazards of Europe (= Developments in earth surface processes, 5), S. 1-30. Amsterdam, Elsevier.
- FINK M.H. (Red.) (1986), Raumordnung und Naturgefahren (= ÖROK Schriftenreihe, 50). 134 S.
- HAEBERLI W., PATZELT G. (1982), Permafrostkartierung im Gebiet des Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. In: Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 18, S. 127-150.
- HEUBERGER H. (1966), Gletschergeschichtliche Untersuchungen in den Zentralalpen zwischen Sellrain- und Ötztal (= Wiss. Alpenvereinshefte, 20). 126 S.
- KLAGHOFER S., SUMMER W. (1990), Estimation of soil erosion from a lower Alpine catchment. In: SINNINGER R.O., MONBARON M. (Hrsg), Hydrology in Mountainous Regions II, Artificial Reservoirs, Water and Slopes (= IAHS Publication, 194), S. 67-74.
- KRONFELLNER-KRAUS G. (1989), Die Änderung der Feststofffrachten von Wildbächen. In: Informationsber. 4/89 des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, S. 101-115. München.
- LEYS E., REINWARTH O. (1975), Auswirkungen der Gletscher und der Gletscherabflüsse auf die Wildbach- und Lawinengefahr und ihre Berücksichtigung in den Gefahrenzonenplänen. In: Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol. Anlässlich des Int. Symp. "Interpraevent 1975" in Innsbruck v. 29. Sept.-3. Okt. 1975, 1, S. 345-357. Wien, Braumüller.

- LIEB G.K. (1996), Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. In: Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich (= Arb. aus d. Inst. f. Geogr. d. Karl-Franzens-Univ. Graz, 33), S. 9-125.
- MONTANDON F. (1933), Chronologie des grands éboulements alpins du début de l'ère chrétienne à nos jours. In: Matériaux pour l'étude des calamités, 32 (Genève), S. 271-340.
- MOSER M., GLUMAC S. (1982), Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzuschubes Gradenbach (Kärnten). In: Verh. d. Geol. Bundesanstalt, 3, S. 209-241.
- ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT (1996), Ergebnisse der landwirtschaftlichen Statistik im Jahre 1995 (= Beitr. z. österr. Statistik, 1.205). Wien.
- PATZELT G. (1983), Die spätglazialen Gletscherstände im Bereich des Mieslkopfes und im Arzthal, Tuxer Voralpen. Tirol (= Innsbrucker Geogr. Studien, 8), S. 35-44.
- PATZELT G., POSCHER G. (1993), Bemerkenswerte geologische und quartärgeologische Punkte im Oberinntal und im äußeren Ötztal. In: HAUSER C. (Hrsg.). Geologie des Oberinntaler Raumes (= Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Mieming, Tirol), S. 206-213.
- POVOLNY I. (1983), Bodenerosion. In: BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (Hrsg.), 25 Jahre Bodenkartierung, S. B.133-B.168. Wien.
- PRODINGER F. (1975), Die Eisbildung in den Oberläufen alpiner Gewässer und ihre Gefahren (Eisstoßbildungen). In: Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol. Anlässlich des Int. Symp. "Interpraevent 1975" in Innsbruck v. 29. Sept.-3. Okt. 1975, 1, S. 271-281. Wien, Braumüller.
- SCHÄFFER G. (1983), Die aktuelle Massenbewegung Stambach-Zwerchwand/Bad Goisern. In: BAUMGARTNER P. (Bearb.), Gmunden (= Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt; Salzkammergut, OÖ), S. 28-29.
- SCHMÖLLER R., FRÜHWIRTH K. (1996), Komplexgeophysikalische Untersuchungen auf dem Döserer Blockgletscher (Hohe Tauern, Österreich) (= Arb. aus d. Inst. f. Geogr. d. Karl-Franzens-Univ. Graz, 33), S. 163-190.
- SEEBACHER F.S., SHAHIN M.M.A. (1985), Beitrag zur statistischen Auswertung extremer Tagesniederschläge in Österreich. In: Österr. Wasserwirtschaft, 37, S. 181-190.
- STINY J. (1931), Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde. Wien, Springer.
- TOLLMANN A. (1986), Geologie von Österreich. 3 Bde. Wien, Deuticke.
- VETTERS H. (Hrsg.) (o.J.), Geologische Karte der Republik Österreich und der Nachbargebiete 1 : 500.000. Wien, Geologische Bundesanstalt.