

Hanns KERSCHNER, Innsbruck

Johann STÖTTER, Innsbruck

Alpine Naturgefahren – Ursachen, Bedrohung und Gegenmaßnahmen

Summary

In high mountains extreme fluvial and gravitational events (floods, debris flows, gravitational processes and avalanches) of low frequency and high amplitude are part of the natural environment and can be perceived as natural hazards. They are usually triggered by extreme precipitation events that are bound to the advection of humid and instable air masses originating from the Mediterranean or the Atlantic. Mesoscale convection cells embedded in a southerly to south-westerly airflow lead to the greatest precipitation sums and intensities. In addition the natural features of the environment (topography, geological structures, existence of loose sediments and unstable bedrock) must be taken into consideration. The handling of natural hazards is marked by active (technical) measures and passive (planning, prophylactic) measures, in order to prevent events, to moderate their consequences or to avoid endangered areas. The various concepts and measures and their foundations in the Alpine countries are described.

1 Einleitung

Zur natürlichen Dynamik in Gebirgen mit hoher Reliefenergie gehören gravitative und fluviale Prozesse, die als Gefährdung empfunden werden, wenn sie im Siedlungs- und Wirtschaftsraum auftreten. Der ökonomische Wandel von einer agrarisch geprägten Gesellschaft, die noch in der ersten Hälfte des 20. Jh. bestand, zu einer dienstleistungs- und freizeitorientierten Gesellschaft führte zu einer zunehmenden Nutzung der Alpen als Siedlungs-, Wirtschafts- und Erholungsraum (z.B. BÄTZING 1993). Dadurch hat die Auseinandersetzung mit dem als Gefährdung empfundenen natürlichen Prozessgeschehen deutlich zugenommen. Die intensivierete Nutzung und zunehmende materielle Werte sind Ursache für rasch steigende Schadenssummen.

Neben dieser Zunahme des Schadenspotenzials ist der Wandel im Prozessgeschehen durch klimatische Veränderungen für das Gefährdungspotenzial im Alpenraum von Bedeutung. Die Folgen einer globalen Erwärmung (HOUGHTON ET AL. 2001) betreffen im Gebirgsraum vor allem die Hydro/Kryosphäre sowie die Biosphäre. Durch das Abschmelzen von Gletschern (MAISCH ET AL. 1998) sowie das Ausschmelzen von Permafrost (HAEBERLI ET AL. 1998) wird früher vor Erosionsprozessen geschütztes Lockermaterial für Naturgefahrenprozesse bereitgestellt. Mögliche Entwicklungen in der Zukunft unter dem Gesichtspunkt einer veränderten Zeit-Mengenstruktur des Niederschlags (WANNER ET AL. 2000) und der Auswirkungen auf die Vegetation wurden im Rahmen des Schweizer Nationalen Forschungsprojekts NFP 31 untersucht (BADER und KUNZ 1998). Demzufolge ist mit einer Zunahme der Intensität und/oder der Häufigkeit von Hochwasser, Muren und Rutschungen zu rechnen, wogegen für Sturzprozesse und Lawinen keine Zunahme prognostiziert werden kann.

Dem stehen ein gesteigertes Sicherheitsbedürfnis und eine weitgehend mediengesteuerte Sensibilisierung bei der Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren in der (außer-alpinen) Bevölkerung gegenüber, die in einem verstärkten Ruf nach präventiven Maßnahmen münden (PETRASCHKE 1996). Ursachen- und Folgenforschung im Zusammenhang mit Naturgefahren ist deshalb ebenso aktuell wie notwendig und es müssen, aufbauend auf den vorhandenen Umgangsweisen, angepasste nachhaltige Strategien entwickelt werden.

2 Ursachen

KIENHOLZ et al. (1998) strukturieren das Wirkungsgefüge von Naturgefahrenprozessen in einem vereinfachenden Modell aus Grunddisposition und variabler Disposition sowie auslösendem Ereignis. Größen, die in der Regel keinem kurzfristigen Wandel unterliegen, wie die Topographie oder die geologischen Verhältnisse, ergeben die Grunddisposition. Sie ist dem Prozessgefüge unterlagert, kann aber selbst nicht auslösend sein. Diese relativ stabile Raumausstattung wird durch variable Faktoren überlagert, die sich periodisch oder episodisch verändern, wie z.B. Vegetationsbedeckung oder Schneedecke. Die Stabilität des Systems erfährt dadurch eine Veränderung, die aber in der Regel nicht zum Überschreiten kritischer Grenzwerte führt. Erst durch zusätzliche Belastungen, die meist auf episodische Extremereignisse zurückgehen, können sie überschritten werden. Die Instabilität des Systems führt dann zu geomorphologischen Prozessen, deren Auswirkungen als gefährlich wahrgenommen werden können.

2.1 Atmosphärische Prozesse – variable Disposition und auslösende Ereignisse

Extremereignisse sind meist an hohe Niederschlagssummen mit unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Struktur gebunden. Durch die Koppelung zwischen der räumlichen und zeitlichen Größenordnung atmosphärischer Vorgänge dauern großräumige Niederschlagsereignisse, die ein oder mehrere Flusseinzugsgebiete betreffen, zumeist einige Tage. Kleinräumige Ereignisse, wie z.B. Gewitter, die nur ein einzelnes Bacheinzugsgebiet mit voller Intensität betreffen, sind immer kurzfristig (Dimension Stunden). Durch das Zusammenspiel zwischen atmosphärischen Vorgängen und dem Relief sind die meteorologischen Ausgangsbedingungen derartiger Ereignisse in den einzelnen Einzugsgebieten stets sehr ähnlich (SCHWARZL 1992). Daneben kann eine zuerst verzögerte und dann im Spätfrühling oder Frühsommer rasch ablaufende Schneeschmelze Hochwässer und ihre Begleiterscheinungen auslösen.

Kleinräumige Ereignisse (Gewitter) können auf begrenztem Raum sehr hohe Niederschlagssummen bei hoher Niederschlagsintensität bringen. In typischen Wildbacheinzugsgebieten können im Durchschnitt 50–80 mm/h erreicht und punktuell wesentlich überschritten werden. So wird für ein Schadensereignis, das die Ortschaft Axams bei Innsbruck am 4.7.1983 betroffen hat, an Hand „stummer Zeugen“ kleinräumig eine Niederschlagsmenge von 200–300 mm in 35–40 Minuten geschätzt (PITTRACHER 1986), wogegen der Durchschnitt im ca. 10 km² großen Gesamteinzugsgebiet bei maximal 100 mm lag. Wärmegewitter sind in den randalpinen Gebieten, vor allem im Süden, besonders häufig, wo feuchte Luft aus den Vorländern in die Täler angesaugt und labilisiert werden kann.

Großräumigere konvektive Niederschläge erreichen im Südosten des Alpenraumes ihre größte Intensität. Niederschlagssummen von 600–670 mm in drei Stunden, 650 mm in zwei Stunden, 500 mm in acht Stunden und 324 mm in fünf Stunden werden berichtet (LAUSCHER 1967, HADER 1969, WAKONIGG 1978). Die Voraussetzung dafür ist die Entwicklung von Gewitterclustern in feuchtwarmer, labil geschichteter Mittelmeerluft an der Vorderseite eines Mittelmeertiefs und eine Verstärkung der Labilisierung durch Advektion in ein Gebirgsrelief sowie durch Kaltluft, die den Alpenkörper von Norden her an seinem Ostsaum um- und überströmt. In ähnlicher Form findet man sie in den mittelmeeernahen Einzugsgebieten des südwestlichen Alpenraumes (siehe BLANCHET 1995, CARREGA 1995, BENECH et al. 1993, SENESI et al. 1995) und in den an die Poebene angrenzenden, nach Süden offenen Tälern der Südalpen.

Hochwasserereignisse, die größere Gebiete der Alpen betreffen, erfordern ausgedehnte Dauerregen, die durch die Advektion großer Mengen feuchtwarmer Luft, labile Schichtung und großräumige synoptische und reliefbe-

dingte Hebung verursacht werden. Die Voraussetzung für derartige Aufgleit- und Hebungsvorgänge sind an der Vorderseite eines Troges über Westeuropa bei starker Divergenz in der Höhe sowie gleichzeitigem Eindringen bodennaher kälterer Luft in den Nordalpenraum gegeben. Sie betreffen oftmals nicht nur den eigentlichen Südalpenraum, sondern greifen weit über den Alpenhauptkamm nach Norden aus (STEINACKER 1988). Im Kammbereich der Zentralalpen fallen dann durch das Zusammenwirken der verschiedenen Hebungsprozesse besonders ergiebige Niederschläge mit hoher Intensität. Mesoskalige Konvektionszellen, also Gewitterzellen im Durchmesser einiger Zehnerkilometer, können in die Anströmung aus Süden eingelagert sein. Ihre Entstehung wird durch die bodennahe Konvergenz in den nach Süden offenen Tälern (z.B. Tessintäler, Pässeiertal) begünstigt; sie führen zu regionalen Niederschlagsspitzen. Derartige Lagen traten beispielsweise im Sommer 1987 zweimal auf (ÖWW 40, 1988). Diese Südlagen sind im Sommer und im Herbst besonders wirksam, wenn das Mittelmeergebiet schon oder noch warm ist.

Die Schneefallgrenze kann bei der Advektion großer Warmluftmassen im oder über dem Gipfelbereich (um 4000 m und darüber) liegen, wodurch die Abflusspufferung durch eine Schneedecke ausfällt. Wenn der Schneefall deutlich unter das Gipfelniveau absinkt, beginnt die Talatmosphäre auszukühlen und die Schneefallgrenze arbeitet sich nach unten vor (STEINACKER 1983). Im Einzelfall entscheidet die Flächen-Höhen-Verteilung eines Einzugsgebietes in Verbindung mit der Höhe der Schneefallgrenze darüber, ob und in welchem Ausmaß diese „Sicherung“ wirksam wird.

Wetterlagen mit Advektion feuchter Luft aus dem NW-Sektor gefährden vor allem den Nordsaum der Alpen. Das Zusammenspiel von synoptischer Labilisierung und Stau am Gebirgskörper sowie eine hinreichend lange Andauer ist für überdurchschnittliche Niederschlagsmengen entscheidend. Die Luftmassen, die im Sommer vom Atlantik oder der Nordsee kommen, enthalten wegen der niedrigeren Temperaturen in der Regel nur etwa halb so viel Wasserdampf wie die wesentlich wärmere Mittelmeerluft; die sommerliche Schneefallgrenze liegt meist in Höhen um 2.500 m oder tiefer, so dass zumindest in den Zentralalpen der „Sicherungseffekt“ wirksam wird. Dadurch sind diese Lagen besonders im vor- und randalpinen Bereich hochwasserwirksam, wo die höchsten Erhebungen unter der Schneefallgrenze verbleiben. Dauerregen bei nordalpinen Staulagen können hohe Niederschlagssummen über große Räume bringen. Das Hochwasser an der Donau und ihren Zubringern im Juli 1954 ist dafür nach wie vor ein klassisches Beispiel (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO 1955). Im Winter können derartige Lagen zu ergiebigen Schneefällen, intensiver Umlagerung des Schnees durch hohe Windgeschwindigkeiten und damit zu einer Labilisierung der Schneedecke und beträchtlicher Lawinengefahr führen. Die La-

geentwicklung im Februar 1999, die in den nordwestlichen Alpen zu weitverbreiteten großen Lawinenabgängen führte, mag als Beispiel dienen (GABI 2000, SLF 2000).

2.2 Gelände und Raumausstattung – variable Disposition

Starkniederschläge sind eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für große Naturereignisse, sie fallen in ein konkretes Gelände mit im Einzelfall besonderen Vorbedingungen. Dabei handelt es sich um die topographischen Verhältnisse und daraus resultierende morphometrische Variable (z.B. Höhenunterschied, Gefälle, räumliche Struktur des Fließgewässernetzes, Lauflänge), Untergrundverhältnisse (Wasseraufnahmefähigkeit, Interflow, Grundwasser, mobilisierbare Lockersedimente), Vegetation (Interzeption, mechanische Stabilisierung, Gefährdung der Gerinnebette), Zustand der Gerinnebette und ihrer Einhänge sowie die hydrologische Vorgeschichte der Ereignisse. Die Vielzahl der Einflussgrößen kann nur exemplarisch skizziert werden, in ihrem Zusammenwirken können sowohl abschwächende wie verstärkende Effekte auftreten (vgl. EISBACHER und CLAGUE 1984, LUZIAN 2002).

Die Auswirkung des Untergrundes auf die Ausbildung eines Spitzenabflusses ist weitgehend von seiner Fähigkeit abhängig, Niederschlagswasser aufzunehmen. Unter durchschnittlichen Bedingungen können auch relativ große Niederschlagsmengen aufgenommen werden, bevor der Porenraum gefüllt ist und der Oberflächenabfluss und oberflächennahe Bodenabfluss zur Hochwasserbildung beiträgt. Bei einem 100-jährigen Ereignis sind Füllregen in der Größe von etwa 25–60 mm für kleine Einzugsgebiete charakteristisch (KÖLLA 1986). Diese Füllregen sind im Verhältnis zu den bei Großereignissen fallenden Niederschlagssummen (vgl. Abschnitt 2.1) relativ gering, da bei kurzfristigen Ereignissen die Infiltrationskapazität des Untergrundes nicht ausgenutzt werden kann (ZUIDEMA 1985). Wenn durch vorauslaufende Ereignisse der Untergrund vorgesättigt ist, geht dieses Wasser direkt in den Abfluss ein. Gleiches gilt bei Versiegelung des Untergrundes, z.B. durch Frost.

Die Interzeption geschlossener Waldbestände ist bei kleineren und mittleren Niederschlagsereignissen merklich wirksam, bei Großereignissen jedoch unbedeutend. Wesentlich wichtiger ist die Bedeutung des Waldes im Hinblick auf die Verbesserung der Bodenstruktur und der Wasseraufnahmefähigkeit sowie die mechanische Stabilisierung des Untergrundes (STAUDER 1974). Sie wirkt sich vor allem bei kleineren und mittleren Ereignissen sowie bei Dauerregen niedriger Intensität aus. Bei sehr großen Ereignissen, bei denen der Untergrund bis zum anstehenden Festgestein hinreichend durchfeuchtet wird, können auch geschlossene, gesunde Waldbestände

instabil werden und abgleiten (z.B. Ereignisse in Osttirol 1965, 1966). Im Winter kommt die mechanische Stabilisierung der Schneedecke durch den Wald dazu, im Frühling und Frühsommer eine kontrollierte Verzögerung der Schneeschmelze.

Mobilisierbare Lockersedimente und veränderlich feste Gesteine können bei hinreichender Durchfeuchtung als Hangmuren abgehen, besonders wenn es durch Übersättigung gleichzeitig zum Austritt von Hangwasser kommt. In der Wildbachkunde hat sich die auf STINY (1910, 1931) zurückgehende Einteilung der Lockersedimente in „Jungschutt“ und „Altschutt“ bewährt. Jungschutt ist in ständiger Neubildung begriffen, etwa im Bereich kalkalpiner Schutthalden. In höher gelegenen Gebieten kann auftauender Permafrost jüngere Schuttablagerungen, wie z.B. gefrorene Moränen oder Blockgletscher, mobilisieren (VAW 1992). Altschutt ist in den meisten Fällen eiszeitlicher Entstehung. Grund- und Ufermoränen, Eisrandsedimente und hochgelegene Talverfüllungen fallen in diese Gruppe; ihre Bildung ist abgeschlossen. Altschutt hat je nach seiner Struktur und Textur sehr unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich Wasseraufnahmefähigkeit und -zügigkeit sowie bodenmechanischer Stabilität. Talverfüllungen wie der Schesatobel bei Bludenz (Vorarlberg), in dem seit dem 18. Jh. mehr als 45 Mio. m³ erodiert wurden, sind ein klassisches Beispiel für Erosion in Altschutt. Über das System der Vorfluter wurde der Schesatobel zu einem Problem für die Ill, den Rhein und seine Mündung in den Bodensee (AULITZKY 1986).

Anstehendes Gestein, das Stauhazone begünstigt oder insgesamt wasseraufnahmefähig ist (veränderlich feste Gesteine), kann bei starker mechanischer Beanspruchung und hohem Wassereintrag ebenfalls instabil und soweit zerrüttet werden, dass es zu Hangbewegungen und Talzuschüben kommt, die ein Gerinnebett beeinflussen. Diese Gebiete sind potenzielle Geschiebequellen und auch langfristig durch technische Maßnahmen nur schwer beherrschbar.

Die morphologischen Folgen starker Regenniederschläge betreffen in erster Linie die Einzugsgebiete von Wildbächen, von denen es alleine in Österreich über 4000 gibt. Beim geschiebeführenden Wildbach wird das Material als Einzelkorn oder in geschlossenen Transportkörpern an der Gerinnesohle fortbewegt; Wasser und transportiertes Geschiebe sind voneinander getrennt, der Abfluss selbst ist turbulent. Die ständige Verlegung des Laufs kann die Ufererosion wesentlich begünstigen, beim Aufsedimentieren können Abflussquerschnitte verklausen oder wesentlich verkleinert werden und zu drastischen Änderungen der Abflussbahnen führen. Besonders kritische Stellen sind in diesem Zusammenhang zu klein dimensionierte Brückendurchlässe (z.B. Poschiavino in Poschiavo 1987, Ruetz bei der Falbesonalm im Stubaital 1985, Masonbach an der Arlberg-Westrampe 1995).

Muren sind ein Sonderfall des Wildbachabflusses (vgl. STINY 1910, EISBACHER und CLAGUE 1984, ÜBLAGGER 1986, 1988, TAKAHASHI 1991, BUNZA 1992, VAW 1992, ZIMMERMANN 1990, KERSCHNER 1999). Sie bestehen aus einem Gemisch von etwa 25–80% Feststoffen und Wasser bei weitgehend laminarem Abfluss. Häufigste Ursache für Murgänge ist die Gerinnebettmobilisierung (LEHMANN 1993). Dabei setzen sich Teile des Gerinnebetts in Bewegung, wenn durch Sättigung und die Auflast des abfließenden Wassers eine kritische Schubspannung überschritten wird. Voraussetzung ist eine hinreichende Ladung des Gerinnebetts, die im Altschutt von Natur aus vorhanden sein kann, während sie sich bei Jungschuttwildbächen im Laufe der Zeit erst aufbauen muss. Die Destabilisierung der Einhänge durch Durchfeuchtung, Hangwasserdruck und erosive Versteilung des Hangfußes kann zu Hangrutschungen in das Gerinnebett führen. Besonders gefährlich ist die zeitweise Blockierung des Abflusses (Verklauserung) durch Materialeintrag von der Seite und Waldbestände, die mit dem Untergrund in das Gerinne hineingleiten (Unholz) sowie durch liegen gebliebene kleinere Muren und der nachfolgende Durchbruch, der einen Murstoß auslösen kann.

Die Ablagerungskegel sind gleichsam die „Visitenkarte“ eines Wildbachs und, wegen der bevorzugten Siedlungsstandorte, gleichzeitig die am meisten gefährdeten Bereiche. Die „stummen Zeugen“ (AULITZKY 1992) auf diesen Kegeln erlauben eine Analyse des Verhaltens des Baches. Wenn ein Wildbach murfähig oder murstossfähig ist, findet man die Spuren der einzelnen Ereignisse in Form von Murzungen mit ihren begleitenden Wällen (levées), große Blöcke, die mittransportiert werden und die Auswirkungen auf Bauwerke und Siedlungen. Mehrstöckige Keller oder Bauten, zu deren Eingangstür man einige Stufen hinunter oder hinauf gehen muss, erzählen von den vergangenen Ereignissen. Schließlich können die Ablagerungskegel selbst wieder zu Geschiebequellen werden, wenn ihre Einzugsgebiete ausgeräumt sind und sie dadurch dem Angriff eines Hochwassers ausgesetzt sind.

3 Maßnahmen

Das Zusammenwirken der atmosphärischen, hydrologischen und geomorphologischen Prozesse kann im menschlichen Siedlungs- und Wirtschaftsraum zu Ereignissen führen, die in unterschiedlicher Weise als Bedrohung empfunden werden, sei es als Gefahr für Leib und Leben oder als materielle Schäden. Gerade letztere sind sehr stark vom wirtschaftlichen Umfeld abhängig; dann wird der Ruf nach Schutzmaßnahmen durch öffentliche Stellen laut, oft auch unter der Hoffnung „auf das nachträgliche Heilen durch die öffentliche Hand“ (FLIRI 1984, S. 52).

Der Umgang mit Naturgefahren durch öffentliche Dienststellen in den Alpenländern ist weitgehend durch Ingenieurdisziplinen geprägt. Entspre-

chend werden ingenieurtechnische und -biologische Methoden meist als aktive, planerische Konzepte im Gegensatz dazu als passive Maßnahmen bezeichnet.

Der klassische Umgang mit Naturgefahren, den Menschen praktizierten, seit sie den Alpenraum besiedelten, war die Meidung gefährdeter Bereiche – wohl die einzige Maßnahme, die wirklich den Begriff passiv verdient. In einer agrarisch geprägten Gesellschaft war die Wahrnehmung von Naturgefahren sehr direkt. Diese Phänomene wurden meist als „gottgewollt“ aufgefasst, so dass eine individuelle und gesellschaftliche Bewertung unter diesem Aspekt erfolgen musste. Neben der Meidung blieben Duldung sowie der Versuch, göttlichen Schutz zu erwirken, bis ins Mittelalter die einzigen Maßnahmen. Erst am Übergang zur Neuzeit kamen zu diesem passiven Verhalten erste aktive Maßnahmen. Dabei handelte es sich um einfache Objektschutzbauten, wie Schutzmauern, Spaltkeile (Bauwerke zur Teilung von Lawinen u.ä.) oder Ebenhöche (Einpassung von Bauwerken in das Gelände, um Lawinen darüberzuleiten). An der grundsätzlichen Wahrnehmung und Bewertung änderte sich aber nichts.

Das 19. Jahrhundert mit seiner geistigen Öffnung zu einer naturwissenschaftlich und technisch orientierten Betrachtungsweise brachte eine tief greifende Veränderung im Umgang mit Naturgefahren. Es waren Forstwirte und Techniker (z.B. ARETIN 1808, DUILE 1826), die erste wissenschaftliche Abhandlungen über den Umgang mit Naturgefahrenprozessen verfassten. Sie bildeten die Grundlagen für die Einführung staatlicher Institutionen, deren Aufgabe bis heute der Schutz der Gesellschaft vor den Auswirkungen von Naturgefahren ist. Auslöser für die Gründung derartiger Dienste waren aber katastrophale Einzelereignisse, wie z.B. die Hochwasser- und Mureereignisse in Tirol und Kärnten in den Jahren 1882 und 1884. Als Folge wurde in Österreich 1884 dem Gesetz „betreffend die unschädliche Ableitung der Gebirgswässer“ durch Kaiser Franz Joseph I. die allerhöchste Sanktion erteilt, wodurch die Dienststellen der Wildbach- und Lawinverbauung in Österreich ins Leben gerufen wurden (AULITZKY 1998). In Frankreich gehen vergleichbare gesetzliche Grundlagen bis in die 1860er Jahre zurück (WEINMEISTER 1997), in der Schweiz in die späten 1870er Jahre (FRUTIGER 1980).

Zwei Schwerpunkte prägen die ersten Jahrzehnte staatlichen Umgangs mit Naturgefahren: Ingenieurtechnische Maßnahmen zum Verbau der als gefährdet eingestuft Wildbäche sowie forstliche Maßnahmen zur Verbesserung der Schutzfunktion alpiner Wälder („Integralmelioration“, vgl. STAUDER 1963), die vielfach durch weit überdimensionierte Wildbestände gefährdet sind (MAYER 1983, 1984). Hinzu kommt eine Weiterentwicklung der Objektschutzmaßnahmen.

Erst nach dem 2. Weltkrieg erlauben die neuen technischen Möglichkeiten den Permanentverbau der oberhalb der Waldgrenze gelegenen Anrissgebiete von Großlawinen. Die in großen Teilen der Alpen katastrophalen Auswirkungen der Lawinenwinter von 1950/51 und 1952/53 lieferten die volkswirtschaftliche und politische Legitimation für die Durchführung umfangreicher technischer Verbaumaßnahmen, zu denen ab den späten 1950er Jahren zunehmend auch ingenieurbiologische Ansätze kamen (z.B. SCHIECHTL 1958). Es waren aber auch die intensiven Lawinen- und Wildbachereignisse in den 1950er und 1960er Jahren, die ein Umdenken im bis dahin praktizierten Umgang mit Naturgefahren bewirkten. Rein aktive Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren schienen auf Dauer weder ausreichend noch bezahlbar zu sein. Dies wurde durch die Erkenntnis bestärkt, dass „das Schutzbedürfnis ungleich stärker ansteigt, als es durch die Herstellung von Schutzbauten befriedigt werden kann“ (BERGTHALER 1975). Als Konsequenz wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der Naturgefahren in die Raumplanung integriert, anders als bisher nicht mehr in Form einzelner, oft auf ein Objekt oder ein Ereignis bezogenes Gutachten, sondern in Form einer flächenhaften Feststellung des Gefährdungsgrads im Rahmen einer Gefahrenzonenplanung.

3.1 Schweiz/Liechtenstein

Infolge der Katastrophenwinters 1951/52 wurde 1954 in der Schweiz für die Gemeinde Gadmen im Berner Oberland der erste Lawinenzonenplan erlassen (FRUTIGER 1980). Um von diesem ersten Ansatz zu einer umfangreichen Gefahrenzonenplanung zu kommen, bedurfte es einer Reihe von gesetzlichen Veränderungen. Einen ersten, noch sehr eingeschränkten Rahmen bildete die Vollziehungsverordnung zum Forstpolizeigesetz im Jahre 1965, derzufolge die Kantone dafür zu sorgen hatten, dass „in lawinengefährdeten Gebieten keine Gebäude errichtet wurden. Zu diesem Zweck sollten Lawinenzonenpläne aufgestellt werden. Wurde bei der Wahl der Bauplätze keine Rücksicht auf den Zonenplan, den Lawinenkataster oder Warnungen vor Bauvorhaben genommen, so leistete der Bund keine Beiträge an den Schutz solcher Bauten“ (BAUMANN und BURI 1994, 29).

Durch das Raumplanungsgesetz vom 22. Juni 1979 fanden weitere Naturgefahrenprozesse Eingang in die Planung. Die planenden Behörden wurden dadurch verpflichtet, generell bei raumwirksamen Tätigkeiten Naturgefahren zu berücksichtigen. Aber erst durch das Bundesgesetz über den Wasserbau (WBG) vom 21. Juni 1991 und das Bundesgesetz über den Wald (WaG) vom 4. Oktober 1991 mit den zugehörigen Verordnungen wurden die Kantone zur Erarbeitung der Grundlagen wie Gefahrenkataster und Gefahrenkarten sowie die Fachstellen des Bundes zur Durchführung grundlegender Arbeiten und Aufstellung technischer Richtlinien verpflichtet.

Wegen der föderalistischen Struktur der Schweizer Eidgenossenschaft entwickelten sich in den einzelnen Kantonen individuelle Ansätze zu der durch diese Rahmengesetzgebung des Bundes vorgeschriebenen Gefahrenzonenplanung. Neben sehr unterschiedlichen Zugangsweisen und Konzepten in den einzelnen Kantonen, z.B. Graubünden (NOLD 1994, TEUFEN 1996, WERDER 1994), Obwalden (OFA 1995a, 1995b), Freiburg (LOUP 1996, MEYER 1996) oder Wallis (BARONI 1992, MARRO und ROUILLER 1996, MEYER 1996), gibt es eine Vielzahl von Initiativen auf Bundesebene, die Grundlagen für die Erfassung von Gefahrenprozessen und die Ausweisung von Gefahrenzonen bieten. Als hervorragende Beispiele sind zu nennen:

- Projekt: Gefahrenkataster – Ereigniskataster (HEINIMANN 1996, KRUMMENACHER 1996)
 - Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene (BWW und BUWAL 1995, 1997)
 - Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten (BFF und EISLF 1984)
 - Empfehlungen – Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (BWW 1996)
 - Empfehlungen – Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (BUWAL, BWW und BRP 1997)
 - Richtlinie für den Hochwasserschutz des Kanton Uri (KANTON URI 1992)
- In Liechtenstein orientiert man sich stark an den Schweizer Entwicklungen, hat aber eine eigene Umsetzung gefunden (RICKLI und BANZER 1996).

3.2 Frankreich

In Frankreich wurde in den 1960er Jahren die Entwicklung des Wintertourismus in potenziell gefährdeten Hochgebirgsgebieten massiv vorangetrieben, so dass sich die Regierung verstärkt mit dem Problem der öffentlichen Sicherheit in den Bergregionen konfrontiert sah. Ein folgenschweres Lawinenunglück in Val d'Isère im Frühjahr 1970 war schließlich der Auslöser für Aktivitäten zur Vorbeugung und zum Schutz vor Naturgefahren, die zur Ausarbeitung einer Gefahrenzonenplanung für den französischen Alpenraum führten (ANTOINE 1991). In einem ersten Schritt wurde die *carte des risques naturels* oder *carte R 111-3* (nach dem Artikel R 111-3 des *code de l'urbanisme*) erstellt, die im Hinblick auf zukünftige Planungen rechtswirksam war. Parallel wurde begonnen, die *carte ZERMOS* (*zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol*) zur Erfassung von Hangbewegungen (ANTOINE 1978, FLAGEOLLET 1989, HUMBERT 1977a, 1977b) und die *carte de localisation probable des avalanches* (CPLA) als Grundlage der Planung im Hinblick auf Lawinengefahr zu erarbeiten (PIETRI 1993). Ab Mitte der 1980er Jahre wurde ein neues Konzept zur Gefahrenzonenplanung eingeführt. Die neuen *plans d'exposition aux risques*

prévisibles (PER) hatten eine wesentlich weiter gefasste Rechtsgültigkeit als die *carte R 111-3* (ANTOINE 1991, BESSON 1985, NOVERRAZ 1990). Eine weitere Steigerung der rechtlichen Stellung bis hin zu strafrechtlicher Verfolgung bei Nichteinhaltung von Auflagen ist durch die seit 1995 gesetzlich verankerten *plans de prévention des risques* (PPR) gegeben, die jetzt in die Planungspraxis einfließen (CHOQUET 1995).

3.3 Österreich

In Österreich ergaben Bedarfsschätzungen in den 1960er Jahren, dass die Geldmittel für aktive Verbaumaßnahmen auf längere Sicht nicht ausreichten. Die Mur- und Lawinenereignisse 1965/66 zeigten die Notwendigkeit auf, neben aktiven auch verstärkt passive Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Seit Beginn der 1970er Jahre wurden als Vorläufer der gegenwärtigen Gefahrenzonenpläne Flächengutachten angefertigt, die einen geringeren Arbeitsaufwand als Einzelgutachten bedeuteten und diesen auch qualitativ überlegen waren (BMLF 1989). Mit dem Forstgesetz vom 3. Juli 1975 („Bundesgesetz, mit dem das Forstwesen geregelt wird“) wurde die gesetzliche Grundlage für die Gefahrenzonenplanung geschaffen, deren Ausführung in der Gefahrenzonenplanverordnung 1976 („Verordnung über Gefahrenzonenpläne vom 30. Juli 1976“) erläutert wird.

Dieses Konzept hat sich in Österreich bewährt; für einen Großteil der Gemeinden gibt es inzwischen genehmigte Gefahrenzonenpläne. In der jüngsten Vergangenheit haben sich in diesem seit 25 Jahren fast unveränderten Umgang mit Naturgefahren neue Entwicklungen ergeben. Zum einen scheint sich ein Verfahren der Voruntersuchung und Bewertung im regionalen Überblicksmaßstab, das der auf lokaler Ebene stattfindenden Gefahrenzonenplanung vorgeschaltet ist, durchzusetzen. Dieses sogenannte EGAR („Einzugsgebiete alpiner Räume“)-Verfahren dient dazu, durch die Verschneidung von Naturgefahren- und Nutzungspotenzial die Bereiche mit hohem Risiko herauszufinden und so eine Dringlichkeitsreihung für die detaillierte Maßnahmenplanung zu bekommen. Zum anderen hat der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung seit 2001 damit begonnen, zentrale Teile der Erstellung von Gefahrenzonenplanungen von Zivilingenieuren privatwirtschaftlich bearbeiten zu lassen.

3.4 Deutschland (Bayern)

Im Zuge zunehmender Diskussionen zu den Protokollen der Alpenkonvention wurden in Bayern die Möglichkeiten ausgelotet, eine eigene Gefahrenzonenplanung durchzuführen (BELITZ ET AL. 1997). Dabei wurde die Notwendigkeit eines Instruments aufgezeigt, das einen nachvollziehbaren, vergleichbaren und reproduzierbaren Umgang mit Naturgefahrenprozessen und ihren Auswirkungen ermöglicht. Aufgrund der Rechtsposition der Gemein-

den in Deutschland wurde aber von der Einführung einer Gefahrenzonenplanung abgesehen. Als jüngste Entwicklung hat man begonnen, den auch in Österreich praktizierten Regionalisierungsansatz EGAR umzusetzen, um dadurch den Fachbehörden (v.a. Dienststellen der Wasserwirtschaft) einheitliche Grundlagen zur Gefahrenbeurteilung im Überblick an die Hand zu geben.

3.5 Italien (Autonome Provinz Bozen Südtirol)

Der Umgang mit alpinen Naturgefahren ist in Italien in den einzelnen Regionen und Provinzen sehr unterschiedlich geregelt (BELITZ ET AL. 1997). Gerade in der Autonomen Provinz Bozen Südtirol sind die Ergebnisse der jüngsten Entwicklung zeitgemäß, da sie in Richtung einer Einführung von Risikozonenplänen gehen. Damit soll – erstmals im Alpenraum – offiziell und in vergleichbaren Plänen das Risiko berücksichtigt werden, und nicht nur, wie traditionell üblich, die Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität des Gefahrenprozesses.

3.6 Vergleichende Zusammenfassung

In den genannten Beispielen ist die Zielsetzung jeder verbindlichen Zonenplanung:

- die Identifikation gefährlicher Prozesse und gefährdeter Bereiche,
- die Verhinderung des Entstehens von Bauten bzw. der Ausweisung von Bauland in erheblich gefährdeten Gebieten und
- die zweckmäßige, für den jeweiligen Prozess wirkungsmindernde Gestaltung von Siedlungs- und Verkehrsbauten in den Bereichen geringerer Gefährdung.

Der Umgang mit Naturgefahren in der Planung stellt aber nicht nur ein nationales Problem dar, sondern besitzt überregionale Bedeutung. Die zugrunde liegenden geomorphologischen Prozesse kennen keine nationalen Ausprägungen, die Folgen sind in allen Staaten vergleichbar. Diese Erkenntnis spiegelt sich in den Bestrebungen der Alpenkonvention wider, die für den gesamten Alpenraum die Wichtigkeit einer sachgerechten, nachhaltigen Umwelt- und Raumplanung betonen und fordern.

So beinhaltet das Leitbild der CIPRA (Internationale Alpenschutz-Kommission) im Rahmen der Alpenkonvention wiederholt in verschiedenen Protokollen die Forderung „... in allen Alpengemeinden sind Gefahrenzonenpläne als Grundlage der örtlichen Raumplanung aufzustellen“ (DANZ 1990). Diese wurde 1992 wie folgt erweitert: „Für den gesamten Alpenraum sind Gefahrenzonenpläne auszuarbeiten, in denen diejenigen Gebiete rechtsverbindlich darzustellen sind, die durch Hochwasser, Muren, Steinschlag, Hangrutschungen und Lawinen bedroht sind. In diesen Gefahrenzonen sind neue technische Erschließungen und Bebauungen aus Sicherheitsgründen

generell zu vermeiden ...“ (DANZ und ORTNER 1993). Die endgültige deutschsprachige Fassung des zugehörigen Protokolls Raumplanung wurde am 21.10.1992 in Innsbruck verabschiedet. Demnach sollen Raumordnungspläne u.a. zum „Schutz von Natur und Landschaft“ die „Ausweisung von Zonen, in denen aufgrund von Naturgefahren Bauten und Anlagen soweit wie möglich ausgeschlossen sind,“ enthalten (DANZ und ORTNER 1993).

Die Vereinten Nationen haben für die zur *International Decade for Natural Disaster Reduction* (IDNDR) erklärten 1990er Jahre eine „landesweite Abschätzung der Gefährdung durch die verschiedenen Arten natürlicher Extremereignisse ...“ als allgemeines Ziel formuliert. Die Erstellung von Gefahrenzonenplänen stellte bei der geplanten Erreichung dieses Zieles bis zum Jahr 2000 eine der Stufen der notwendigen Detailprogramme dar (PLATE ET AL. 1993) – eine idealisierte Zielvorgabe, die aber nicht realisiert werden konnte.

Diese Vereinbarungen zwischen den Vertragsparteien in der Alpenkonvention sowie das globale Ziel des Schutzes vor Naturgefahren sind als Hintergrundaspekt im Rahmen der hier dargestellten Überlegungen zur Gefahrenzonenplanung zu sehen.

4 Schlußbemerkung

In Zeiten des globalen Wandels, in denen der wirtschaftliche Erschließungsdruck und die Szenarien für die alpinen Naturgefahrenprozesse eine eher ungünstige Zukunft aufzeigen, sind neue Umgangsweisen gefordert, die den alpinen Lebens- und Wirtschaftsraum nachhaltig schützen. In Zeiten staatlicher budgetärer Einschränkungen, in denen die verbleibenden Mittel kaum mehr zur Errichtung neuer Schutzfunktionen reichen werden, sind neue Wege des Umgangs mit Naturgefahren gefordert, die die Mittel volkswirtschaftlich effizient einsetzen. In Zeiten omnipräsenter Medien, die jedes Schadensereignis zur Katastrophe hochstilisieren, ist zudem die Kommunikation eines nachvollziehbaren, einheitlichen und vergleichbaren Umgangs mit Naturgefahren zu einer zentralen Aufgabe geworden.

Literatur

- ANTOINE, P. 1978: Glissements de terrains et aménagement de la montagne. In: Bulletin de la société vaudoise des sciences naturelles, 74 (353), S. 1–14.
- ANTOINE, P. 1991: Cartographie du risque mouvement de versant, l'expérience française. Unveröffentlichtes Manuskript.
- ARETIN, J. G.V. 1808: Über Bergfälle, und die Mittel denselben vorzubeugen, oder ihre Schädlichkeit zu vermindern: mit vorzüglicher Rücksicht auf Tirol. Innsbruck.

- AULITZKY, H. 1986: Über den Einfluß naturräumlicher Gegebenheiten auf Erosion und Wildbach­tätigkeit in Österreich. In: Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft 79, S. 45–62.
- AULITZKY, H. 1992: Die Sprache der stummen Zeugen. In: *Interpraevent* 1992, S. 139–173.
- AULITZKY, H. 1998: Die Wildbach- und Lawinerverbauung Österreichs – Vorstellungen, Wünsche und Visionen an der Schwelle zum nächsten Jahrtausend. In: *Lawinen- und Wildbachverbau*, 62 (137), S. 7–24.
- BADER, S. und P. KUNZ 1998: Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz. Zürich (= Wissenschaftlicher Schlussbericht, NFP 31).
- BARONI, D. 1992: *Aperçu sur les politiques cantonales de prévention et de lutte contre les catastrophes naturelles de quelques cantons alpins (Grison, Tessin, Uri, Valais, Vaud)*. Bern.
- BÄTZING, W. 1993: Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraumes im 20. Jahrhundert. Eine Analyse von „Entwicklungstypen“ auf Gemeinde-Ebene im Kontext der europäischen Tertiärisierung. Bern (= *Geographica Bernensia*, P 26).
- BAUMANN, R., H. BURI 1994: Erfahrungen mit den Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr. In: *Informationshefte Raumplanung* 1, S. 29–30.
- BELITZ, K., U. FRISCH, M. MAUKISCH, J. STÖTTER u. O. BAUME 1997: Entwicklung eines Konzepts für einen Gefahrenzonenplan für Gemeinden des bayerischen Alpenraums – Recherche zu Konzepten im österreichischen, schweizerischen, französischen, italienischen und bayerischen Alpenraum und Konzeptvorschlag. – Studie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- BENECH, B., BRUNET, H., JACQ, V., PAYEN, M., RIVAIN, J.C., SANTURETTE, P. 1993: La catastrophe de Vaison-la-Romaine et les violents précipitations de septembre 1992: aspects météorologiques. In: *La Météorologie*, 8^e série 1, S. 72–90.
- BERGTHALER, J. 1975: Grundsätze bei der Erarbeitung von Gefahrenzonenplänen in Wildbächen der Nördlichen Kalkalpen und der Grauwackenzone. In: *Österreichische Wasserwirtschaft* 27, S. 160–168.
- BESSON, L. 1985: Les risques naturels. In: *Révue de Géographie Alpine* 73, S. 321–333.
- BLANCHET, G. 1995: L'épisode pluvieux du début novembre 1994 dans les Alpes françaises. In: *Nimbus* 6-7 (Speciale Alluvione 1994), S. 22–24.
- BUNDESAMT FÜR FORSTWESEN (BFF) und EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG (EISLF) 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Davos, Bern.
- BUNZA, G. 1992: Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde. München (= *Forschungsberichte des Deutschen Alpenvereins*, 5).
- BUWAL (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT), BWB (BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT), BRP (BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG) 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen. Bern.
- BWW (BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT) 1995: Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene. Bern.
- BWW (BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT) 1996: Berücksichtigung der Hochwassergefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen. Bern.
- BMLF (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT) 1989: Richtlinien für die Gefahrenzonenabgrenzung. Wien: Unveröff. Manuskript.
- CARREGA, P. 1995: La crue exceptionnelle du Var, le 5.11.1994, précipitations et situation météorologique. In: *Nimbus* 6–7 (Speciale Alluvione 1994), S. 68–73.
- CHOQUET, R. 1995: Recherche d'une Méthodologie adaptée à l'Elaboration de Carte Multirisques. – Unveröff. Diplomarbeit, CEMAGREF, Division Nivologie, Grenoble.
- DANZ, W. und ORTNER, S. 1993: Die Alpenkonvention - eine Zwischenbilanz. Ergebnisse

- der Jahressfachkonferenz 01.–03.10.199 in Schwangau. Vaduz (= CIPRA-Schriften, 10).
- DANZ, W. 1990: Vorstellung des CIPRA-Leitbildes für eine Alpenkonvention. – Nationalparke: Ihre Funktionen in vernetzten Systemen – Anspruch und Wirklichkeit. Vaduz (= CIPRA Schriften, 7).
- DUILE, J. 1826: Über die Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern, vorzüglich in der Provinz Tirol. Innsbruck.
- EISBACHER, G.H. und CLAGUE, J. J. 1984: Destructive Mass Movements in High Mountains. Hazard and Management. In: Geological Survey of Canada, Paper 84–16. Ottawa.
- FLAGEOLLET, J. C. 1989: Landslides in France: A risk reduced by recent legal provisions. In: E.E. BRABB (ed.): Landslides: Extent and Economic Significance. Rotterdam, S. 157–167.
- FLIRI, F. 1984: Freiheit und Grenzen der alpenländischen Gesellschaft im Lichte von Interpraevent. In: Interpraevent 1984, 3, S. 43–54.
- FRUTIGER, H. 1980: Schweizerische Lawinengefahrenkarten. In: Interpraevent 1980, 3, S. 135–143.
- GABL, K. 2000: Der Schnee im Februar 1999 im Westen Österreichs aus meteorologischer und klimatologischer Sicht. In: Wildbach und Lawinerverbau 64 (141), S. 69–79.
- HADER, F. 1969: Durchschnittliche extreme Tagesniederschlagshöhen in Österreich (1901–1950). Wien (= Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 5).
- HAEBERLI, W., KÄÄB, A., HOELZLE, M., BÖSCH, H., FUNK, M., VON DER MÜHLI, D., KELLER, F. 1998: Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Zürich (= Schlussbericht NFP 31).
- HEINIMANN, H.-R. 1996: Gefahrenkataster – Ereigniskataster. Kursunterlagen FAN-Herbstkurs, Lenk.
- HOUGHTON, J., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J., XIAOSU, D. (eds.) 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge.
- HUMBERT, M. 1977a: La cartographie en France des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol – Cartes ZERMOS. In: Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur 16, S. 80–82.
- HUMBERT, M. 1977b: La cartographie ZERMOS. Modalités d'établissement des cartes des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. In: Bulletin du B.R.G.M. (deuxième série) Section 3, 1/2, S. 5–8.
- HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO 1955: Das Juli-Hochwasser 1954. Wien (= Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 29).
- KANTON URI 1992: Richtlinie für den Hochwasserschutz. – Altdorf.
- KERSCHNER, H. 1999: Muren als geomorphologische Phänomene. In: Relief, Boden, Paläoklima 14, S. 77–95.
- KIENHOLZ, H., ZEILSTRA, P., HOLLENSTEIN, K. 1998: Begriffsdefinitionen zu den Themen Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko. Bern: BUWAL.
- KÖLLA, E. 1986: Zur Abschätzung von Hochwässern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete. Zürich (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasser, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 87).
- KRUMMENACHER, B. 1996: Erhebung Schadenpotential. Kursunterlagen FAN-Herbstkurs, Lenk.
- LAUSCHER, F. 1967: Extreme Stundenwerte des Niederschlages in den Ostalpenländern in meteorologischer und technischer Betrachtung. In: 9. Internationale Tagung für alpine Meteorologie Brig, Zermatt 1966, S. 106–108 (= Veröff. Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, 4).

- LEHMANN, Ch. 1993: Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen. Grundlagen und Anleitung. Bern (= Geographica Bernensia G 24).
- LOUP, F. 1996: Instabilités de terrain: reconnaissance et modes de représentation d'un phénomène naturel. GEOLEX II. Course de troisième cycle romand en science de la terre. Fribourg.
- LUZIAN, R. (Hrsg.) 2000: Wildbäche und Muren. Eine Wildbachkunde mit einer Übersicht von Schutzmaßnahmen der Ära Aulitzky. Wien: Bundesamt und Forschungszentrum für Wald.
- MAISCH, M., WIPF, A., DENNELER, B., BATTAGLIA, J., BENZ, C. 1998: Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gletscher und deren Vorfelder. Schlussbericht NFP 31. Zürich.
- MARRO, C. & ROULIER, J.D. 1996: Elaboration d'une carte de danger „Matterock“. GEOLEX II. Course de troisième cycle romand en science de la terre. Fribourg.
- MAYER, H. 1983, 1984: Waldverwüstende Wildschäden in Tirol. Band I (1983), Band II (1984). Wien: Institut für Waldbau an der Universität für Bodenkultur.
- MEYER, C. 1996: Dangers naturels et instruments de l'aménagement du territoire. GEOLEX II. Course de troisième cycle romand en science de la terre. Fribourg.
- NOLD, H. P. 1994: Ausscheidung von Gefahrenzonen und Gefahrenkommissionen im Kanton Graubünden. In: Informationshefte Raumplanung I, S. 31–34.
- NOVERRAZ, F. 1990: Les techniques de cartographie de risque – Université européenne d'été sur les risques naturels – Session 1990: Mouvements de Terrain. Sion, 2.–15.9.1990.
- OFA (OBERFORTSTAMT OBWALDEN) 1995a: Bestehende und künftige Strukturen zur Umsetzung der Naturgefahrenaspekte in der Raumplanung am Beispiel des Kantons Obwalden. Sarnen.
- OFA (OBERFORTSTAMT OBWALDEN) 1995b: Naturgefahren: Konzept über die Erstellung und Nachführung von Gefahrengrundlagen im Kanton Obwalden. Sarnen.
- ÖWW 40 1988: Österreichische Wasserwirtschaft Bd. 40, Heft 5/6.
- PETRASCHECK, A. 1996: Klimaänderungen und Naturkatastrophen. In: Nationales Forschungsprojekt 31 info 8, S. 2–4.
- PIETRI, C. 1993: Rénovation de la carte de localisation probable des avalanches. In: *Révue de Géographie Alpine* 81, S. 85–98.
- PITRACHIER, M. 1986: Hochwasserkatastrophe Axams nicht durch Schipisten. In: *Allgemeine Forstzeitung* 97, S. 28–29.
- PLATE, E. et al. (Hrsg.) 1993: Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung. Bericht des Wissenschaftlichen Beirats der DFG für das Deutsche Komitee für die „International Decade für Natural Disaster Reduction“ (IDNDR). Weinheim.
- RICKLI, Ch. und E. BANZER, E. 1996: Gefahrenkartierung im Fürstentum Liechtenstein. In: *Interpraevent* 1996. Garmisch-Partenkirchen 3, S. 183–192.
- SCHIECHTL, M. 1958: Grundlagen der Grünverbauung. Wien (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 55).
- SCHWARZL, S. 1992: Meteorologische Ursachen extremer Niederschläge und Abflüsse im Alpenbereich. *Interpraevent* 1992. Bern 1, S. 83–101.
- SENESE, S., BOUGEAULT, P., CHEZE, J.L., COSENTINO, P., THEPENIER, R.M. 1995: The Vaison-la-Romaine flash flood. Mesoscale Analysis and predictability issues. Toulouse (= *Meteor-France: Note de travail du groupe de météorologie de moyenne échelle*, 35).
- SLF (Eidgenössisches Institut für Lawinenforschung, Davos) 2000: Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse.
- STAUDER, S. 1963: Das Projekt „Wildbach- und Lawinenverbauung Vorderes Zillertal“ und seine wirtschaftliche Bedeutung. In: *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn* 60, S. 721–742.
- STAUDER, S. 1974: Die Beeinflussung des Wasserhaushaltes im Walde durch Schiabfahrten. In: *Allgemeine Forstzeitung* 85 (7), S. 171–172.

- STEINACKER, R. 1983: Diagnose und Prognose der Schneefallgrenze. In: *Wetter und Leben* 35, S. 81–90.
- STEINACKER, R. 1988: Die alpinen Hochwasserereignisse des Sommers 1987 und ihre meteorologischen Rahmenbedingungen. In: *Österreichische Wasserwirtschaft* 40, S. 129–134.
- STINY, J. 1910: Die Muren. Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen. Innsbruck.
- STINY, J. 1931: Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde. Wien.
- TAKAHASHI, T. 1991: Debris flows. Rotterdam. (IAHR - AIRH monograph series).
- TEUFEN, B. 1996: Kurzanleitung Gefahrenkataster. – unveröffentlichtes Manuskript. Davos.
- ÜBLAGGER, G. 1986: Wildbäche und Muren. In: *Raumordnung und Naturgefahren*. Wien, S. 19–24 (= ÖROK Schriftenreihe 50).
- ÜBLAGGER, G. 1988: Wildbachkunde in neuer Sicht. In: *Österreichische Wasserwirtschaft*, 40, S. 118–122.
- VAW 1992: Murgänge 1987 (Projektleitung W. HAEBERLI). Dokumentation und Analyse, Teil 1. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Bericht 97.6.
- WAKONIGG, H. 1978: *Witterung und Klima in der Steiermark*. Graz.
- WANNER, H., GYALISTRAS, D., LUTERBACHER, J., RICKLI, R., SALVISBERG, E., SCHMUTZ, C. 2000: Klimawandel im Schweizer Alpenraum. Schlußbericht NFP 31, Zürich.
- WEINMEISTER, H.W. 1997: Auf den Spuren Falkenhayns und Seckendorffs. In: *Österreichische Forstzeitung* 108, S. 10–27.
- WERDER, S. 1994: Umsetzung der Gefahrenkarten in die Raumplanung in Graubünden – Planerische Aspekte. Kursunterlagen FAN-Kurs 1994. Poschiavo.
- ZIMMERMANN, M. 1990: Debris flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects. In: *Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990, IAHS Publ.*, 194, S. 387–393.
- ZUIDEMA, P. 1985: *Hydraulik der Abflußbildung während Starkniederschlägen. Eine Untersuchung mit Hilfe numerischer Modelle unter Verwendung plausibler Bodenkennwerte*. Zürich. (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasser, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 79)