Richard Dikau, Thomas Glade

Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen

Massenbewegungen sind bruchlose und bruchhafte hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fels- und/oder Lockergesteinen unter Wirkung der Schwerkraft. Sie bilden in bestimmten Regionen der Erde eine beträchtliche Naturgefahr und können damit entscheidend zum Naturrisiko beitragen. Im Rahmen der Internationalen Dekade für die Reduzierung von Naturkatastrophen ist deutlich geworden, dass Gefahr und Risiko durch solche gravitative Massenbewegungen weltweit unterschätzt werden. Es ist deshalb geboten, diese Problematik systematisch zu untersuchen, an Fallbeispielen zu erläutern und zukünftige Perspektiven aufzuzeigen.

Massenbewegungen stellen ein weltweit verbreitetes Phänomen dar, das in den letzten Jahrzehnten beträchtliche Schäden verursacht hat (Münchner Rückversicherung 2000). In das Licht der Öffentlichkeit sind mehrere Katastrophen getreten:

- Die Vajont-Felsgleitung 1963 in den italienischen Alpen, bei der 250 Mio. m^3 Festgestein mit hoher Geschwindigkeit in den Vajontstausee abglitten. Die entstandene Flutwelle überspülte den Staudamm um 100 m, zerstörte die Ortschaft Longarone und forderte fast 2 000 Todesopfer.
- Die Huascarán-Felslawine in den Anden Perus, die 1970 zur Zerstörung von zwei Städten führte und über 20 000 Menschenleben forderte.
- Die Maiunmarca-Felsgleitung, die 1974 in den peruanischen Anden über 450 Menschen tötete und
- die Murgänge in Venezuela im Dezember 1999, die die Zerstörungen mehrerer Küstenstädte mit ca. 30 000 Todesopfern zur Folge hatten.

Die letzten großen Massenbewegungen mit hohen Schäden waren die Hochwässer, Muren und Hangrutschungen in den Schweizer und italienischen Alpen im Oktober 2000 mit insgesamt 38 Todesopfern. Besonders betroffen war das Dorf Gondo in der Schweiz. Auch die durch extreme Starkniederschläge ausgelösten Massenbewegungen in El Salvador im Frühjahr 2001 hatten zahlreiche Todesopfer und hohe Sachschäden zur Folge.

Es gilt als unbestritten, dass Massenbewegungen als Einzelphänomen oder in Kombination mit Vulkanausbrüchen, Erdbeben oder Hochwässern weltweit zu den wichtigsten Naturgefahren zu zählen sind. Sie sind ein natürlicher Bestandteil zahlreicher Geosysteme, vornehmlich der Mittel- und Hochgebirgsregionen der Erde (*Messerli* und *Ives* 1997).

Massenbewegungen im Rahmen der IDNDR

Die Vereinten Nationen erklärten 1991–2000 zur Internationale Dekade für die Reduzierung von Naturkatastrophen (IDNDR). Sie hatte das Ziel der

- landesweiten Abschätzung der Gefährdung durch verschiedene Arten natürlicher Extremereignisse,
- Entwicklung landesweiter und lokaler Pläne zur Katastrophenvorbeugung und zum Katastrophenschutz sowie
- Entwicklung globaler, regionaler, nationaler und lokaler Warnsysteme.

Das deutsche IDNDR-Komitee hat die Thematik der Massenbewegungen in der Bestandsaufnahme „Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung" von *Mattheß* und *Rump-Schenk* (1993) aufgegriffen. Dieser Bericht wurde im Lichte neuerer Untersuchungen und Publikationen mit dem Schwerpunkt der Gefahren- und Risikobewertung und des Risikomanagements durch *Dikau* et al. (2001) erweitert, woran sich der vorliegende Artikel orientiert.

Die Aufnahme von Massenbewegungen in den Katalog der in der IDNDR zu untersuchenden Katastrophentypen erfolgte vor dem Hintergrund, dass trotz eines beträchtlichen Umfangs lokaler Einzeluntersuchungen und trotz hoher finanzieller Kosten zur Sicherung instabiler Hänge ein globales Massenbewegungskataster noch nicht vorliegt und, wie *Jones* (1995) betont, dass das Problem der Naturgefahr durch Massenbewegungen und der damit verbundenen Risiken weltweit unterschätzt wird. Eines der generellen Ziele der IDNDR bestand daher darin, die Erscheinungsformen von Massenbewegungen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen: Erkennung von Massenbewegungen und ihrer Ursachen, räumliche Verteilung und zeitliche Häufigkeit, Verdeutlichung der natürlichen und menschlichen Beeinflussungen von Hängen, Entwicklung von Methoden zur schnellen Gefahrenidentifikation und -analyse und von Strategien des Risikomanagements.

Quelle: eigene Zeichnung

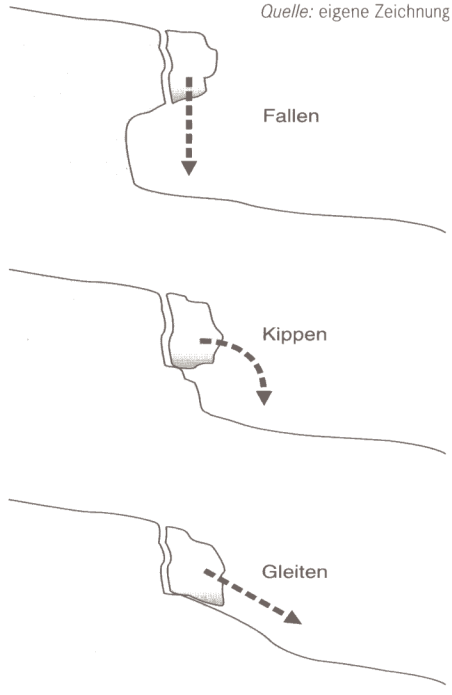


Abb. 1: Schematische Abbildung zu den Massenbewegungstypen der Prozessbereiche Fallen (a), Kippen (b) und Gleiten (c)

Untersuchungsmethoden

Bei Bewegungsbeobachtungen von einzelnen Hangrutschungen wird in direkte und indirekte Methoden unterschieden. Die wiederkehrende Vermessung markanter Geländepunkte oder einzelner Oberflächenmarkierungen erfolgt mit tachy-

metrischen Vermessungen, dem GPS, speziellen Radarsatelliten (SAR Interferometrie) und mit Luftbildern. Geotechnische Verfahren der Bewegungsmessung sind neben Fissurometer, Extensiometer und Gleitmikrometer, die die Entfernung zweier Punkte und ihrer möglichen Änderung erfassen, auch Neigungsgeber und Inklinometer, die die Neigung und ihre Veränderung an definierten Punkten messen (*Kuntsche* 2000).

Demgegenüber stehen indirekte Beobachtungen durch z. B. die Dendrogeomorphologie. Hierbei werden Veränderungen von Wachstumsringen der Vegetation mit der Bewegung des oberflächennahen Untergrundes korreliert um qualitative Aussagen über das oberflächliche Bewegungsmuster erstellen zu können. Historische Quelle wie alte Stiche, frühere Karten und Bilder ergänzen die Möglichkeiten der Bewegungsrekonstruktion.

Ein besonderes Problem der Naturgefahrenanalyse liegt in der großen Anzahl von Massenbewegungstypen, die auf unterschiedlichen Prozessen beruhen und folglich differenzierte Konzeptionen der Risikobewertung und des Risikomanagements erfordern (vgl. *Tab. 1*). Voraussetzung der Naturgefahrenanalyse ist, dass der Massenbewegungstyp im Gelände erkannt wird, was oftmals mit erheblichen Problemen verbunden ist, da die bewegte Masse durch andere Prozesse überformt worden ist, mit Sediment überdeckt wurde oder nicht eindeutig einem Standardtyp zugeordnet werden kann (*Dikau* und *Schmidt* 2001). Standardisierungen zur Klassifikation, der äußeren Erscheinung, der geotechnischen Eigenschaften, des Aktivitätszustandes oder des Alters sind daher im Rahmen der Entwicklung geeigneter Konsequenzen auf die einzuleitenden Vorsorgemaßnahmen unerlässlich. Weiterhin wird die Herausgabe geeigneter Handbücher erforderlich, die auch weniger Kundigen Unterstützung gewähren (*Dikau* et al. 1996a; *Turner* und *Schuster* 1996).

Tab. 1: Auswahl vorbereitender, auslösender und kontrollierender Faktoren bei Massenbewegungen

Ursache	Vorbereitende Faktoren (Disposition)	auslösende Faktoren (Trigger)	bewegungskontrollierende Faktoren
Geologie	Diskontinuität[1] (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität[1] (z. B. streichen/fallen, tektonische Störungen) Verwitterung Isostasie	Erdbeben Vulkanausbrüche	Gesteinstypen Diskontinuität[1] (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität[1] (z.B. streichen/fallen, tektonische Störungen)
Klima	lang anhaltender Vorregen Schneeschmelze Frost-Tau Zyklen	Niederschlag[1] (Intensität, Menge) schnelle Schneeschmelze	Niederschlag (Intensität, Menge)
Boden	Verwitterung geotechnische Materialeigenschaften Bodenart und -typ Schrumpf-Schwell Zyklen subterrane Erosion (z. B. Tunnelerosion)	nicht zutreffend	Wassersättigung Mächtigkeit des Bodens
Vegetation	natürliche Vegetationsänderung[1] (z. B. Waldbrand, Trockenheit)	nicht zutreffend	Vegetation
Hydrologie	schmelzender Permafrost	schnelle Schwankungen des Grundwasserspiegels, Porenwasserdrucks	Gerinnerauhigkeit Weitertransport bewegter Massen
Topographie	Hangexposition[1] Hanghöhe[1]	nicht zutreffend	Hangneigung[1] Hangwölbung[1] Tiefenlinien[1]
anthropogen	Entwaldung Staudammbau Enfernung des Hangfußes Belastung des Oberhangs Bewässerung Bergbau künstliche Bewegung (z. B. Sprengung) undichte Wasserversorgung	Hanganschnitte[1] Hangunterschneidung[1] Auflast[1]	künstliche Verbauungen Dämme Gerinnebegradigung, -verkleinerung, -vergrößerung

[1] diese Faktoren können, je nach Stabilitätszustand des Hanges, sowohl vorbereitend, auslösend als auch kontrollierend wirken *Quelle:* eigene Erhebung

Kasten 1

Internationale Terminologie

Massenbewegungen weisen eine äußerst große Spannbreite der zugrunde liegenden Prozesse und der auslösenden Vorgänge auf. Diese Spannbreite äußert sich in einer beträchtlichen Typenvielfalt, die entscheidende Bedeutung für das Risikomanagement hat (*Moser* 1997). Das durch Massenbewegungen hervorgerufene Risiko ist nicht nur eine Folge von Ereignissen hoher Magnitude, sondern wird darüber hinaus entscheidend durch Hangbewegungen verursacht, die mit geringerer Magnitude, jedoch höherer Frequenz auftreten oder die einen kontinuierlichen Charakter (z. B. einer Hangbewegung) aufweisen. Ein Exkurs in die Terminologie der Massenbewegungen erscheint deshalb notwendig.

Generell sind unter Massenbewegungen bruchlose und bruchhafte hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fels- und/oder Lockergesteinen unter Wirkung der Schwerkraft zu verstehen. Internationale Vereinheitlichungen der Terminologie des Massenbewegungsphänomens wurden bereits vor Beginn der IDNDR seit 1988 durch die UNESCO-Arbeitsgruppe der Internationalen Geotechnischen Gesellschaften zur Inventarisierung von Hangrutschungen koordiniert (*The International Geotechnical Societies'* UNESCO *Working Party on World Landslide Inventory*) und haben zu einer Standardisierung der Definition von Massenbewegungen und ihrer Eigenschaften geführt (WP/WLI *International Geotechnical Societies'* UNESCO *Working Party on World Landslide Inventory* 1993). Auf Basis dieser Standards sind von *Cruden* und *Varnes* (1996) und *Dikau* et al. (1996a) Klassifikationen von Massenbewegungen auf Basis von Prozess- und Materialtyp vorgelegt worden. Die folgende Terminologie greift auf diese Arbeiten zurück. Es können folgende Massenbewegungstypen unterschieden werden (vgl. *Abb. 1*):

Fallen liegt vor, wenn Fels- oder Lockergestein größtenteils frei fallend, springend oder rollend abstürzt. Die Ablösung des Materials erfolgt entlang von Flächen, an der geringe oder keine Scherbewegungen stattfinden.

Kippen bezeichnet eine Vorwärtsrotation von Fest- oder Lockergestein eines Hanges um einen Punkt oder eine Achse unterhalb ihres Schwerpunkts.

Gleiten beschreibt einen Vorgang, bei dem Fest- oder Lockergestein eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf Gleitflächen oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung vollzieht.

Driften bezeichnet eine laterale Bewegung von Fest- oder Lockergesteinen mit einem Einsinken in die liegenden, weniger kompetenten Schichten ohne intensive Scherung auf Gleitflächen.

Fließen ist eine kontinuierliche, irreversible Deformation von Fest- oder Lockergesteinen, bei der die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse der einer viskosen Flüssigkeit gleicht.

Komplex: Eine komplexe Massenbewegung liegt dann vor, wenn die genannten Prozesse in Kombination auftreten, wobei sich der initiale Typ während der Hangabwärtsbewegung verändert.

Naturgefahren und Naturrisiken durch Massenbewegungen

Der Kern der Gefahrenidentifikation und -analyse besteht in der Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des zukünftigen Auftretens einer Massenbewegung in Raum und Zeit. Die Grundlage bildet das Inventar in Form einer Karte (Hangrutschungsverteilungskarte oder -höffigkeitskarte) oder einer Datenbank. Die Karte enthält die räumliche Verteilung der Massenbewegung, die durch eine Geländekartierung ermittelt wurde. Durch die Identifikation und Analyse der Massenbewegung in Abhängigkeit von Prozesstyp, Volumen, Bewegungsablauf und -muster, Dynamik der bewegten Massen etc. können Gefahrenklassen abgeleitet werden, die als Instrument für die Gefahrenzonenplanung eingesetzt werden können, wie es z. B. heute in der Schweiz angewandt wird. Nach *Leroi* (1996) und *Moser* (1997) sind somit die Fragen des „wie?", „wo?" und „wann?" eines Ereignisses zu klären.

Gefahrenidentifikation und -analyse kann räumliche (regionale) Ansätze, die Untersuchung von Einzelobjekten und die zeitlichen Charakteristika des Auftretens von Massenbewegungen beinhalten. Wie die unten beschriebenen Fallbeispiele zeigen, werden unterschiedlichste Methoden eingesetzt, die von der Erkennung und Inventarisierung des Phänomens über die Entwicklung von Gefährdungskarten bis hin zu geotechnischen Erkundungen und der Datierung älterer Ereignisse reichen.

Die regionale Naturgefahrenanalyse wird heute kontrovers diskutiert. Dabei geht es v. a. um die Frage, inwieweit räumlich vorliegende Daten (z. B. einer geowissenschaftlichen Karte) genügend Informationen enthalten, um einerseits der komplexen Natur des Phänomens der Massenbewegung und andererseits pragmatischen Erfordernissen der Katastrophenvorsorge gerecht zu werden. Wie eine räumliche Gefahrenidentifikation und -analyse in integrativen Konzeptionen durchgeführt werden kann wird z. B. von *Leroi* (1996) beschrieben.

Die Gefahrenidentifikation und -analyse individueller Massenbewegungen ist, wie *Moser* (1997) betont, ein unverzichtbares Instrument der Entwicklung von Gefahrenzonenplänen. Dadurch werden Grundlagen sowohl für aktive technische wie auch passive vorbeugende Schutzmaßnahmen geschaffen. Weiterhin ist durch die Analyse beabsichtigt, Prognosen für die mögliche Entwicklung der Phänomene zu erarbeiten. In mehreren Studien stellt *Moser* (1997) dieses Vorgehen am Beispiel von Rutschungen, Talzuschüben, Felsgleitungen und Felsstürzen vor. Von entscheidender Bedeutung bei diesen Analysemodellen ist die Kenntnis zahlreicher Parameter der Massenbewegung, die oftmals nur über anspruchsvolle Mess- und Überwachungsinstrumente (*Kuntsche* 1996) ermittelt werden können.

In einer umfangreichen Untersuchung im Rahmen des Entwicklungsvorhabens „Integrales Wildbachschutzkonzept" des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (*Bunza* et al. 1996) wurden in Testgebieten der Bayerischen Alpen Gefährdungskarten zur Hangdynamik und Abtragsbereitschaft auf Basis der Geomorphometrie, Geomorphologie, Geologie, Hydrogeologie, der oberflächennahen Substrate und der Vegetation entwickelt. *Meißl* (1998 und 2001) entwickelte ein Simulationsmodell zur Berechnung der mögliche Reichweite von Felsstürzen, die zur Abgrenzung der durch Sturzprozesse gefährdeten Räume dient. Als Ergebnis werden Karten im regionalen Maßstab (1 : 25 000 bis 1 : 50 000) erzeugt, in denen die durch Sturzprozesse gefährdeten Räume abgegrenzt sind. Damit kann die Reichweite von Felsstürzen mit zufrieden stellender, dem Darstellungsmaßstab angepasster Genauigkeit berechnet werden. Die unterschiedliche Bewertung von Grundlagendaten durch verschiedene Fachdisziplinen und das Problem der Integration und Beteiligung der Kartennutzer (Planer, politisch-administrative Ebene) an der Erstellung von Gefahrenkarten wird in mehreren Studien deutlich (vgl. die Fallbeispiele in *Dikau* et al. 2001).

Die Analyse des zeitlichen Auftretens von Massenbewegungen ist für die Bewertung von Naturgefahren und Risiken von höchster Relevanz. Sie ermöglicht Wahrscheinlichkeitsaussagen des zukünftigen Auftretens des Phänomens und ist damit für Betroffene und Entscheidungsträger eine Voraussetzung der Risikoanalyse (*Leroi* 1996). Neben der Analyse individueller Massenbewegungen und ihrer Prognose beinhaltet die Frequenzanalyse Informationen historischer Ereignisse und dient damit der Entwicklung von Zeitreihen, die nicht direkt vor Ort beobachtet werden

können (*Glade* et al. 2001). Das Ergebnis besteht in Wiederkehrintervallen bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Typen von Massenbewegungen. Entsprechend der untersuchten „Zeitscheiben" müssen unterschiedliche Methoden angewendet werden, die von Rekonstruktionen älterer Ereignisse (z. B. der letzten 10 000 Jahre) bis zu aktuellen, wenige Jahre umfassende „Zeitfenstern" reichen (*Matthews* et al. 1997; *Schrott* und *Pasuto* 1999).

Weiterhin ist die Erkennung älterer Ereignisse durch „stumme Zeugen", wie z. B. Anrissnischen und Ablagerungsmassen, eine fundamentale Voraussetzung für die Gefahren- und Risikoanalyse. Die Existenz älterer Anrissnischen und Ablagerungsmassen kann Empfehlungen für eine zukünftige Bebauung geben. Die Rekonstruktion historischer Ereignisse durch die Auswertung von Archiven ist für die Frequenzanalyse von hoher Wichtigkeit. Archive können Informationen aus mündlichen Überlieferungen, Luftbildern, Zeitungssammlungen, Schadensmeldungen (z. B. durch mittelalterliche Steuereintreiber), Niederschriften in kirchlichen oder privaten Chroniken oder datierten Gemälden und Postkarten umfassen. Da hier unterschiedliche Methoden der Datenerhebung vorliegen, muss besondere Sorgfalt in die Homogenisierung der Ereignisse durch standardisierte Aufnahmeprotokolle gelegt werden (*Glade* und *Crozier* 1996).

Die Rekonstruktion historischer Ereignisse ab dem 12. Jh. wird von *Steingötter* (1984), *Dikau* et al. (1996b) und *Jäger* (1997) eingesetzt. Die Nutzung des natürlichen Archives von Baumringen wurde von *Strunk* (1997) vorgestellt. *Strunk* (1997) konnte mithilfe der Analyse der Wuchsreaktion von Bäumen (Dendrogeomorphologie) Murgangs- und Felssturzereignisse rekonstruieren. Ergebnisse der Anwendung der absoluten Altersdatierung für die Frequenzanalyse von Massenbewegungen sowie geomorphologischer, bodenkundlicher und sedimentologischer Methoden ihrer Rekonstruktion werden in mehreren Arbeiten bei *Dikau* und *Schmidt* (2001) beschrieben. Im internationalen Maßstab ist die von *Matthews* et al. (1997) herausgegebene Aufsatzsammlung für die Frage der klimatischen Auslöser von Massenbewegungen in den letzten 10 000 Jahren von herausragender Bedeutung.

Risikoanalyse, -bewertung und -management

Analyse, Bewertung und Management eines Naturrisikos zielen auf

- Verknüpfung der Naturgefahr mit den Risikoelementen und ihrer Vulnerabilität zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Konsequenzen der Naturgefahr (Risikoanalyse) und
- Ermittlung der unter den gegebenen Umständen besten Entscheidung für die Lan-

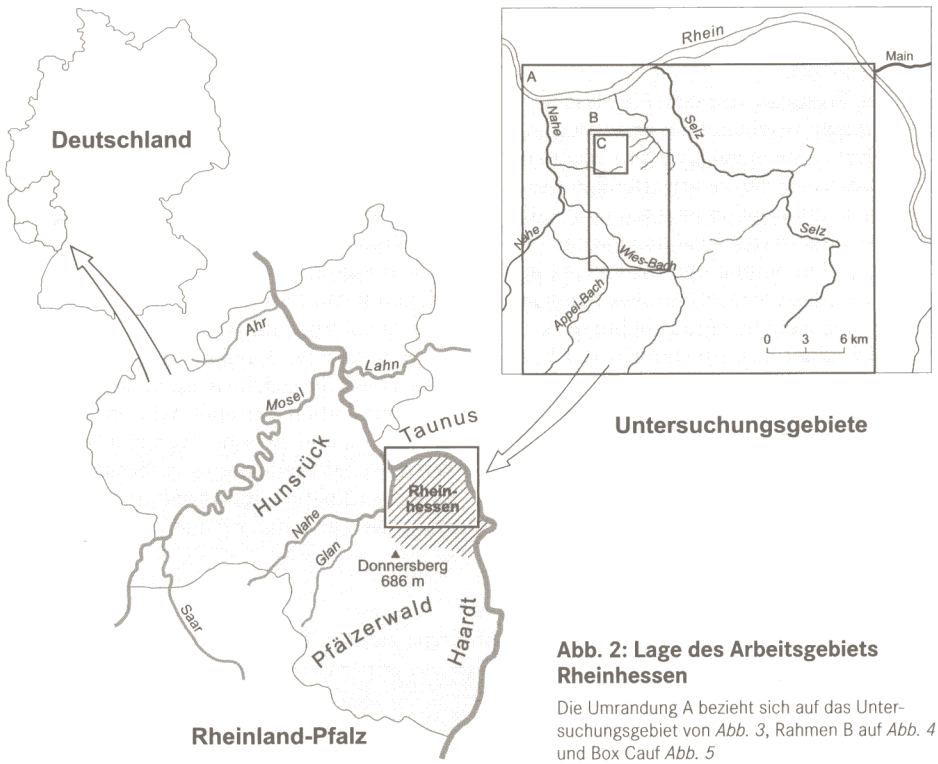


Abb. 2: Lage des Arbeitsgebiets Rheinhessen

Die Umrandung A bezieht sich auf das Untersuchungsgebiet von *Abb. 3*, Rahmen B auf *Abb. 4* und Box C auf *Abb. 5*

Kasten 2

Risikoeinschätzung

Auf Basis der Vorschläge von *Varnes* (1984) und der UNDRO (1991) schlägt die *IUGS Working Group on Landslides – Comittee on Risk Assessment* (1997) folgende Definitionen vor (vgl. auch *Alexander* 1993), denen hier gefolgt werden soll (in Klammern englische Terminologie):

Risiko (*risk*): Die Wahrscheinlichkeit und Heftigkeit einer nachteiligen Einwirkung auf die Gesundheit, das Eigentum und die Umwelt.

Gefahr (*hazard*): Ein Ereignis mit dem Potenzial, unerwünschte Konsequenzen zu verursachen. Gefahrenbeschreibungen durch Massenbewegungen beinhalten die Eigenschaften des Phänomens.

Risikoelemente (*elements at risk*): Bevölkerung, Gebäude, Bauwerke, ökonomische Aktivitäten, öffentliche Dienstleistungen und Infrastrukturen etc. im potenziell durch Massenbewegungen beeinflussten Gebiet.

Vulnerabilität (*vulnerability*): Die Empfindlichkeit der Risikoelemente gegenüber der Massenbewegung, häufig ausgedrückt als auftretende Höhe des Schadens im potenziell durch Massenbewegungen beeinflussten Gebiet.

Risikoanalyse (*risk analysis*): Die Nutzung verfügbarer Informationen zur Abschätzung des durch die Gefahr hervorgerufenen Risikos für die Bevölkerung, das Individuum, das Eigentum, die Umwelt etc. Sie besteht im Allgemeinen aus den Schritten der Rahmendefinition, der Gefahrenidentifizierung und der Risikoabschätzung.

Risikoabschätzung (*risk estimation*): Entwicklung von Kriterien zur Festlegung des Grades der untersuchten Gesundheits-, Eigentums- und Umweltrisiken. Sie besteht aus der integrativen Analyse der Häufigkeit und den Konsequenzen des Phänomens.

Risikobewertung (*risk evaluation*): Bewertung der Relevanz des abgeschätzten Risikos sowie der sozioökonomischen und umweltrelevanten Konsequenzen unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen und juristischen Werte und Bedingungen, um zu einer Identifizierung von Alternativen beim Risikomanagement zu gelangen.

Risikomanagement (*risk management*): Gesamter Prozess der Risikoanalyse und -kontrolle.

Akzeptiertes Risiko (*acceptable risk*): Ein Risiko, das eine Gesellschaft ohne spezifische Maßnahmen eines Risikomanagements akzeptiert.

Tolerierbares Risiko (*tolerable risk*): Ein Risiko, mit dem eine Gesellschaft im Vertrauen darauf leben kann, dass es kontrollierbar ist und bei Bedarf reduziert werden kann.

desentwicklung und die Risiko- oder Katastrophenvorsorge (Risikobewertung und -management).

Eine Frühwarnstrategie für Massenbewegungen beinhaltet die Bereitstellung von Informationen gefährdeter Objekte und Regionen sowie des zu erwartenden Risikos. Diese Information bilden die Grundlage eines integrierten Risikomanagements. Gefahr, Vulnerabilität und Risiko sind in höchstem Maße vom Massenbewegungstyp und dessen Aktivitätsgrad abhängig, sodass eine differenzierte Strategie der Vorsorge sowie der Schutz- und Rettungsmaßnahmen erforderlich ist.

Neben der Darstellung der ausgedehnten Verteilungen der Phänomene, einer Darstellung des Zeitpunkts und der Schäden der Ereignisse werden Verbauungsmaßnahmen (Ableitdämme, Gerinneverbauungen etc.) als Komponente des Risikomanagements vorgestellt. Besonders hervorzuheben ist weiterhin die Beschreibung von Frühwarnsystemen für Murgänge, die bereits in den 80er Jahren erfolgreich entwickelt worden sind.

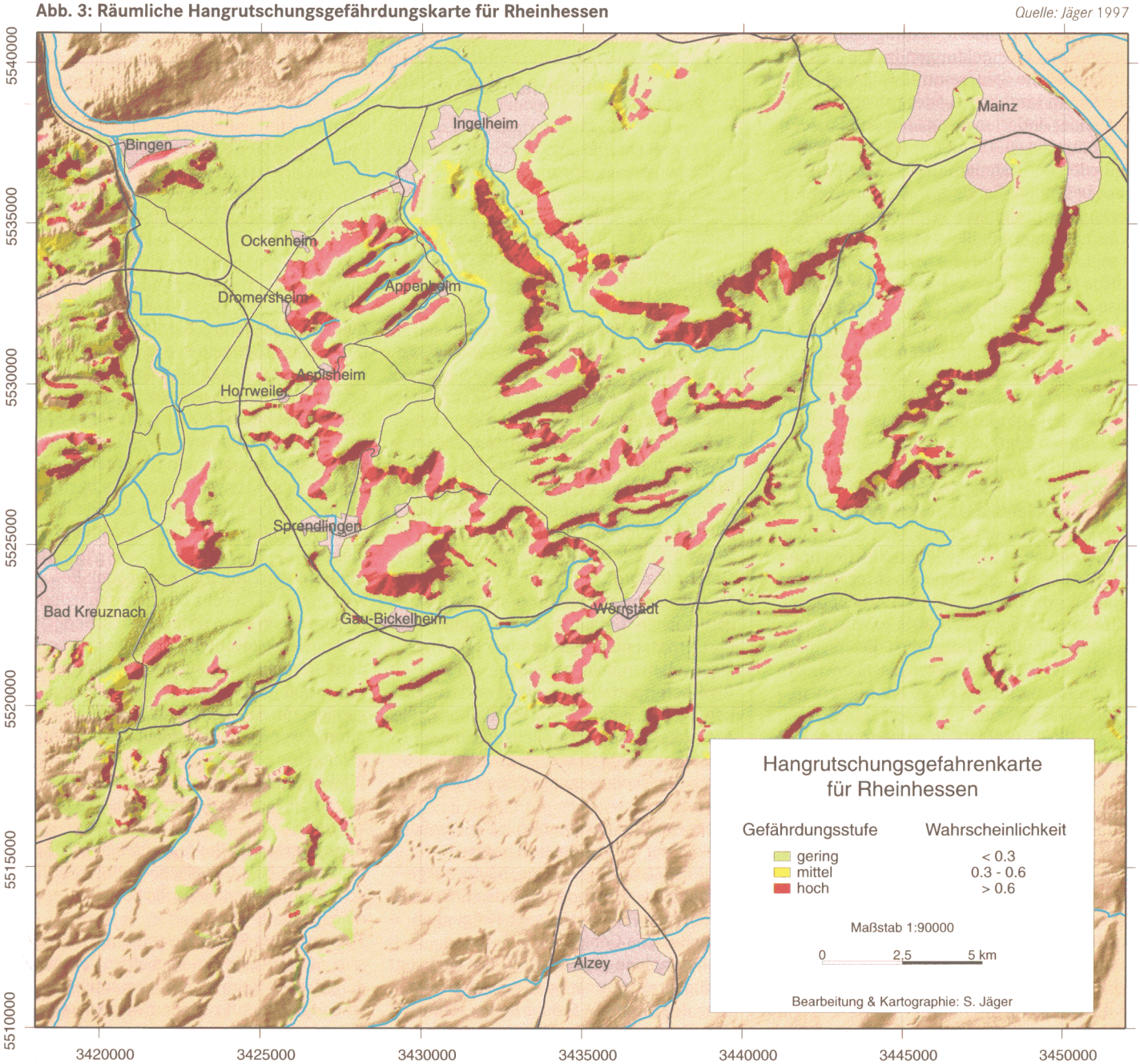
In einer weiteren Aktivität initiierte der Wissenschaftliche Beirat des deutschen IDNDR-Komitees Werkstattgespräche zur Thematik von Naturgefahren und Risiken in Hochgebirgen mit Vertretern aus Österreich, der Schweiz, Italien und Deutschland. Diese Gespräche dienten dazu, die Kommunikation zwischen Wissenschaft und Praxis und zwischen verschiedenen Wissenschaftsgebieten zu verbessern und eine Koordination der Aktivitäten zu erreichen. Die Teilnehmer kamen überein, dass sich zukünftige Aktivitäten auf drei Schwerpunkte konzentrieren sollten:

- Umgang mit Extremereignissen;
- naturwissenschaftliche Aspekte von Zeitreihen, Ausweisen von Gefährdungszonen, Dispositionsmodelle, Verifikation von Modellen durch Feldarbeit;
- gesellschaftliche Aspekte der Risikoakzeptanz und Bewusstseinsbildung sowie die Wirtschaftlichkeit von Vorbeugungsmaßnahmen.

Mit diesen Schwerpunkten ist eine Perspektive umrissen, mit der Massenbewegungsforschung und Katastrophenvorsorge nach Beendigung der IDNDR betrieben werden kann.

Eine wichtige Fragestellung liegt weiterhin darin, ob durch Klimaänderungen, z. B. durch den anthropogen verstärkten

Abb. 3: Räumliche Hangrutschungsgefährdungskarte für Rheinhessen *Quelle: Jäger 1997*



Treibhauseffekt, Veränderungen der Faktoren eintreten werden, die zu Massenbewegungen führen (*Dehn* 1999; *Dehn* und *Buma* 1999). Wenn Veränderungen in Hangsystemen, wie z. B. durch klimatische Randbedingungen, erkannt werden, können mittel- und längerfristige Maßnahmen und Strategien zur Verminderung des Schadenpotenzials erarbeitet werden. *Stötter* et al. (1996) kommen in einer regionalen Untersuchung zu dem Ergebnis, dass der Rückgang der Permafrostverbreitung seit Mitte des 19. Jhs. große Mengen an Lockermaterial für abtragende Prozesse, darunter Massenbewegungen, zur Verfügung stellt (vgl. *Abb. 4*).

Beispiel Hangrutschungen in Rheinhessen

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschungsprojekt MABIS (Massenbewegungen in Süd-, West- und Zentraldeutschland) hatte sich zum Ziel gesetzt neben der Inventarisierung von Massenbewegungen v. a. klimatische Auslöser, Datierung und Naturgefahrenbewertung zu thematisieren (*Dikau* und *Schmidt* 2001). Eines der Untersuchungsgebiete umfasste die Region Rheinhessen zwischen den Städten Mainz, Bingen und Worms (vgl. *Abb. 2*). In dieser Region ist eine beträchtliche Hangrutschungsaktivität bekannt, die möglicherweise bis ins Pleistozän zurückreicht (vgl. z. B. *Andres* und *Preuss* 1983).

Es gibt mehrere Hangrutschungstypen mit unterschiedlicher regionaler Bedeutung. Die flachgründigen hangparallelen Gleitungen und Fließungen sind von geringer Magnitude, jedoch regional weit verbreitet (z. B. während des Ereignisses im Winter 1981/82 mit über 240 Einzelrutschungen). Daneben sind tief greifende Hangrutschungen anzutreffen mit vermuteten Scherfugentiefen von 30–40 m. Diese Hangrutschungen treten zwar weniger häufig auf, umfassen jedoch eine große Fläche und sind lokal von übergeordneter Bedeutung (z. B. die Jakobsberg-Rutschung bei Ockenheim und die Wißberg-Rutschung bei Gau-Bickelheim). Weiterhin treten lokal Felsstürze auf, die aber nach derzeitigem Kenntnisstand unter regionalen Gesichtspunkten von nur untergeordneter Bedeutung sind.

Bis in die 80er Jahre waren die Untersuchungen auf einzelne Lokalitäten beschränkt. Erst das hangrutschungsauslösende Ereignis im Winter 1981/82 verdeutlichte die regionale Bedeutung des Prozesses. Nach diesem Ereignis begann das Geologische Landesamt Rheinland-Pfalz ein flächendeckendes Hangrutschungsinventar aufzubauen (*Krauter* und *Steingötter* 1983). Neben der detaillierten Kartierung der einzelnen Hangrutschungen mit standardisierten Aufnahmebögen wurden historische Daten zusammengetragen und in einer Datenbank integriert. Alle Einträge beschränken sich nur auf die gemeldeten Hangrutschungen, d. h. besonders auf die schadensbringenden Ereignisse. Weitere kleinere Hangrutschungen, die zwar weit verbreitet sind jedoch nur mit lokaler Bedeutung, werden nicht an das GLA gemeldet und entziehen sich somit der behördlichen Kenntnis. Dies ist ein grundlegendes Problem aller Datenbanken, die mit historischen Daten operieren. Sie geben immer nur eine Mindestinformation der tatsächlich aufgetretenen Ereignissen wieder – das tatsächliche Ausmaß ist sicherlich bedeutend höher (*Glade* et al. 2001; *Jäger* 1997).

Auf Basis der räumlichen und zeitlichen Erfassung der Hangrutschungen wurde für Rheinhessen eine Hangrutschungsverteilung von *Krauter* und *Steingötter* (1983) im Maßstab 1 : 50 000 vorgestellt. Diese Arbeiten wurden durch das DFG-Projekt „Massenbewegungen in Rheinhessen" aufgegriffen und weitergeführt (*Glade* 2001 #5932; *Dikau* 1995 #639; *Jäger* 1997 #3585). Intensive Archivarbeit ergänzte das bereits existierende Inventar. Die Loka-

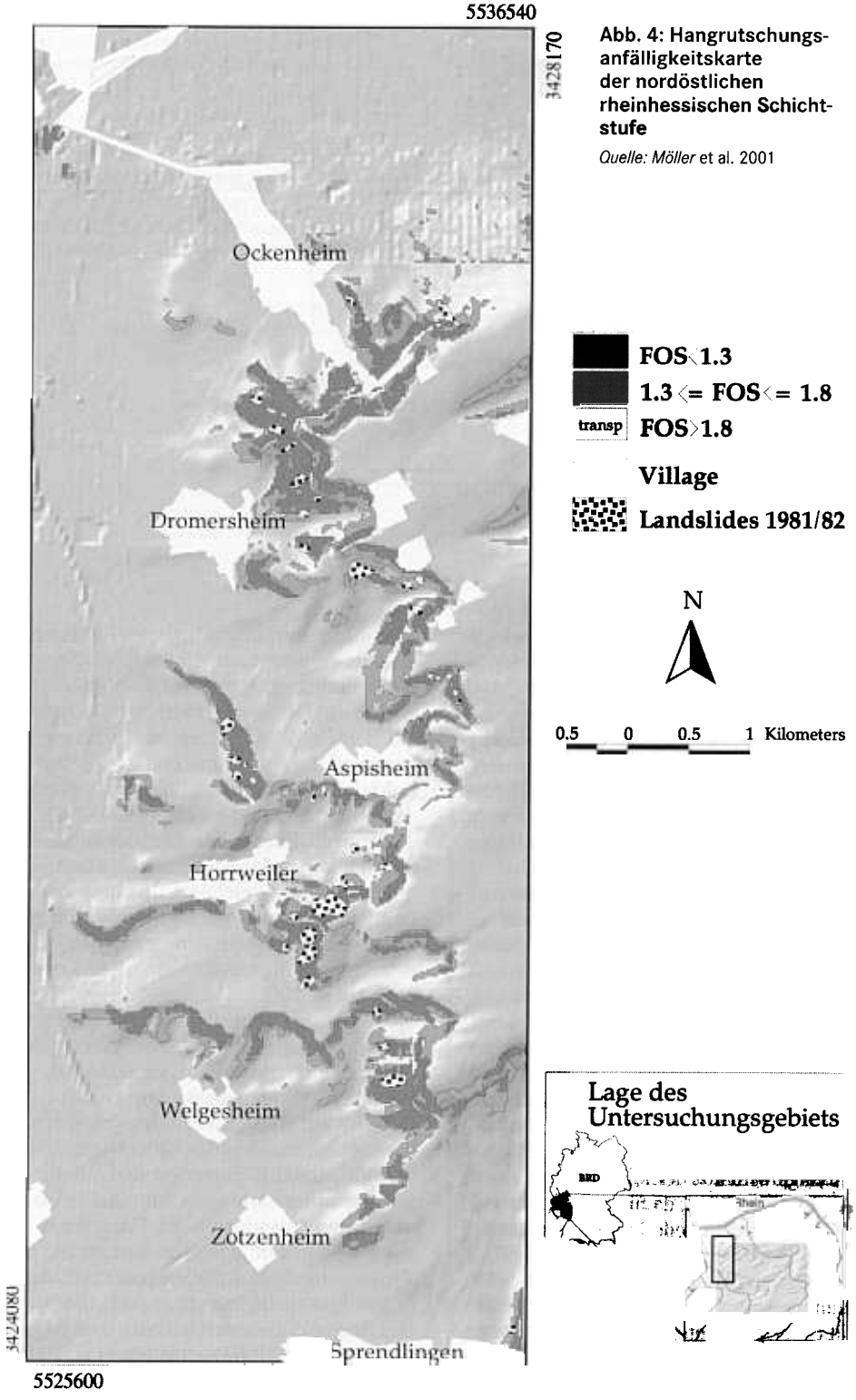


Abb. 4: Hangrutschungsanfälligkeitskarte der nordöstlichen rheinhessischen Schichtstufe

Quelle: Möller et al. 2001

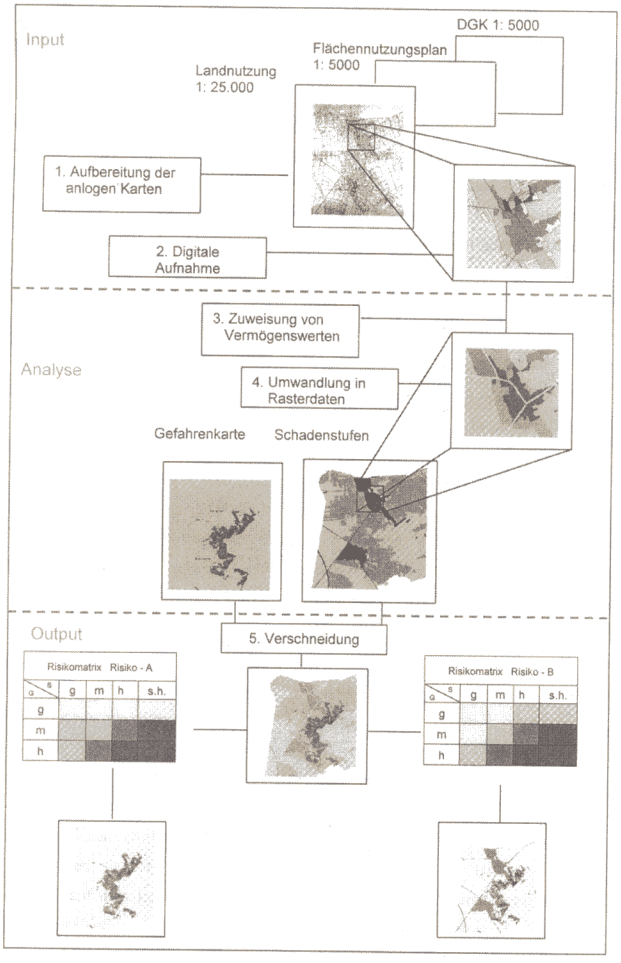


Abb. 5: Fließdiagramm des methodischen Konzepts der Erstellung einer Risikohinweiskarte für Hangrutschungen

Quelle: Davertzhofen et al. (im Druck)

litäten der Hangrutschungen, die Geologie und die Vegetationsverbreitung wurden von analogen Karten digitalisiert und mit aus einem Digitalen Höhenmodell abgeleiteten Indizes (Hangposition, Hangneigung, Exposition, etc.) verschnitten. Eine multivariate statistische Analyse identifizierte die Kombination von dispositiven Parametern, die das Auftreten der 1981/1982 aufgetretenen Hangrutschungen bestmöglichst erklärte. Mit diesem Modell wurde eine Hangrutschungsgefahrenkarte erstellt (vgl. *Abb. 3*). Eine umfangreiche Methodenbeschreibung und Ergebnisdiskussion findet sich bei *Jäger* (1997) sowie *Dikau* und *Jäger* (1995).

Die Karte erlaubt eine Darstellung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses. Eine zeitliche Auftretenswahrscheinlichkeit kann damit nicht berechnet werden. Die indirekte zeitlich Aussage wird aus der klimatologischen Analyse abgeleitet, da für das auslösende Ereignis ein Wiederkehrintervall von 50 Jahren berechnet wurde (*Jäger* 1997). Die Karte beinhaltet die Darstellung potenziell instabiler Gebiete, die aus der Lokalität der beobachteten Hangrutschungen und Grundlagendaten zur Geologie und Hangneigung abgeleitet wurden.

Eine Weiterentwicklung des Gefahrenmodells erfolgte durch *Möller* et al. (2001) durch Berücksichtigung weiterer Parameter wie die Tiefe der Verwitterungsschicht, die Tiefe des Wasserspiegels, die Hangneigung und die geotechnischen Parameter Kohäsion und Scherfestigkeit. Die Lokalität des Teiluntersuchungsgebiets ist in *Abb. 2* eingetragen. Eine Validierung des auf einem physikalischen Modell basierten Ansatzes ergab eine ausgezeichnete Übereinstimmung der über das Modell berechneten gefährdeten Gebiete mit den tatsächlich aufgetretenen Hangrutschungen (*Abb. 3* aus *Möller* et al. 2001).

Alle bisher dargestellten räumlichen Untersuchungen beschränkten sich auf die Naturgefahrenanalyse. In der aktuellen Weiterentwicklung dieses Ansatzes mit Hinblick auf eine Risikoanalyse werden die Risikoelemente, deren Schadenspotenzial und Vulnerabilität integriert und mit der Naturgefahrenkarte verschnitten. Die Landnutzungen entstammen den Flächennutzungsplänen. Für jeden Landnutzungstyp wird ein durchschnittliches potenzielles Schadenpotenzial berechnet (vgl. *Abb. 4*). Das Ergebnis dieser ersten Analysen ist in *Abb. 5* dargestellt (*Davertzhofen* et al. 2001; Lokalität vgl. *Abb. 2*). Die Einbindung der Risikoelemente und deren Charakteristika erlaubt die eindeutige Identifizierung der Lokalitäten einer Region, die besonderer Beachtung bedürfen. Ein mögliches Naturrisikomanagement unter Partizipation der betroffenen Personen, Firmen und Organisationen kann auf Karten dieses Inhaltes zurückgreifen und damit das Management transparenter und objektiver gestaltet werden.

Fazit

Die am Beispiel der Region Rheinhessen identifizierten Herausforderungen und Perspektiven sind nicht nur von regional-spezifischer Bedeutung, sondern müssen auch auf nationaler und globaler Ebene weiterverfolgt werden. Die Verbesserung der räumlichen Naturgefahrenmodellierung ist sicherlich eine der Aufgaben der naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen, jedoch wird erst die fachübergreifende Bearbeitung des Problems zu einer innovativen Weiterentwicklung der Forschungsfrage führen. Eine identische Naturgefahr wird in verschiedenen Ländern, in unterschiedlichen Kulturkreisen und unter verschiedenen sozio-ökonomischen Bedingungen differenziert wahrgenommen und bewertet. Dies erfordert ein auf den Einzelfall angepasstes Naturrisikomanagement. Eine Integration anthropo- und physiogeographischer Ansätze kann hier wertvolle Beiträge liefern.

Trotz dieser Aufforderung haben die Autoren dieses Beitrags eine thematische Gewichtung gewählt, die in starkem Maße an die Vorschläge von *Cruden* und *Fell* (1997) orientiert ist. Das heißt die Autoren haben damit als Physische Geographen das Paradigma einer natur- und ingenieurwissenschaftlichen Perspektive von Naturgefahren- und Naturrisikobewertung nicht verlassen. Gleichwohl sind sich die Autoren als Mitinitiatoren und Mitglieder des Arbeitskreises „Naturgefahren/Naturrisiken" der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) durchaus bewusst, dass nur eine Integration zu einer umfassenden, praxistauglichen Betrachtung der Problematik führen kann. ■

Autoren
Prof. Dr. **Richard Dikau**, geb. 1954.
E-Mail: rdikau@slide.giub.uni-bonn.de.
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte: Geomorphologie, Naturgefahren/-risiken, Bodenerosion, Massenbewegungen, Permafrost.

Dr. **Thomas Glade**, geb. 1964.
E-Mail: thomas.glade@uni-bonn.de.
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte: Massenbewegungen, Naturgefahren/-risiken.

Geographisches Institut der Universität Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn.

Literatur

Crozier, M. J.: Landslides: Causes, consequences and environment 1989

Cruden, D., und *R. Fell:* Landslide risk assessment – Proceedings of the Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19–21 February 1997. Rotterdam, Brookfield 1997

Cruden, D. M., und *D. J. Varnes:* Landslide types and processes. In: *A. K. Turner* und *R. L. Schuster* (Hrsg.): Landslides: investigation and mitigation. Washington, D. C. 1996, S. 36–75 (Special Report, Bd. 247)

Davertzhofen, U., T. Glade und *R. Dikau:* GIS-based landslide risk analysis in Rheinhessen. Natural Hazards (im Druck)

Dikau, R., D. Brunsden, L. Schrott und *M. Ibsen:* Landslide Recognition. Identification, movement and causes. Chichester 1996

Dikau, R., und *K.-H. Schmidt:* Mass movements in South, West and Central Germany. Zeitschrift für Geomorphologie, N. F. (2001), Supplement-Band 125

Dikau, R., J. Stötter, F.-W. Wellmer und *M. Dehn:* Massenbewegungen. In: *E. Plate* und *B. Merz* (Hrsg.): End of Decade Bericht des Deutschen IDNDR-Komitees. Stuttgart 2001, S. 115–138

Glade, T., und *M. J. Crozier:* Towards a national landslide information base for New Zealand. New Zealand Geographer 52 (1996) H. 1, S. 29–40

Glade, T., F. Frances und *P. Albini:* The use of historical data in natural hazard assessments. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Bd. 7. Dordrecht 2001

Jäger, S.: Fallstudien zur Bewertung von Massenbewegungen als geomorphologische Naturgefahr. Heidelberg 1997

Jones, D. K. C.: The relevance of landslide hazard to the International Decade far Natural Disaster reduction. In: Landslides Hazard Mitigation with particular references to developing countries. London 1995, S. 19–33

Krauter, E., und *K. Steingötter:* Die Hangstabilitätskarte des linksrheinischen Mainzer Beckens. Hannover 1983

Kuntsche, K.: Geotechnik. Wiesbaden 2000

Leroi, E.: Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and development. In: Landslides – Glissements de Terrain, 7th. International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway 1996, S. 35–51

Mattheß, G., und *B. Rump-Schenk:* Massenbewegungen. In: *E. Plate, W. Kron* und *U. de Haar* (Hrsg.): Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung. Weinheim 1993, S. 409–466 (Bericht des wissenschaftlichen Beirates für das Deutsche IDNDR Komitee)

Matthews, J. A., D. Brunsden, B. Frenzel, B. Gläser und *M. M. Weiß:* Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the holocene. In: *B. Frenzel, B. Gläser* und *M. M. Weiß* (Hrsg.), Paläoklimaforschung Paleoclimate Research. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm 1997

Messerli, B., und *J. D. Ives:* Mountains of the world. A global priority. A contribution to the chapter 13 of Agenda 21. New York 1997

Möller, R., T. Glade und *R. Dikau:* Determing and applying soil-mechanical response units in regional landslide hazard assessments. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Band 125 (2001), S. 139–151

Moser, M.: Zur Prognose von Massenbewegungen. Eclogae Geol. Helv. 90 (1997), S. 381–391

Münchner Rückversicherung: Topics 2000: Naturkatastrophen – Stand der Dinge. Münchner Rückversicherung, Sonderheft Millenium. München 2000

Schrott, L., und *A. Pasuto:* Recent developments of landslide research in Europe. Geomorphology 30 (1999) H. 1-2, S. 211

Turner, A. K., und *R. L. Schuster:* Landslides. Investigation and Mitigation. Washington D. C. 1996

UNDRO: Mitigation natural disasters. Phenomena, Effects and options. United Nations Disaster Relief. New York 1991

Varnes, D. J.: Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. Paris 1984

Abb. 6: Risikohinweiskarte auf Hangrutschungen für die Gemeinden Dromersheim und Ockenheim im Nordosten der rheinhessischen Schichtstufe

Quelle: Davertzhofen et al. (im Druck)

Summary

Natural Hazard and Natural Risk of Landslides

by *Richard Dikau* and *Thomas Glade*

Landslides are fractioned or non-fractioned gravitational driven downwards movements of rock, debris, or earth. Landslides constitute in some regions on earth a considerable natural hazard and contribute significantly to the natural risk. The International Decade of Natural Disaster Reduction (IDNDR) has demonstrated the importance of not only preparing state-wide natural hazard maps, but also to draw the attention on integrated prevention of catastrophes. It has been shown by the IDNDR that natural hazards and natural risks posed by landslides were underestimated worldwide. Therefore, related problems have to be investigated in more detail, explained on case studies and future perspectives have to be given.