

11 Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen

Thomas Glade und Hans Stötter

Gravitative Massenbewegungen • Schneelawinen • Typen des Auftretens • Risiko • Schadenswirkung • Risikomanagement

Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich des bewegten Materials. Die Fließ- und Gleitbewegungen gravitativer Massenbewegungen sind bezüglich des Prozessablaufs den Schneelawinen sehr ähnlich. Im ersten Teil des Beitrags werden die verschiedenen Aspekte und Charakteristika der beiden Prozessbereiche im Überblick gegenübergestellt. Besonderer Fokus ist anschließend in der Darstellung der Schadenswirkung beider Prozessbereiche. Das Risikomanagement der Prozesse wird dargelegt und vergleichend bewertet. Abschließend werden Perspektiven für eine nachhaltige Katastrophenvorsorge auch im Sinne einer Prävention für gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen diskutiert. Es wird verdeutlicht, dass für einige Typen gravitativer Massenbewegungen ganz ähnliche präventive Maßnahmen getroffen werden können wie für Schneelawinen.

11.1 Aspekte für Risiken und Katastrophen

Die beiden Prozessbereiche gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen haben zwar viele Ähnlichkeiten bezüglich des Prozessverlaufs und der Schadenswirkungen, unterscheiden sich in Teilbereichen jedoch signifikant. Zur Darstellung die-

ser Unterschiede werden die beiden Prozesse kurz eigenständig charakterisiert und anschließend in einem Überblick verglichen. Dies ermöglicht, Aussagen über gleiche und unterschiedliche Schadenswirkungen und Optionen eines Managements zu treffen und in den Kontext einer Katastrophenvorsorge und Prävention zu stellen.

11.1.1 Gravitative Massenbewegungen

Gravitative Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete, der Schwerkraft folgende Verlagerungen von Fels, Schutt und Feinsubstrat. Die Verlagerungsprozesse beinhalten das Kippen, Fallen, Rutschen, Fließen und die kombinierte, komplexe Bewegung (Dikau et al. 1996, Cruden und Varnes 1996). Leider existiert im deutschen Sprachraum noch keine einheitliche Sprachregelung zur Definition der **gravitativen Massenbewegungen** (*landslides*). Eine Diskussion dieser Thematik wird in Glade und Dikau (2001) geführt. Die in diesem Beitrag verwendeten Begriffe beziehen sich auf die dort dargelegten Definitionen. In Abbildung 11.1 sind schematisch die unterschiedlichen gravitativen Massenbewegungen dargestellt. Detailliertere Beschreibungen und Darstellungen der einzelnen Typen finden sich bei Dikau et al. (1996).

Das bewegte Volumen des einzelnen Objekts kann zwischen einigen Kubikmetern und mehreren Kubikkilometern betragen. Die für die Schadenswirkung besonders wichtige Geschwindigkeit variiert

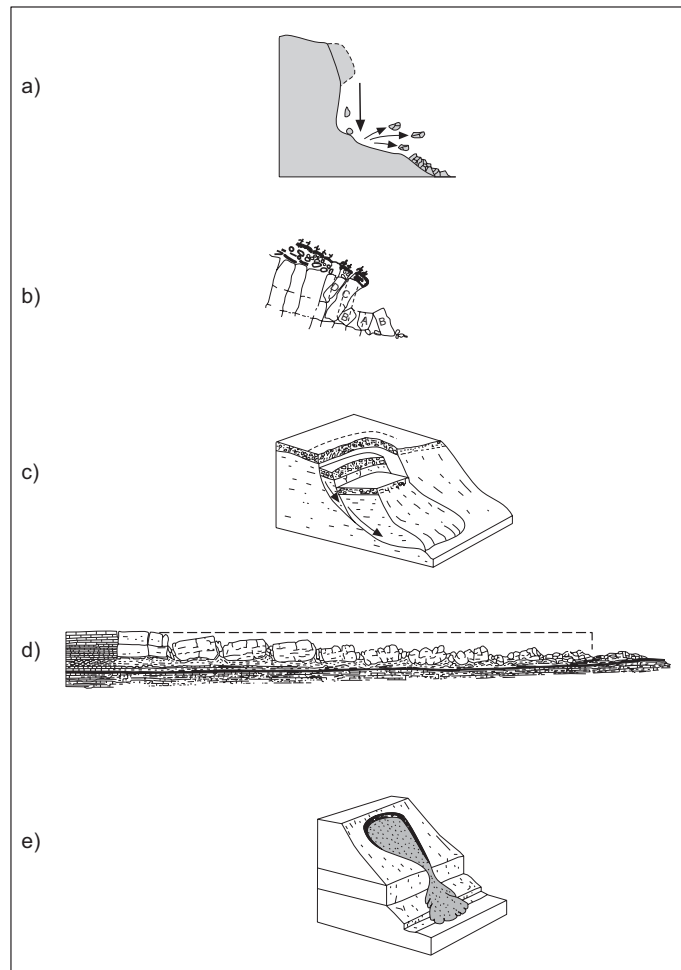


Abb. 11.1 Schematische Darstellung unterschiedlicher Typen gravitativer Massenbewegungen. a) Fallen/Stürzen. b) Kippen. c) Rotierend rutschend. d) Flach gleitend. e) Fließen. (Einteilung basierend auf Cruden und Varnes 1996.)

– unabhängig von dem Volumen der Bewegung
 – zwischen Millimetern oder Zentimetern pro Jahr bis zu mehreren Metern pro Sekunde. Die betroffenen Ursprungsgebiete weisen eine Grunddisposition (z. B. Hanggeometrie, Materialeigenschaften des Substrats, Vegetationsbedeckung) gegenüber den gravitativen Massenbewegungen auf. Diese Grunddisposition und deren Änderung (z. B. Entwaldung) ist ein vorbereitender Faktor, d. h. die Stabilität eines Hangs wird zwar beeinflusst, aber die eigentliche Bewegung findet noch nicht statt.

Neben den anthropogenen Auslösern durch Sprengungen oder künstliche Hanganschnitte sind die natürlichen Auslöser meist Erdbeben (z. B. Northridge-Erdbeben 1994 in Kalifornien oder in Pakistan 2005) und Niederschläge mit entweder ex-

tremen Intensitäten (z. B. Extremniederschläge an der Kapiti Coast, Neuseeland 2004) oder lang anhaltenden Feuchteperioden. Solche Perioden beziehen sich nicht nur auf lang andauernde Niederschläge, sondern können auch mit schmelzenden Schneedecken in Verbindung stehen (z. B. Rheinhessen 1981/82). Zu beobachten ist, dass sich diese Auslöser oft gegenseitig beeinflussen. Beispielsweise führt eine Schneeschmelze zum flächenhaften Aufbau eines positiven Porenwasserdrucks, ohne dass eine Initiierung einer Hangbewegung stattfindet. Die eigentliche Auslösung findet erst in dem direkt folgenden Niederschlagsereignis statt. Unter „normalen“ Umständen wäre in diesem Fall möglicherweise keine Bewegung ausgelöst worden, da das Hangsystem die Auswirkungen des Niederschlags noch hätte

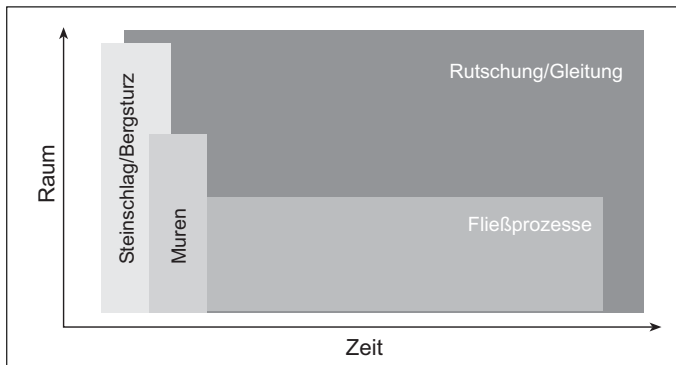


Abb. 11.2 Raum-Zeit-Aspekte bei unterschiedlichen Typen gravitativer Massenbewegungen.

puffern können. Diese Komplexität zwischen internen, im oberflächennahen Untergrund vorhanden Konditionen und externen, von außen wirkenden Kräften erschwert eine genaue Differenzierung nach Ursache, Wirkung und Auslöser sehr.

Für die Beurteilung der **Schadenswirkungen** und der resultierenden Risiken ist es bedeutend, die Frequenz und die Magnitude der jeweiligen Prozesse zu untersuchen (Kapitel 9). Gravitative Massenbewegungen decken eine ganze Spannweite von Möglichkeiten des Auftretens ab (Abb. 11.2). Sie können diskret und einzeln an einem Hang auftreten (Glade et al. 2001) oder zu Zehntausenden ein Gebiet betreffen (Guzzetti et al. 2004). Ein ganz wesentlicher Aspekt ist hierbei die **Geschwindigkeit** der Materialverlagerung unterschiedlicher Typen von gravitativen Massenbewegungen. Kriechende Bewegungen mit Zentimetern pro Jahr bewegen sich kontinuierlich oder schubweise und dauern über Jahre, Jahrzehnte und mancherorts sogar über Jahrhunderte an (z. B. Rutschung). Im Gegensatz dazu dauern extrem schnelle Bewegungen nur wenige Sekunden bis Minuten (z. B. Felssturz, Abb. 11.2).

Gerade im Hinblick auf ein Schadenspotenzial ist neben der Geschwindigkeit die Tiefe der Bewegung, bzw. das **Volumen** der Massenbewegungen wichtig. Mancherorts wird nur die Grasnarbe mit den obersten Bodenhorizonten verlagert, während in anderen Lokalisationen die bewegte Masse mehrere Zehnermeter mächtig ist. In diesem Zusammenhang muss auch unbedingt die Materialverfügbarkeit beachtet werden (Zimmermann et al. 1997, Glade 2005). In manchen Regionen wird durch das Auftreten des Prozesses das gesamte Material abtransportiert und somit kann der kommende Auslöser trotz möglicher identischer Stärke keine Bewegung mehr auslösen. An anderen Stellen sind entweder die Sedimentquellen groß genug, um im-

mer zu bewegendes Material bereitzustellen (z. B. aus Moränen) oder die Sedimentquellen werden kontinuierlich nachgefüllt (z. B. Schutthalde durch Steinschlag). Diese Voraussetzungen sind besonders wichtig bei der Betrachtung von Muren und bei reaktivierten Massenbewegungen. Während in einigen Regionen die erste Initialbewegung das Material nur um einen bestimmten Betrag versetzt (abhängig von der Lokalität zwischen Millimetern und mehreren Metern) findet an anderen Lokalisationen eine vollkommene Ausräumung des Materials statt. Daraus resultiert, dass die Region nach dem Auftreten der Massenbewegung „sicherer“ ist, da alles zu bewegende Material entfernt wurde. Die jeweilige Situation hat große Implikationen für das Risikomanagement betroffener Gebiete.

11.1.2 Schneelawinen

Der Begriff Lawine lässt sich höchstwahrscheinlich auf das lateinische Wort *labi*, d. h. gleiten oder Schlüpfen zurückführen (Diskussion zur Etymologie in Schild 1972). Diesem sprachgeschichtlichen Verständnis folgend können Lawinen als Schneemassen verstanden werden, »die bei raschem Absturz auf steilen Hängen, Gräben u. Ä., infolge der kinetischen Energie oder der von ihnen verursachten Luftdruckwelle oder durch ihre Ablagerung Gefahren oder Schäden verursachen können« (Forstgesetz 1975, S. 99). Dabei ist die Lawine der gesamte Bewegungsvorgang, beginnend mit dem Anbruch des abgelagerten Schnees im Anbruchgebiet, bei dem ein Gemisch von mehr oder weniger Luft mit vorwiegend körnigen Schneeteilchen in der Sturzbahn zu Tal rutscht, fließt, kollert, stiebt oder fällt und durch das Zusammenspiel von Masse und

11

Tab. 11.1 Begriffliche Klassifizierung von Lawinen nach ihrer Auslauflänge, ihrem Volumen sowie Schadenspotenzial (SLF).

Begriff	Reichweiten-Klassifikation	Schadenspotenzial-Klassifikation	quantitative Klassifikation
Größe 1 „Rutsch“	Schneeuumlagerung mit sehr geringer Verschüttungsgefahr, jedoch Absturzgefahr	relativ harmlos für Personen	Lauflänge < 50 m, Volumen < 100 m ³
Größe 2 kleine Lawine	kommt im Steilhangbereich zum Stillstand	kann eine Person verschütten, verletzen oder töten	Lauflänge < 100 m, Volumen < 1000 m ³
Größe 3 mittlere Lawine	erreicht den Hangfuß von Steilhängen	kann Pkws verschütten und zerstören, schwere Lkws beschädigen, kann kleine Gebäude zerstören und einzelne Bäume brechen	Lauflänge < 1000 m, Volumen < 10000 m ³
Größe 4 große Lawine	überwindet flachere Geländeteile (deutlich unter 30°) über eine Distanz von mehr als 50 m, kann den Talboden erreichen	kann schwere Lkws und Schienenfahrzeuge verschütten und zerstören, kann größere Gebäude und Waldareale zerstören	Lauflänge > 1000 m, Volumen > 10000 m ³

Geschwindigkeit seine Zerstörungskraft erreicht. In einer ersten Klassifikation lassen sich Lawinen nach Auslauflänge, Volumen und Schadenspotenzial differenzieren (Tab. 11.1).

Hinsichtlich der Entstehung von **Schneelawinen** ist zwischen der Disposition und der Auslösung zu unterscheiden. Die generelle Voraussetzung für die Bildung von Lawinen wird durch komplexe Wechselwirkungen von Geländeparametern und klimatischen Einflussgrößen gesteuert. Hinsichtlich der Topographie haben Hangneigung, Exposition und Rauigkeit des Geländes die größte Bedeutung. So weisen Lawinenhänge in der Regel Neigungen zwischen 25° und 45° auf (Land Tirol 2000). Unter außergewöhnlichen Verhältnissen wurden jedoch Anrisse bereits bei 17° beobachtet. Im sehr steilen Gelände bleibt Schnee kaum liegen und verlagert sich spontan noch während des Niederschlagsereignisses.

Generell kann die **Auslösung** von Lawinen durch eine ungünstige Veränderung des Stabilitätsverhältnisses ausgedrückt werden, das durch das Verhältnis zwischen Festigkeit und Spannung innerhalb der Schneedecke beziehungsweise in einzelnen Schneeschichten bestimmt ist. Speziell spielen dabei der **Schneedeckenaufbau** sowie witterungsbedingte Größen, wie die Neuschneemenge (Tab. 11.2), die Windverfrachtung, die Temperatur und Strahlungs-

verhältnisse sowie daraus resultierend die **Schneemetamorphose**, eine entscheidende Rolle, die entweder die Festigkeit reduzieren oder die Spannungen erhöhen. Neben diesen als Selbstauslösung bezeichneten Einflüssen kommen auch externe Störungen, wie Wildwechsel oder der Mensch (unbewusste Auslösung als Skifahrer, gezielte Auslösung als Sicherungsmaßnahme), als Auslösefaktoren infrage.

Während infolge der abbauenden Metamorphose der Schneekristalle (Abb. 11.3a) mit der Erhöhung der Schneedichte eine Zunahme der Festigkeit einhergeht, bewirken die Prozesse der aufbauenden Metamorphose eine Abnahme der Festigkeit. Durch Verlagerung in der gasförmigen Zustandsstufe werden die Schneekristalle immer größer, und es entstehen kantige Kristalle und becherartige Hohlformen (Abb. 11.3b). Zu einem ähnlichen Verlust der Festigkeit kommt es, wenn infolge von Zufuhr advektiver Wärme bei positiven Lufttemperaturen Körner zusammenwachsen oder wenn Oberflächenreif eingeschneit wird.

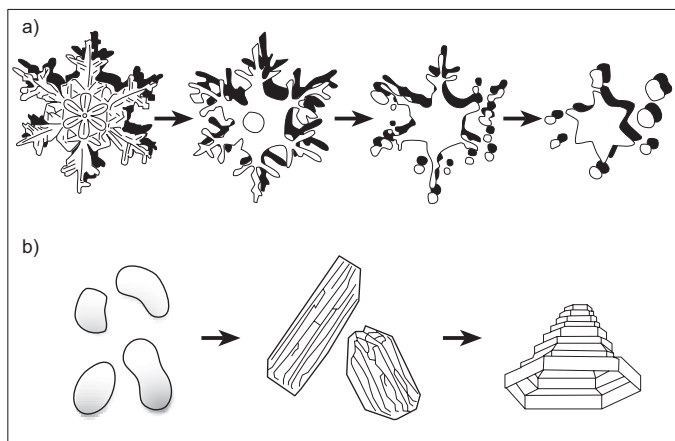
Die Dynamik der Lawine wird durch topographische Faktoren, wie Hangneigung und Bodenreibung, sowie innere Einflussgrößen, speziell der Zusammensetzung des Schnees und der inneren Reibung, bestimmt. Nach Ablösung eines Schneebretts tritt zu Beginn eine gleitende, dann eine fließende Bewegung auf, wobei es ab einer Geschwindigkeit

Tab. 11.2 Abhängigkeit der Lawinensituation vom Neuschneezuwachs.

Neuschneezuwachs in 24 Stunden	Lawinensituation
< 30 cm	kaum Gefährdung
30–50 cm	vereinzelt Objekte und Verbindungswege unter ungünstigen Umständen gefährdet
50–80 cm	einzelne Lawinen bis in die Talsohle möglich, einzelne Objekte und Verbindungswege gefährdet
80–120 cm	mehrfach große Lawinen bis in die Talsohlen sind zu erwarten, vereinzelt Objekte, Verbindungswege und einzelne exponierte Teile von Ortschaften sind gefährdet
> 120 cm	Katastrophensituation, auch seltene oder bisher nicht beachtete große Lawinen bis in die Talsohle sind möglich, höchste Gefahr für Siedlungen und Verbindungswege

Tab. 11.3 Zusammenhang zwischen Lawinentyp, Geschwindigkeit und Dichte (Land Tirol 2000).

Lawinentyp	Geschwindigkeiten		Dichte bei Abgang
nasse Fließlawine	10–20 m/s	36–72 km/h	300–400 kg/m ³
trockene Fließlawine	20–40 m/s	72–144 km/h	50–300 kg/m ³
Staublawine	30–70 m/s	144–252 km/h	2–15 kg/m ³

**Abb. 11.3** a) Abbauende Metamorphose vom Schneestern zum körnigen Schnee (verändert nach SLF bzw. LaChappelle 1969). b) Aufbauende Schneemetamorphose von runden zu eckigen Kornformen sowie zu Becherkristallen (verändert nach SLF).

von etwa 10 m/s zur Abhebung eines Staubelements kommen kann. Bei der Bewegung lässt sich generell ein Zusammenhang zwischen Dichte und Geschwindigkeit beobachten (Tab. 11.3). Während die Dichte des bewegten Schnees bis ca. 400 kg/m³ reicht, kann abgelagerter Lawinenschnee eine Dichte von 500–800 kg/m³ aufweisen.

Eine zusammenfassende Differenzierung der Lawinen ist auf Grundlage der seit etwa 20 Jahren international anerkannten **Lawinenklassifikation** möglich (Tab. 11.4). Diese Klassifikation wurde ursprünglich vom Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung entwickelt (de Quervain 1973).

11

Tab. 11.4 Internationale Lawinenklassifikation (SLF).

Internationale Lawinenklassifikation		
Form des Anrisses	linienförmig, scharfkantig → Schneebrett	punktförmig → Lockerschneelawine
Form der Bewegung	vorwiegend fließend → Fließlawine	vorwiegend stiebend → Staublawine
Lage der Gleitfläche	innerhalb der Schneedecke → Oberlawine	auf dem Boden → Bodenlawine
Form der Bahn	flächig	runsenförmig (kanalisiert)
Feuchtigkeit des abgleitenden Schnees	trocken → Trockenschneelawine	nass → Nassschneelawine
Länge der Bahn	vom Berg ins Tal → Tallawine	am Hangfuß zum Stillstand kommend → Hanglawine
Art des Schadens	Heimstätte, Hab und Gut, Verkehr, Wald → Katastrophen- oder Schadenlawine	Skifahrer und Bergsteiger im freien Skigelände → Touristen- oder Skifahrerlawine
Art des anbrechenden Materials	Schnee → Schneelawine	(Gletscher-)Eis → Eislawine (Gletscherabbruch)

11.1.3 Gegenüberstellung

Die Unterscheidung der beiden Prozessbereiche ist offensichtlich. Während Schneelawinen an den Winter gebunden sind, können gravitative Massenbewegungen mit variierenden Wahrscheinlichkeiten ganzjährig auftreten – zwar eine triviale Feststellung, die aber signifikante Auswirkungen auf das Gefahren- und Risikomanagement hat. Weiterhin treten Schneelawinen zwingend nur in Regionen mit großem Höhenunterschied auf. Im Gegensatz dazu können Rutschungen und Fließungen zusätzlich auf Flächen vorkommen, die nur wenige Grade geneigt sind. Das heißt, neben den Gebirgsräumen sind auch die Mittelgebirgsräume oder Steilküsten von den gravitativen Massenbewegungen betroffen.

Zentral ist auch die in den vorherigen Teilkapiteln bereits angesprochene **Materialverfügbarkeit**. Während sich der Schnee immer wieder neu bildet und somit auch die gleichen Stellen immer wieder von Schneelawinen betroffen sind, ist bei den gravitativen Massenbewegungen das zu transportierende Material häufig der limitierende Faktor. Wenn folglich eine Massenbewegung stattgefunden hat und

das gesamte Material aus dem Quellgebiet transportiert wurde, ist diese Region nach einem Ereignis viel sicherer und stabiler, da einfach kein Material mehr zum Abtransport verfügbar ist. Diese damit zusammenhängende Bedeutung der zeitlichen Dimension wird leider häufig in Gefahren- und Risikoanalyse nicht berücksichtigt.

Trotzdem ist deutlich, dass die beiden Prozessbereiche gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen ähnliche Eigenschaften im Auslaufbereich haben. Besonders die Muren und die flachgründigen Translationsrutschungen können im Transport- und Auslaufbereich ähnliche Schadenswirkungen wie Schneelawinen aufzeigen. Auf diese Gemeinsamkeiten wird im Folgenden näher eingegangen.

11.2 Schadenswirkungen

Während sich bei gravitativen Massenbewegungen häufig der komplette Untergrund teilweise inklusive der sich darauf befindlichen Risikoobjekte bewegt, beschränken sich die Schadenswirkungen durch

Tab. 11.5 Zusammenhang zwischen Intensität und Schadenswirkung bei gravitativen Massenbewegungen. Einteilungskriterium ist bei den Sturzprozessen E (= kinetische Energie), bei Rutschungen V (= Bewegungsgeschwindigkeit) und bei Muren M (= Höhe der Ablagerung) (nach Latelin 1997).

Intensität	Sturzprozesse (E)	Rutschung (V)	Mure (M)	potenzielle Schadenswirkung
gering	< 30 kJ	≤ 2 cm/Jahr	< 0,5 m	Fenster gehen ggf. zu Bruch, Bauwerke werden leicht beschädigt, Menschen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet
mittel	30–300 kJ	> 2 bis mehrere dm/Jahr	0,5–2 m	Bauwerke werden stark beschädigt, Menschen sind innerhalb und außerhalb von Gebäuden gefährdet
stark	> 300 kJ	> 0,1 m/Tag (flachgründige Rutschungen) > 1 m/Ereignis starke Differenzialbewegungen	> 2 m	Betonkonstruktionen werden extrem beschädigt oder zerstört, Menschen sind innerhalb und besonders außerhalb von Gebäuden stark gefährdet

Tab. 11.6 Zusammenhang zwischen Kraft und Schadenswirkung bei Schneelawinen.

Kraft	Kraft	Schadenswirkung
1 kN/m ²	(100 kg/m ²)	Fenster gehen zu Bruch
5 kN/m ²	(500 kg/m ²)	Türen werden eingedrückt
30 kN/m ²	(3000 kg/m ²)	Holzgebäude und gemauerte Gebäude werden beschädigt oder zerstört
100 kN/m ²	(10000 kg/m ²)	Bäume werden entwurzelt
1000 kN/m ²	(100000 kg/m ²)	Betonkonstruktionen werden beschädigt oder zerstört

Schneelawinen meist auf Effekte, die seitlich auf Risikoobjekte einwirken. Bei Feuchtschneelawinen ist die Wirkung im Auslaufbereich ähnlich wie bei Muren oder flachgründigen Translationsrutschungen.

Die **Schadenswirkung** bei gravitativen Massenbewegungen ist für die drei wesentlichen Prozesse Steinschlag und Bergsturz, Rutschung und Mure von der jeweiligen Intensität abhängig. Es existiert keine allgemeingültige Einteilung der Prozessintensität. Die Schweizer Bundesämter für Raumplanung BRP, für Wasserwirtschaft BWW und für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (BUWAL fusionierte 2006 mit großen Teilen des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) zum Bundesamt für Umwelt BAFU) schlugen bereits 1997 eine diesbezügliche Klassifikation vor (Latelin 1997). Die Kriterien zur

Intensitätseinteilung sind für jeden Massenbewegungstyp vielfältig und werden in Tabelle 11.5 nur exemplarisch für eine Variable pro Prozessstyp dargestellt. Es ist evident, dass weitere Kriterien, wie beispielsweise Sprunghöhe oder Rotation der Steine, bei den Sturzprozessen berücksichtigt werden können.

Trotz der relativ geringen Dichte der bewegten Masse weisen Lawinen in Abhängigkeit von Schneedichte und Geschwindigkeit sowie der Form der Lawinenbahn und der Art der Hindernisse hohe **Druckkräfte** auf, aus denen große Schäden resultieren können (Tab. 11.6). Da erst in jüngster Zeit eine messtechnische Erfassung der Kräfte möglich ist (Rammer 2000, Dufour et al. 2006), wird oft anhand der Schäden auf die Kräfte rückgeschlossen.

11

Entscheidend ist wie bei anderen Prozessen auch die Differenzierung in direkte Folgen und indirekte **Auswirkungen**. Direkte Folgen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise die zerstörten Häuser oder der Verlust von Menschenleben. Indirekte Folgen resultieren aus der Unterbrechung der Verkehrswege, können aber auch so weitreichend sein, dass Touristen nicht mehr in dem früher betroffenen Ort ihren Urlaub verbringen möchten, mit den entsprechenden Auswirkungen auf die betroffenen Familien und Gemeinden.

Zentral ist folglich die Identifikation der Risikoelemente. Generell werden die Risikoelemente klassifiziert in Gebäude, Infrastrukturen und betroffene Menschen. In der traditionellen Risikoanalyse werden für jedes Risikoelement die potenziellen Konsequenzen bestimmt, wobei sich diese zusammensetzen einerseits aus dem maximal möglichen Schadenspotenzial und andererseits aus den Vulnerabilitäten der bestimmten Risikoelemente gegenüber der jeweiligen Prozessmagnitudo (Heinimann 1999). Die Definition und Bestimmung der unterschiedlichen Typen der Vulnerabilitäten werden in Kapitel 7 ausführlich diskutiert.

11.3 Bedeutung des Risikomanagements

Grundsätzlich lassen sich bei gravitativen Massenbewegungen und Lawinen permanente und temporäre **Schutzmaßnahmen** unterscheiden. Unter die permanenten Maßnahmen, von denen eine mittlere Lebens- und Funktionsdauer von etwa 50 Jahren angenommen wird, fallen technische und forstlich-biologische Maßnahmen. Weiterführende Mittel der Prävention sind besonders raumplanerische Maßnahmen. Grundsätzlich müssen bei allen Maßnahmen die Quell- oder Ursprungsgebiete, die Transportwege und die Ablagerungsgebiete berücksichtigt werden.

11.3.1 Geotechnische Maßnahmen

Technische Maßnahmen beinhalten bei gravitativen Massenbewegungen je nach Prozessstyp u. a. Vernagelungen des Untergrunds, Bau von Stützbauwerken oder Auffangkonstruktionen, Betonierung der gefährdeten Hangbereiche und Bedeckung der mög-

lichen Quellgebiete mit Stahlnetzen. In allen Fällen ist die Sicherstellung einer ungehinderten Handdrainage sehr wichtig. Bei Schneelawinen beziehen sich **technische Maßnahmen** im Anbruchgebiet besonders auf Stützverbauungen, die das Anbrechen der Schneelawine verhindern. Diese sind heute vorwiegend als Stahlschneebrücken ausgeführt (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung 2000). Daneben sollen Verwehungsverbauten wie Schneezäune ungewollte Akkumulationen im erweiterten Anrissbereich verhindern.

In den Transportzonen wird versucht, die gravitativen Massenbewegungen sowie die Schneelawinen durch Ablenkdamme in eine Richtung zu steuern. Es ist klar, dass die Beeinflussung des Transportwegs nur für einige gravitative Massenbewegungen (z. B. Muren und Steinschlag) möglich ist.

Im Auslaufbereich wird versucht, potenziell gefährdete Objekte dadurch zu schützen, dass die Energie der gravitativen Massenbewegungen und der Lawinen durch Ablenkdamme, Auffangbecken sowie Bremshöcker umgelenkt bzw. reduziert wird. Als spezielle Schutzmaßnahme für Verkehrsachsen kommen Galerien oder Rohrbrücken zum Einsatz.

Trotz unterschiedlicher Wirkungen sind auch **forstlich-biologische Maßnahmen** für beide Prozessbereiche sehr wichtig. Wiederum sind hinsichtlich der Wirkungen bei den gravitativen Massenbewegungen zwischen unterschiedlichen Prozessstypen und besonders verschiedenen Magnituden zu unterscheiden. Waldbestand kann Hanglagen so weit stabilisieren, dass kleinere gravitative Massenbewegungen nicht ausgelöst bzw. stattfindende Prozesse abgebremst werden. Beispielsweise kann ein dichter Waldbestand Sturzprozesse oder Muren verlangsamen bzw. ganz zum Stillstand bringen. Ab einem bestimmten Volumen des verlagerten Materials ist der Waldbestand für den Bewegungsablauf jedoch begünstigend (z. B. halten Wurzeln größere Volumen zusammen), ab einer bestimmten Größe der bewegten Masse ist er aber nicht mehr von Bedeutung (z. B. Bergstürze oder große Rotationsrutschungen).

Für Schneelawinen ist bis zur Obergrenze der subalpinen Höhenstufe ein mehrstufiger und geschlossener Waldbestand der beste Schutz vor Lawinenanbrüchen. Hieraus leitet sich schon seit Beginn der Tätigkeit staatlicher Fachbehörden im Schutz vor Lawinen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Forderung nach einer den Standortseigenschaften gerechten Aufforstung waldfreier Gebiete ab. Vor allem in Hochlagen werden diese forstlich biologischen Maßnahmen oftmals durch temporäre Stützverbauung im Aufforstungsbereich bzw. permanente Schneebrücken oberhalb der Waldgrenze



Abb. 11.4 a) Lawinerverbauungen. b) Steinnetze als Beispiele direkter Schutzmaßnahmen (Fotos: Hans Stötter).

verbunden. Auch bei den Schneelawinen gilt jedoch, dass ab einer bestimmten Magnitude ein Waldbestand nur noch eine untergeordnete Bedeutung für den Bewegungsablauf hat. Wichtig ist hierbei zu berücksichtigen, dass sich die Schadenswirkung einer Schneelawine aufgrund der mitgeführten Bäume verändern kann.

11.3.2 Monitoring

Das Monitoring von gravitativen Massenbewegungen und Schneelawinen unterliegt zur Gänze unterschiedlichen Rahmenbedingungen und folglich unterscheiden sich auch die eingesetzten Verfahren.

Gemeinsam ist aber beiden eine gewisse Diskrepanz zwischen flächig wirksamen Prozessen und der daraus resultierenden Forderung einer zwei- oder, wenn man die Tiefe mit berücksichtigt, dreidimensionalen Erfassung und den traditionell eindimensionalen Punktmessungen zur Überwachung.

Zur **kontinuierlichen Beobachtung** gravitativer Massenbewegungen wird eine Vielfalt von Messverfahren eingesetzt, von denen hier nur exemplarisch einige aufgeführt werden. Hinsichtlich der Erfassung der Bewegung sind Methoden, die die Geschwindigkeit an der Oberfläche messen, von denen zu unterscheiden, deren Ziel es ist, entlang von Tiefenprofilen die Deformation des bewegten Körpers zu quantifizieren und den Bewegungsablauf zu beobachten. Der Schritt von der Punktmessung

11

zur flächenhaften Erfassung der Bewegung wird durch den Einsatz von Fernerkundungstechnologie ermöglicht. Hierzu wird zum einen Radarinterferometrie verwendet, deren Sensoren entweder von Satelliten oder Flugzeugen getragen werden und die es erlaubt, aufgrund der Phasenverschiebung zwischen zwei Messungen auch sehr kleine Veränderungen hochgenau zu registrieren (Rott und Nagler 2006). Zum anderen bietet die Laserscanning-Technologie die Möglichkeit, hochauflösend und hochgenau durch Koordinatenmessung von Millionen von Einzelpunkten große Flächen aufzunehmen und durch multitemporalen Vergleich die Veränderung der Oberfläche festzustellen. Bei Einsatz eines terrestrischen Laserscanners lässt sich mittels einer Punktdichte von mehr als 100 Punkten/m² eine quasi flächige Beschreibung der beobachteten Körper erzielen. Bei beiden Methoden sind im optimalen Fall Differenzen im Subzentimeterbereich ableitbar.

Intensive **Monitoring-Programme** beinhalten bei gravitativen Massenbewegung einerseits Messungen bestimmter Charakteristika des Untergrunds, z. B. Porenwasserdruck, Grundwasserstand etc., sowie Aufweitungen von Klüften und Spalten durch Extensiometer. Andererseits werden aber auch automatisierte Videoüberwachungen (z. B. für Sturzprozesse und Rutschungen) oder Geophone im Untergrund (z. B. für Muren) eingesetzt, um vor herannahenden Massenbewegungen warnen zu können. Auch eine Vorwarnzeit von einigen Sekunden reicht aus, um beispielsweise Gasventile an Häusern automatisch zu schließen, Strom rechtzeitig abzuschalten oder Zufahrtswege über Ampelschaltungen zu sperren und somit Schadenswirkungen zu minimieren.

Im Hinblick auf die Entstehung von Lawinen bedeutet Monitoring, dass die Entwicklung der Schneedecke durch regelmäßige standardisierte Beobachtung registriert und interpretiert wird. Als klassische Methode wird hierzu die Aufnahme von Schneeprofilen eingesetzt, bei der in einem standardisierten Verfahren in definierten Schneemessfeldern die Parameter Schneehöhe, Stratigraphie der Schneedecke, Korngröße und -form sowie Feuchte, Festigkeit und Dichte der jeweiligen Schichten aufgenommen wird. Daneben kommen in zunehmendem Maße automatische Messstationen zum Einsatz, die kontinuierlich die Entwicklung der Schneedecke aufzeichnen. Zusammen mit der Entwicklung der Großwetterlagen und der Witterung vor Ort benutzen die Lawinenkommissionen diese Daten zur Schneedecke, um die Lawinensituation beurteilen und die Öffentlichkeit entsprechend informieren zu können.

11.3.3 Raumplanung und Expertenkommissionen

Neben den klassischen ingenieurtechnischen und -biologischen Methoden sind es vor allem **raumplanerische Maßnahmen**, mit denen man heute versucht, die Auswirkungen von gravitativen Massenbewegungen und Schneelawinen im intensiv genutzten Raum zu reduzieren.

Infolge der Lawinenkatastrophen von denen zu Beginn der 1950er-Jahre weite Teile der Alpen betroffen waren, wurde 1954 in der Schweizer Gemeinde Gadmen der erste Lawinenzonenplan erlassen, wodurch erstmals ein alpiner Naturgefahrenprozess offiziell in der Raumplanung Berücksichtigung fand (Stötter et al. 1999). Seit den 1970er-Jahren gibt es in fast allen Alpenstaaten gesetzliche abgesicherte Konzepte zur Gefahrenzonenplanung (Kapitel 23), durch die je nach Gefährdung einer Fläche Verbote oder Gebote hinsichtlich der Nutzung erlassen werden können. Dabei muss jedoch einschränkend festgestellt werden, dass mit Ausnahme des Fürstentum Liechtenstein die Gefahrenzonenpläne keine direkte Rechtswirksamkeit haben. In der Regel besitzen sie den Charakter eines Fachplans oder Fachgutachtens, das auf der Ebene der gemeindlichen Raumplanung berücksichtigt werden soll.

In Österreich, wo seit 1975 offiziell Gefahrenzonenpläne ausgewiesen werden, sind „rote Lawinenzonen“ dadurch charakterisiert, dass »ihre ständige Benutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke wegen der voraussichtlichen Schadenswirkung des Bemessungsereignisses nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist« (ForstG 1975). Dagegen umfasst die „gelbe Lawinenzone“ alle Flächen, »deren ständige Benutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke beeinträchtigt ist« (ForstG 1975), wobei man versucht durch gezielte Bauauflagen mögliche Gebäudeschäden gering zu halten. Als wichtigstes Abgrenzungskriterium wird die durch Lawinen wirksame Kraft herangezogen, wobei bei über 10 kN/m² eine Fläche als rote, bei 1 kN/m² bis 10 kN/m² als gelbe Zone bezeichnet wird.

Während Lawinen in allen Konzepten enthalten sind, werden gravitative Massenbewegungen erst seit kürzerer Zeit z. B. in den neueren Konzepten in der Schweiz als Prozess analysiert und bewertet (Latelin 1997, Heinemann 1999). Dies liegt sicher auch in der Tatsache begründet, dass aufgrund der saisonalen Regelmäßigkeit und des häufigen Auftretens Lawinen in Zeitreihen relativ gut dokumentiert sind, wogegen gravitative Massenbewegungen durch

ihr eher episodisches Vorkommen statistisch sehr schlecht auswertbar sind.

Ein zentraler Beitrag zur Sicherung des Siedlungs-, Verkehrs- und intensiv genutzten Freizeitraums wird aber auch durch die Arbeit der **Lawinenkommissionen** in den Gemeinden geliefert. Ihre Aufgabe ist es, die Lawinensituation, d. h. Ort und Ausmaß der Lawinengefahr zu beurteilen und den Bürgermeister hinsichtlich angepasster Maßnahmen,

wie z. B. Sperrungen, Evakuierungen oder auch künstliche Auslösung von Lawinen, zu beraten. Auf regionalen und überregionalen Ebenen kommen zu diesen Maßnahmen die Informationen der Lawinenwarndienste, die durch ihre Bulletins während des ganzen Winters die Lawinensituation großräumig anhand einer inzwischen alpenweit harmonisierten Skala einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen (Kasten 11.1)

Kasten 11.1

Internationale Lawinengefahrenskala

Gefahrenstufe	<ul style="list-style-type: none"> • Schneedeckenstabilität • Lawinen-Auslösewahrscheinlichkeit • Auswirkungen für Verkehrswege und Siedlungen/Empfehlungen • Hinweise für Personen außerhalb gesicherter Zonen/Empfehlungen
1 gering (hellgrün)	<ul style="list-style-type: none"> • die Schneedecke ist allgemein gut verfestigt und stabil • Auslösung ist allgemein nur bei großer Zusatzbelastung an sehr wenigen, extremen Steilhängen möglich; spontan sind nur Rutsche und kleine Lawinen möglich • keine Gefährdung • allgemein sichere Verhältnisse
2 mäßig (gelb)	<ul style="list-style-type: none"> • die Schneedecke ist an einigen Steilhängen nur mäßig verfestigt, ansonsten allgemein gut verfestigt • Auslösung ist insbesondere bei großer Zusatzbelastung, vor allem an den angegebenen Steilhängen möglich; große spontane Lawinen sind nicht zu erwarten • kaum Gefährdung durch spontane Lawinen • mehrheitlich günstige Verhältnisse; vorsichtige Routenwahl, vor allem an Steilhängen der angegebenen Exposition und Höhenlage
3 erheblich (orange)	<ul style="list-style-type: none"> • die Schneedecke ist an vielen Steilhängen nur mäßig bis schwach verfestigt • Auslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung, vor allem an den angegebenen Steilhängen möglich; fallweise sind spontan einige mittlere, vereinzelt aber auch große Lawinen möglich • exponierte Teile vereinzelt gefährdet, dort sind teilweise Sicherheitsmaßnahmen zu empfehlen • teilweise ungünstige Verhältnisse; Erfahrung in der Lawinenbeurteilung erforderlich; Steilhänge der angegebenen Exposition und Höhenlage möglichst meiden
4 groß (rot)	<ul style="list-style-type: none"> • die Schneedecke ist an den meisten Steilhängen schwach verfestigt • Auslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung an zahlreichen Steilhängen wahrscheinlich; fallweise sind spontan viele mittlere, mehrfach auch große Lawinen zu erwarten • exponierte Teile mehrheitlich gefährdet, dort sind Sicherheitsmaßnahmen zu empfehlen • ungünstige Verhältnisse; viel Erfahrung in der Lawinenbeurteilung erforderlich; Beschränkung auf mäßig steiles Gelände/Lawinauslaufbereiche beachten
5 sehr groß (dunkelrot)	<ul style="list-style-type: none"> • die Schneedecke ist allgemein schwach verfestigt und weitgehend instabil • spontan sind viele große Lawinen, auch in mäßig steilem Gelände zu erwarten • akute Gefährdung, umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen • sehr ungünstige Verhältnisse; Verzicht empfohlen

11

11.4 Perspektiven zur Katastrophenvorsorge

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Genese können Frequenz und Magnitude von gravitativen Massenbewegungen und Lawinen mit sehr unterschiedlicher **räumlicher und zeitlicher Wahrscheinlichkeit** vorhergesagt werden. Bei gravitativen Massenbewegungen lässt sich zwar prinzipiell die Grunddisposition bei entsprechenden Untersuchungen gut erkennen (z. B. Kombination der Hanggeometrie, Bodensubstraten und Vegetation), aufgrund der eher als spontan zu bezeichnenden Auslösemechanismen ist aber die zeitliche Festlegung, wann es zum Ereignis kommt, nur sehr schwer vorhersehbar. Weiterhin ist eine Verortung zukünftiger Massenbewegungen nur begrenzt möglich. Zukünftig neu aktivierte Hangbereiche und heute noch nicht als aktiv gekennzeichnete Gebiete sind äußerst schwer vorhersehbar, aber auch für „fossile“ und rezent ruhende Rutschungen können nur sehr eingeschränkte Aussagen zur Stabilität bzw. Instabilität getätigt werden. Dies gilt zumal dann, wenn der Impuls für den Massenbewegungsprozess von einem Erdbeben ausgeht.

Aufgrund ihrer Saisonalität und der Vorgeschichte der Witterungssituation und/oder der Veränderungen in der Schneedecke ist die Entwicklung einer ungünstigen Lawinensituation oftmals recht gut beobachtbar. Wenngleich auch der exakte Zeitpunkt des Abgangs nicht voraussehbar sein kann, lässt sich die prinzipielle Gefährdung relativ gut abschätzen. Entscheidend ist hierbei, dass die potenziellen Lawinenbahnen bereits vorher bekannt sind und Maßnahmen zur Verhinderung von Katastrophen rechtzeitig eingeleitet werden können.

Perspektivisch muss bei den gravitativen Massenbewegungen und den Schneelawinen noch weiter an einer Auswahl von Bereichen weitergearbeitet werden. Dies betrifft besonders die folgenden Bereiche:

- Trennung der Grunddisposition, dem auslösenden Ereignis und den prozesskontrollierenden Faktoren.
- Stärkere Einbindung der zeitlichen und räumlichen Variabilität dieser Faktoren.
- Vertieftes Verständnis des Ablaufs des jeweiligen Prozesses.
- Monitoring-Programme für besonders gefährdete Gebiete.
- Detaillierte räumliche Darstellungen der Wahrscheinlichkeiten des Auftretens.
- Bessere Verknüpfung der eher natur- und ingenieurwissenschaftlichen Analysen in den gesellschaftlichen Entscheidungsprozess.

Zusammenfassung!!!!!!!

Schlüsselsätze

Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen sind natürliche geomorphologische Prozesse, die in Hochgebirgen in Abhängigkeit von den herrschenden Rahmenbedingungen häufig vorkommen können.

Im Gegensatz zu Schneelawinen beeinflussen gravitative Massenbewegungen auch ausgedehnte Bereiche in Mittelgebirgen und weitere Gebiete, z. B. Steilküsten.

Aufgrund der bewegten Masse und der Kräfte geht von beiden Prozessen eine große Schadenswirkung aus, die zur Zerstörung von Einzelobjekten bis hin zu ganzen Siedlungen sowie einer extremen Gefährdung von Menschenleben führen kann.

Im Umgang mit der Gefährdung kommen geotechnische und raumplanerische Maßnahmen zur Anwendung, um permanent die Risikosituation zu vermindern. Daneben bilden Methoden, die das Monitoring der potenziell schadenbringenden Entwicklungen erlauben, die Grundlage für temporäre Maßnahmen.

Literatur

- Cruden DM, Varnes DJ (1996) Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (Hrsg) *Landslides: investigation and mitigation*. National Academy Press, 36–75
- De Quervain M (1973) Eine Internationale Lawinenklassifikation. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* IX,1-2: 189–206
- Dikau R, Brunsden D, Schrott L, Ibsen M (Hrsg) (1996) *Landslide Recognition. Identification, movement and causes*. Wiley, New York
- Dufour F, Sovilla B, Bartelt P, Ottmer B, Badoux A (2006) Lawinenforschung im Vallée de la Sionne (VS). *tec* 21(8): 4–7
- Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Hrsg) (2000) *Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse*. Davos
- ForstG, Bundesgesetz, mit dem das Forstwesen geregelt wird, BGBl 1975/440
- Glade T (2005) Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology. *Geomorphology* 66: 189–213
- Glade T, Dikau R (2001) Gravitative Massenbewegungen – vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 145: 42–55
- Glade T, Kadereit A, Dikau R (2001) Landslides at the Tertiary escarpment of Rheinhessen, Southwest Germany. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Band* 125: 65–92
- Guzzetti F, Cardinali M, Reichenbach P, Cipolla F, Sebastiani C, Galli M, Salvati P (2004) Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology* 73: 229–245
- Heinmann HR (1999) Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren – Methode: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern
- LaChappelle ER (1969) *Field Guide to Snow Crystals*. Washington
- Land Tirol (Hrsg) (2000) *Lawinenhandbuch*. Innsbruck
- Latelin OJ (1997) Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
- Rammer L (2000) Lawindynamische Messanalyse „Großer Gröben“ Lawine vom 21. Feb. 2000. International Workshop Hazard Mapping in Avalanching Areas, 2 to 7 April 2000. St. Christoph/St. Anton – Tyrol – Austria. Proceedings, Salzburg. 211–223
- Rott H, Nagler T (2006) The contribution of radar interferometry to the assessment of landslide hazards. *Advances in Space Research* 37: 710–719
- Schild M (1972) *Lawinen*. Zürich
- Stötter J, Belitz K, Frisch U, Geist T, Maier M, Maukisch M (1999) Konzeptvorschlag zum Umgang mit Naturgefahren in der Gefahrenzonenplanung – Herausforderung an Praxis und Wissenschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit. Innsbrucker Geographische Gesellschaft, Jahresbericht. 30–59
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne, BGBl 1976/436
- Zimmermann M, Mani P, Romang H (1997) Magnitude-frequency aspects of alpine debris flows. *Eclogae Geologicae Helveticae* 90: 415–420