
15 Gravitative Massenbewegungen – Terminologie und Charakteristika

Thomas Glade und Christian Zangerl*

Zusammenfassung

Gravitative Massenbewegungen werden in unterschiedlichen Disziplinen verschieden definiert. In diesem Beitrag wird die grundlegend international akzeptierte und gut etablierte Definition unterschiedlicher Typen gravitativer Massenbewegungen mit den jeweiligen englischen Ausgangsbegriffen und den deutschen Übersetzungen vorgestellt. Anhand eines Beispiels wird darauf hingewiesen, dass auch diese Definition in Feinheiten weiterentwickelt wird. Exemplarische Photographien verdeutlichen diese Einteilung. Ein nationaler Überblick gibt die momentane allgemein verfügbare Kenntnis zur Verteilung gravitativer Massenbewegungen in Österreich. Der für gravitative Massenbewegungen besonders wichtige Aktivitätsstatus wird grundlegend unterschieden und in mit Geschwindigkeitsangaben versehenen Tabellen präsentiert. Die für die Prozessvorbereitung, -auslösung und -bewegung beeinflussenden Faktoren werden beschrieben. Abschließend werden Hinweise für Extremereignisse bedeutende Kontexte gegeben.

Abstract

Landslides are defined differently by various disciplines. Here, the basic internationally accepted and well established definition of different landslide types including the original English and the associated German terms are introduced. Based on an example it is highlighted that also this definition is further developed. Exemplary photographs enrich this classification. A national overview of the landslide distribution provides the currently known situation in Austria. The most important information on the activity status of landslides is presented in tables showing generally the different classes and specific velocity information. Preparatory, triggering and controlling factors influencing landslide movement are described. Finally, contexts crucial for extreme landslides are explored.

Kernaussagen

- Zur Vermeidung von terminologischen Verwirrungen wird vorgeschlagen, sich bei der Bearbeitung gravitativer Massenbewegungen an das international akzeptierte und etablierte Klassifikationsschemata von Cruden und Varnes (1996) zu orientieren.

* Thomas Glade, Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, thomas.glade@univie.ac.at.
Christian Zangerl, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Geologie, christian.j.zangerl@boku.ac.at.

- Gravitative Massenbewegungen können überall an gefährdeten Hanglagen in Österreich auftreten.
- Der Aktivitätsstatus mit den Informationen zu Verschiebungen, Klassifikationen und Geschwindigkeitszuordnungen ist sehr hilfreich zur Beschreibung von Extremereignissen.
- Untersuchungen müssen die unterschiedlichen vorbereitenden, auslösenden und kontrollierenden Faktoren berücksichtigen, die die Initiierung und Bewegung gravitativer Massenbewegungen bestimmen.
- Extreme gravitative Massenbewegungen sind in unterschiedlicher Ausprägung auf Veränderungen im Umweltsystem (z. B. Klimawandel) und im gesellschaftlichen System (z. B. Drainagen) zurückzuführen.

Key points

- To avoid terminological confusion it is suggested to follow the internationally well accepted and established classification system finally proposed by Cruden and Varnes (1996) in landslide research.
- Landslides can occur on any prone slopes in Austria.
- The knowledge on the status of activity including the information on deformation, the general classification of activity and attributed velocity classes is very helpful to describe extreme events.
- Investigation have to consider the preparatory, triggering and controlling factors determining the landslide movement.
- Extreme landslide are, to different extends, based on environmental (e. g. climate change) and societal (e. g. drainage) changes.

15.1 Hintergrund

Gravitative Massenbewegungen spielen global eine zentrale Rolle in unserer Umwelt. Sie treten überall dort auf, wo in der Topographie Höhenunterschiede vorliegen. Diese können in Gebirgen mehrere hundert, in den Hochgebirgen gar mehrere tausend Höhenmeter sein, aber es reichen auch oftmals nur wenige Meter Höhendifferenz damit sich Massenbewegungen bilden können (z. B. in Quicktonen). Ihr Auftreten wird folglich neben den Umweltfaktoren maßgeblich über das Relief bestimmt, gleichzeitig verändert ihr Auftreten auch die Topographie und damit auch die Ausgangskonditionen für zukünftige Bewegungen irreversibel. Wenn gravitative Massenbewegungen in bewohnten Gebieten auftreten sind direkte Konsequenzen für die betroffene Gesellschaft zu erwarten. Es können aber auch weiter entfernte Gesellschaften indirekt betroffen werden, beispielsweise durch unterbrochene Infrastruktur oder gestaute Flüsse.

Grundlegend können gravitative Massenbewegungen definiert werden als »bruchlose und bruchhafte hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fels und/oder Lockergesteinen unter Wirkung der Schwerkraft« (Dikau und Glade, 2002

S. 40, nach UNESCO-WP/WLI, 1993). Es ist offensichtlich, dass eine Vielzahl von Disziplinen sich mit den gravitativen Massenbewegungen beschäftigen, u. a. Ingenieurgeologie, Geomorphologie, Geotechnik, aber i. S. der Konsequenzen auch Wirtschaft, Raumplanung, Politik, etc. In allen Bereichen hat sich eine entsprechende Terminologie etabliert, die sich jeweils in einzelnen Disziplinen entwickelt hat und teilweise voneinander abweicht. Aus diesem Grund hat sich in 90er Jahren unter der UNESCO Schirmherrschaft die Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI) zusammen gefunden, um eine einheitliche Terminologie zu etablieren (UNESCO-WP/WLI, 1990, 1991, 1993a,b, 1994, 1995). In dieser Arbeitsgruppe waren Vertreterinnen und Vertreter aus den relevanten ingenieur- und naturwissenschaftlichen Disziplinen beteiligt, um sich auf eine international gültige Terminologie zu einigen. Die Ergebnisse dieser sehr erfolgreichen Initiative wurden von Cruden und Varnes (1996) und Dikau et al. (1996) aufgegriffen, weiter verfeinert und final präsentiert. Inzwischen gibt es auch einige aktuelle Vorschläge zu Ergänzungen (z. B. Hungr et al., 2014), aber das Grundkonzept blieb erhalten. Neben den bereits vorgeschlagenen Übersetzungen der Leitbegriffe in UNESCO-WP/WLI (1993b) und Dikau et al. (1996) wurden diese Vorschläge auch in der deutschen Sprache konkretisiert und in die Fachterminologie integriert (z. B. Dikau und Glade, 2002; Zangerl et al., 2008; Prinz und Strauß, 2011). Vor diesem Hintergrund erarbeitete auch die ÖROK (Österreichische Raumordnungskonferenz) Empfehlungen für das österreichische Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung (ÖROK, 2015).

Ziel dieses Beitrages ist es im Folgenden, diese international anerkannte Terminologie auf Basis der bereits existierenden Arbeiten zusammenzufassen, um hiermit eine Basis für die folgenden Beiträge 16 bis 19 zu den gravitativen Massenbewegungen zu geben. Auf Grund der Fülle an Begriffen, die z. T. unterschiedlich verwendet werden, sowie den unterschiedlichen Klassifikationssystemen, ist es nötig den Bewegungsmechanismus (Kinematik), das Material, die Aktivität (Geschwindigkeit) und die Geometrie (Ausdehnung, Mächtigkeit, Volumen) im Detail zu beschreiben.

15.2 Typen gravitativer Massenbewegungen

Grundlegend werden die gravitativen Massenbewegungen in unterschiedliche Typen eingeteilt, wobei die Kriterien hierbei immer eine Kombination aus dem Material und dem Bewegungsprozess (Bewegungsmechanismus, Kinematik) darstellt. Nach Cruden und Varnes (1996) kann die bewegte Masse in die zwei Hauptklassen Fest- und Lockergestein (Boden) eingeteilt werden, wobei die Lockergesteine auf Grund ihrer unterschiedlichen geomechanischen Eigen-

schaften in eine vorwiegend grobkörnige Kornfraktion (Schutt (engl. debris), 20–80 % > als 2 mm) und eine vorwiegend feinkörnige Kornfraktion (Boden (engl. earth), 80–100 % < als 2 mm) gegliedert werden. Entsprechend UNESCO-WP/WLI (1993b) und Cruden und Varnes (1996) werden die Bewegungsmechanismen grundlegend in Fall-, Kipp-, Drift-, Fließ- und Gleitprozesse, sowie komplexe Abläufe unterschieden (Tabelle 01).

Tabelle 01: Gravitative Massenbewegungen typisiert nach Material und Bewegungsmechanismen.

Table 01: Landslide classification system based on material and type of movement.

Quelle: Dikau und Glade, 2002

Material (material)	Festgestein (rock)	Schutt (debris)	Boden (earth)
Be- wegungs- Mechanismus (mechanism of movement)			
Fallen (<i>fall</i>)	Stein- und Blockschlag; Felssturz (<i>rock falls</i>)	Fallen von Schutt (<i>debris fall</i>)	Fallen von Bodenmaterial (<i>earth fall</i>)
Kippen (<i>topple</i>)	Blockkippen; Biegekippen; Felskippen (<i>rock topple</i>)	Kippung von Schutt (<i>debris topple</i>)	Kippung von Bodenmaterial (<i>earth topple</i>)
Gleiten/ Rutschen Rotationsbew. (<i>rotational slide</i>)	Rotationsrut- schung/-glei- tung (<i>rotational slide (slump)</i>)	Rotationsrutschung (<i>rotational debris slide</i>)	Rotationsrutschung (<i>rotational earth slide</i>)
Gleiten/Rutschen Translationsbew. (<i>translational slide</i>)	Fels-, Blockgleitung (<i>translational rock slide</i>)	Schuttrutschung, -strom (<i>translational debris slide</i>)	Blattanbruch, Gras- narbenrutschung (<i>translational earth slide</i>)
Driften (<i>spreads</i>)	Felsdrift (<i>rock spread</i>)	Schuttdriften (<i>debris spread</i>)	Bodendriften, häufig mit Bodenverflüssi- gung; Bewegung in Quickton (<i>earth spread</i>)
Fließen (<i>flow</i>)	Felsfließen, -lawine; (Tälzuschub, Sackung) (<i>rock flow / deep creep</i>)	Mure, Murgang; Schuttstrom (<i>debris flow</i>); Schuttlawine (<i>debris avalanche</i>)	Erd-/Schlamm- strom (<i>earth/mud flow</i>); soil creep); Sandfließen (<i>sand flow</i>); Torfstrom (<i>peat flow</i>)

((Fortsetzung))

Material (<i>material</i>)	Festgestein (<i>rock</i>)	Schutt (<i>debris</i>)	Boden (<i>earth</i>)
Be- wegungs- Mechanismus (<i>mechanism of movement</i>)			
Komplex (<i>complex</i>)	Sturzstrom; Bergsturz; Bergzerreißung; Großhangdeformation (<i>slope deformation</i>)	Tiefgründige Hangdeformation (<i>slope deformation</i>)	Flachgründiges Bodenkriechen (<i>shallow soil creep</i>)
	Kombination von zwei oder mehr unterschiedlicher Typen (<i>Combination of two or more principle types of movement</i>)		

Hungr et al. (2014) erweitern diese Unterteilung auf Basis geotechnischer und ingenieurgeologischer Kriterien und führen eine sehr detaillierte Unterteilung der Lockergesteine in die fünf Lockergesteinstypen Ton (engl. clay), Schlamm (engl. mud), Schluff, Sand, Kies, Steine und Blöcke (engl. silt, sand, gravel, boulders), Schutt (engl. debris) und Torf (engl. peat) ein (Tabelle 02). Des Weiteren integrieren sie in ihren Vorschlag den Prozesstypen der Solifluktion (engl. solifluction). Per Definition ist dieser Prozesstyp jedoch gebunden an eine Auftauschicht im Permafrost, weshalb die grundlegende, bereits vorher dargestellte Definition der gravitativen Massenbewegungen hierfür nicht mehr korrekt ist. Zusätzlich verzichten Hungr et al. (2014) auf die Kategorie »Komplexe Bewegung« und erweitern den Grundtyp der Hangdeformation (engl. slope deformation). Dieser beschreibt extrem bis sehr langsame z. T. sehr große Massenbewegungen in Fest- und Lockergesteinen (Tabelle 02). Zusätzlich schlagen sie vor, dass Blockstürze, sowie kleinvolumige Felsstürze dem Prozess Stürzen/Fallen zugeordnet werden sollen, während größere Ereignisse mit ausgeprägter dynamischer Interaktion der Gesteinsfragmente dem Fließen zuzuordnen sind (z. B. Felslawine, Sturzstrom). Inwieweit diese neue Gliederung in Zukunft angenommen und sich durchsetzen wird, bleibt abzuwarten.

Tabelle 02: Überarbeitete Typisierung gravitativer Massenbewegungen basierend auf Material und Bewegungsmechanismus.

Table 02: Revised landslide classification system based on material and mechanism of movement.

Quelle: modifiziert nach Hungr et al., 2014

Bewegungs- mechanismus	Festgestein	Lockergestein
Fallen, Stürzen (<i>fall</i>)	Stein- und Blockschlag, kleinvolumiger Felssturz (<i>rock fall</i>)	Fallen/Stürzen von Lockergestein (<i>boulder/ debris/ silt fall</i>)
Kippen (<i>topple</i>)	Blockkippen (<i>rock block topple</i>) Biegekippen (<i>rock flexural topple</i>)	Blockkippen von Lockergestein (<i>gravel/ sand/ silt/ topple</i>)
Gleiten (<i>slide</i>)	Rotationsgleitung in Festgestein (<i>rock rotational slide</i>) Translationsgleitung in Festgestein (<i>rock planar slide</i>) Keilförmige Felsgleitung (<i>rock wedge slide</i>) Tiefgründige Felsgleitung mit ausgeprägter Interndeformation (<i>rock compound slide</i>) Felsgleitung mit unregelmäßig ausgebildetem Ablösehorizont (<i>rock irregular slide</i>)	Rotationsgleitung in feinkörnigem Lockergestein (<i>clay/ silt rotational slide</i>) Translationsgleitung in feinkörnigem Lockergestein (<i>clay/ silt planar slide</i>) Schuttgleitung (<i>gravel/ sand/ debris slide</i>) Feinkörnige Lockergesteinsgleitung mit ausgeprägter Interndeformation (<i>clay/ silt compound slide</i>)
Driften, Zergleiten (<i>spread</i>)	Driften, Zergleiten von Festgestein (<i>rock slope spread</i>)	Driften in feinkörnigem Lockergestein durch Bodenverflüssigung (<i>sand/ silt liquefaction spread</i>) Driften in Quickton (<i>sensitive clay spread</i>)
Fließen (<i>flow</i>)	Felslawine (<i>rock avalanche</i>)	Sand-/ Schluff- oder Schutt-Strom (<i>dry sand/ silt/ debris flow</i>) Sand-/Schluff- oder Schutt- Fließrutschung (<i>sand/ silt/ debris flowslide</i>) Quickton- Fließrutschung (<i>sensitive clay flowslide</i>) Murgang (<i>debris flow</i>) Schlammstrom (<i>mud flow</i>) Schuttlawine (<i>debris avalanche</i>) Erdstrom (<i>earth flow</i>) Torfstrom (<i>peat flow</i>)
Hang- deformation (<i>slope deformation</i>)	Großhangdeformation in Festgestein (<i>mountain slope deformation</i>) Hangdeformation in Festgestein (<i>rock slope deformation</i>)	Tiefgründige Hangdeformation in Lockergestein (<i>soil slope deformation</i>) Flachgründiges Bodenkriechen (<i>soil creep</i>)

Es ist evident, dass ein Großteil der real auftretenden gravitativen Massenbewegungen nicht nur einem Bewegungs- und Materialtyp entsprechen. Meist sind es Kombinationen von Prozessen und Materialien, z. B. startet die Bewegung im Quellgebiet mit einer Rotationsrutschung aus intakten Schollen, die sich im Bewegungsablauf zerkleinern, gegebenenfalls Wasser aufnehmen und sich dann zu Fließprozessen mit hohem Feinmaterialanteil entwickeln können. Diese können große Reichweiten erreichen. Trotzdem ist es hilfreich, sich dieser Grobeinteilung bewusst zu sein, um dann die jeweils individuelle gravitative Massenbewegung nach dem vorherrschenden Material und Bewegungsmechanismus zu klassifizieren. Einige zentrale Bewegungsmechanismen sind in Abbildung 01 dargestellt. Verschiedene Beispiele unterschiedlicher Typen gravitativer Massenbewegungen finden sich in Abbildung 02.

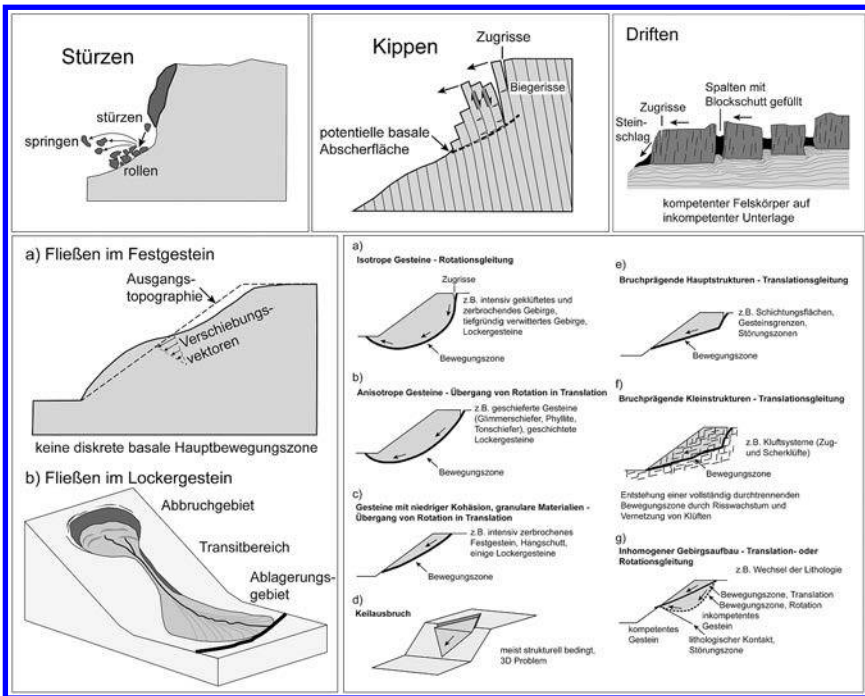


Abbildung 01: Unterschiedliche Bewegungsmechanismen gravitativer Massenbewegungen (tabellarische Übersicht siehe Tabelle 01 und 02).

Figure 01: Different movement mechanisms of landslides (listed in Table 01 and 02).

Quelle: nach Zangerl et al., 2008

In Österreich treten alle unterschiedlichsten Typen gravitativer Massenbewegungen auf. Leider liegen Informationen zur Lokalität, dem Typ der gravitativen Massenbewegung und der entsprechend Detailinformationen nur sehr spärlich

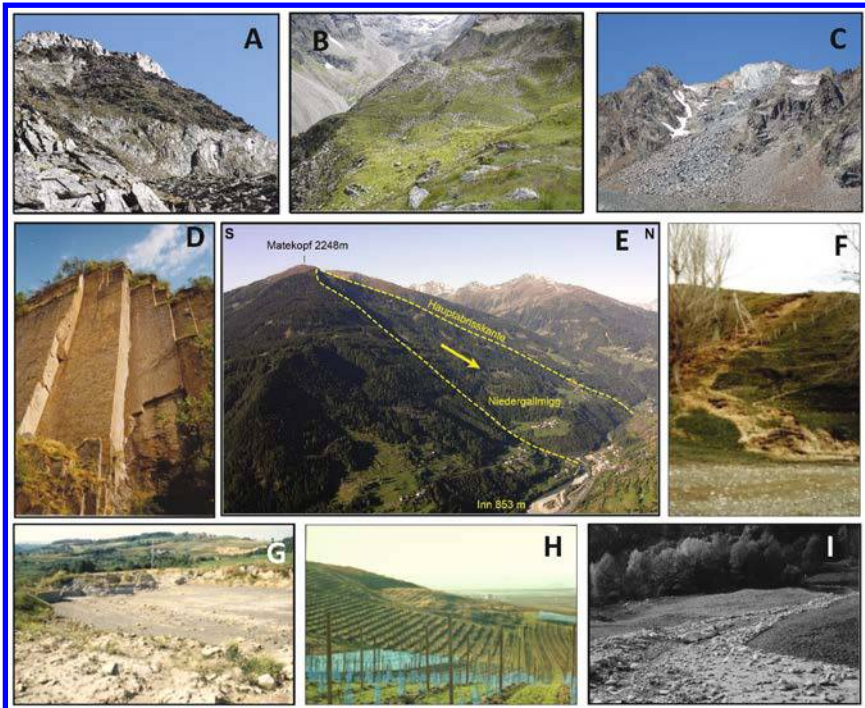


Abbildung 02: Unterschiedliche Typen gravitativer Massenbewegungen, A) Biegekippen, AUT; B) Bergzerreißung, Brand, AUT; C) Felslawine Luibiskogel, AUT; D) Felskippping, Ahrtal, DE; E) Felsgleitung Niedergallmig, AUT; F) Bodenfließen, Wairarapa, NZ; G) Translationsrutschung, Piemonte, I; H) Rotationsrutschung, Rheinhessen, DE; I) Mure, CH.

Figure 02: Case studies of different landslide types: A) Flexural toppling in schist and gneisses, AUT; B) Rock slope deformation, Brand, AUT; C) Rock avalanche Luibiskogel, AUT; D) Block toppling, Ahrtal, DE; E) Rock compound slide, Niedergallmig, AUT; F) Earth flow, Wairarapa, NZ; G) Translational slide, Piemonte, I; H) Rotational slide, Rheinhessen, DE; I) Debris flow, CH. *Quelle:* A) C. Zangerl, B) C. Zangerl, C) C. Zangerl, D) T. Glade, E) C. Zangerl, F) T. Glade, G) R. Dikau, H) T. Glade, I) H. Gärtner

vor. Solche Daten liegen häufig in den jeweiligen Behörden, bei Universitäten oder bei Ingenieurbüros vor, sind jedoch nicht immer allgemein verfügbar. Die Geologische Bundesanstalt GBA verfolgt das Ziel, die verfügbaren Informationen zentral in einer Prozessdatenbank zusammenzuführen. Hierbei werden die einzelnen Prozessstypen in Prozessgruppen zusammengefasst und gespeichert. Diese Datenbank wurde und wird im Rahmen des Schwerpunktprogrammes GEORIOS (GEORIsiken OeSTERreich), welches seitens des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung finanziert wird, bearbeitet. Der Bestand vom Oktober 2019 ist in Abbildung 03 präsentiert. Eine Auswahl von Prozessen gravitativer Massenbewegungen wird im Beitrag 16 zu *Felsgleitung, Felslawine und Erd-/ Schuttstrom*, Beitrag 17 zu *Steinschlag und Felssturz*, Bei-

trag 18 zu *Hangrutschungen und Hangmuren* und Beitrag 19 zu *Muren* vorgestellt.

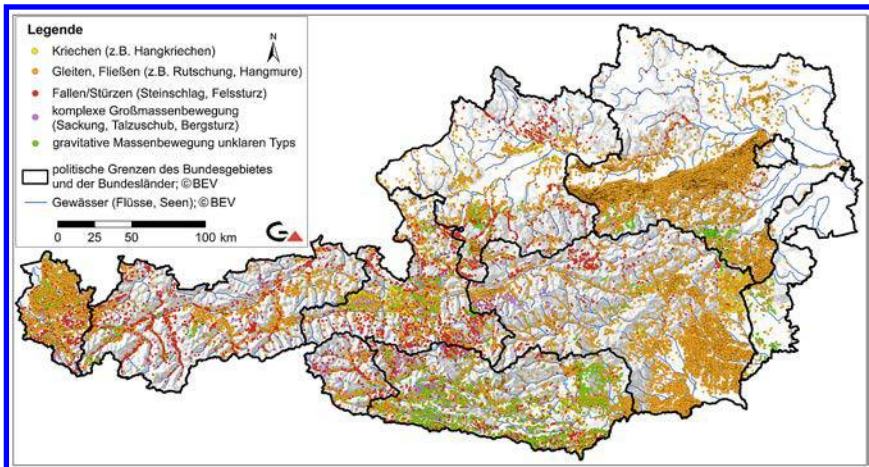


Abbildung 03: Verteilung der verfügbaren Informationen über unterschiedliche gravitative Massenbewegungen in Österreich. Hinweis: Aus einem Punkt kann weder eine Frequenz noch eine Magnitudeninformation abgeleitet werden, nur die räumliche Verortung ist gegeben.

Figure 03: Distribution of the available information on different landslide types in Austria. Note: It is not possible to delineate any landslide frequency and magnitude information from any point, only the spatial location is provided.

Quelle: Auszug der Prozessdatenbank GEORIOS mit Stand Okt. 2019 der Geologischen Bundesanstalt. Darstellungsgrundlagen: Politische Grenzen, Gewässer und Reliefschattenbild © BEV

15.3 Aktivitätsstatus gravitativer Massenbewegungen

Der Aktivitätsstatus ist essentiell für jede Betrachtung des momentanen Zustandes einer gravitativen Massenbewegung. In Anlehnung an die UNESCO-WP/WLI (1993a, 1995) und Cruden und Varnes (1996) können zur Beschreibung des Aktivitätsstatus von gravitativen Massenbewegungen acht Aktivitätszustände unterschieden werden (Tabelle 03).

Gerade im Hinblick auf Extremereignisse ist die Einordnung des Aktivitätsstatus von großer Bedeutung. Diese acht Klassen können in die drei Hauptklassen aktiv, momentan inaktiv und dauerhaft inaktiv gegliedert werden. »Aktiv« bedeutet, dass das entsprechende Objekt aktuell in Bewegung ist, seien es wenige Zentimeter im Jahr oder eben schnell mit mehreren Metern pro Sekunde (Klasse 1 und 2). Unter »momentan inaktiv« werden alle gravitativen Massenbewegungen charakterisiert, die momentan nicht in Bewegung sind.

Dazu zählen Massenbewegungen die i) sich innerhalb der letzten 12 Monate nicht bewegt hatten, ii) im letzten jährlichen Zyklus zwar bewegt hatten, jedoch aktuell keine Bewegungen mehr zeigen oder iii) im Moment inaktiv sind, jedoch durch geänderte Einflussfaktoren wieder reaktiviert werden können (Klasse 3, 4 und 5). Die dritte Hauptklasse beinhaltet alle inaktive Massenbewegungen, die i) nicht mehr durch die ursprünglichen Faktoren reaktiviert werden können, ii) durch Sanierungsmaßnahmen stabilisiert wurden oder iii) unter anderen geomorphologischen bzw. klimatischen Bedingungen entstanden sind (Klasse 6, 7 und 8). Diese inaktiven Massenbewegungen erreichten einen Zustand, bei dem die Bewegungen abgeschlossen sind und es auch keine Indizien gibt, dass diese wieder initiiert werden.

Tabelle 03: Aktivitätsstadien gravitativer Massenbewegungen.

Table 03: State of landslide activity.

Quelle: Cruden und Varnes, 1996

Klasse	Aktivitätsstatus	Beschreibung
1	Aktiv (<i>active</i>)	Massenbewegung, die gegenwärtig in Bewegung ist
2	Reaktiviert (<i>reactivated</i>)	Massenbewegung, die nach einer inaktiven Phase gegenwärtig wieder aktiv ist
3	Inaktiv (<i>inactive</i>)	Massenbewegung, die sich innerhalb der letzten 12 Monate nicht bewegt hat
4	Blockiert (<i>suspended</i>)	Massenbewegung, die sich im letzten jährlichen Zyklus bewegt hat, aber im Moment inaktiv ist
5	Latent (<i>dormant</i>)	Inaktive Massenbewegung, die durch geänderte Einflussfaktoren wieder reaktiviert werden kann
6	Abgeschlossen (<i>abandoned</i>)	Inaktive Massenbewegung, die nicht mehr von ihren ursprünglichen Faktoren beeinflusst wird
7	Stabilisiert (<i>stabilized</i>)	Inaktive Massenbewegung, deren Bewegung durch Sanierungsmaßnahmen reduziert bzw. beendet wurde
8	Relikt, fossil (<i>relict, fossil</i>)	Inaktive Massenbewegung, die unter anderen geomorphologischen bzw. klimatischen Bedingungen entstanden ist und aktuell die Landschaft prägt

Bei aktiven gravitativen Massenbewegungen muss in verschiedene Geschwindigkeitsklassen unterschieden werden. Diese wurden von Varnes (1954, 1978) erstmals erfasst, durch UNESCO-WP/WLI (1993a, 1995) vereinheitlicht und in folgenden Beiträgen übernommen (z. B. Cruden und Varnes, 1996; Glade und Stötter, 2007; Bell et al., 2010). Zangerl et al. (2008) ordneten den unterschiedlichen Bewegungsklassen eine Geschwindigkeit für die verschiedenen Arten der Bewegung zu und schlugen eine Beschreibung jeder Klasse vor (Abbildung 04).

Klasse	Beschreibung	Geschwindigkeit	Art der Bewegung					
			Fallen	Kippen	Gleiten	Fließen	Driften	Hangdeformation
7	extrem rasch	5×10^3 mm/s	■	■	■	■		
6	sehr rasch	5 m/s	■				■	
5	rasch	5×10^1 mm/s 3 m/min						
4	mäßig	5×10^{-1} mm/s 1,8 m/h						
3	langsam	5×10^{-3} mm/s 158 m/a						
2	sehr langsam	5×10^{-5} mm/s 1,6 m/a						
1	extrem langsam	5×10^{-7} mm/s 16 mm/a						■

Abbildung 04: Geschwindigkeitsklassen gravitativer Massenbewegungen.

Figure 04: Landslide velocity classes.

Quelle: nach Zangerl et al., 2008

Es ist offensichtlich, dass eine Bewegung unabhängig von der Art, bzw. des Typs einer gravitativen Massenbewegung unterschiedlich im zeitlichen Ablauf stattfindet. Einige der unterschiedlichen Bewegungsverläufe sind in der Abbildung 05 dargestellt. Grundlegend können die Verschiebungen A) in eine langsame Grundaktivität mit periodischen Beschleunigungsphasen, B) in eine beschleunigte Bewegung mit Bruch und entweder Übergang in einen anderen meist schnellen Bewegungsmechanismus (z. B. Felslawine) oder in eine Stabilisierungsphase (z. B. Rutschung), C) in eine langsam stabilisierende Bewegung mit ursprünglich schnellen Initialbewegungen und D) in den sehr raschen Übergang in ein Bruchstadium mit anschließend schneller Bewegung und Stabilisierung unterteilt werden. Selbstverständlich gibt es auch alle erdenklichen weiteren Kombinationen, denn der eigentliche zeitliche Verlauf hängt von den beeinflussenden Faktoren ab, die im folgenden Kapitel erläutert werden.

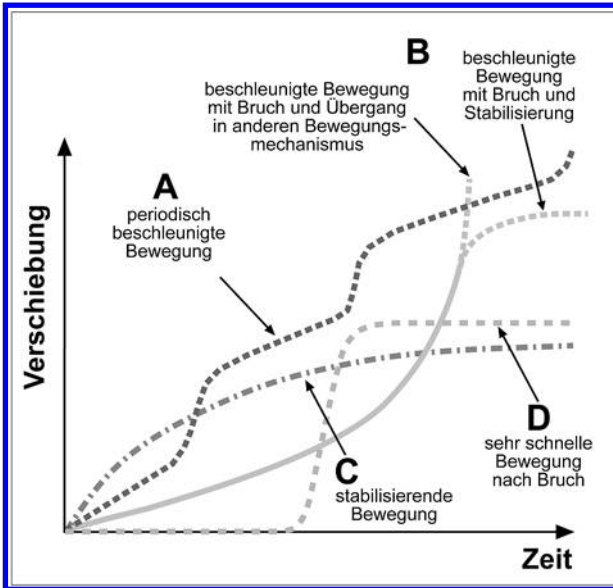


Abbildung 05: Schematische zeitliche Veränderung der Verschiebung: A) Langsame Grundaktivität mit periodischen Beschleunigungsphasen, B) beschleunigte Bewegung mit Bruch und entweder Übergang in einen anderen meist schnellen Bewegungsmechanismus oder in eine Stabilisierungsphase, C) in eine sich langsam stabilisierende Bewegung nach einer sehr schnellen Initialbewegung, D) sehr rascher Übergang in ein Bruchstadium mit anschließend schneller Bewegung und anschließender Stabilisierung.

Figure 05: Schematic temporal change of displacement: A) slow basic activity with periodic acceleration phases, B) accelerated movement with failure and either change of the type of movement to rapid landslides or stabilisation, C) advancing stabilisation after an initial high activity phase, D) slope failure followed by fast movement and stabilisation.

15.4 Beeinflussende Faktoren

In diesem Kontext sind natürlich auch die bewegungsdeterminierenden Faktoren entscheidend. Basierend auf Crozier (1989) wird hierbei ein Hangsystem in vorbereitende, auslösende und kontrollierende Faktoren eingeteilt (Abbildung 06).

Die grundlegende Disposition ergibt sich aus der Kombination der vorbereitenden und der auslösenden Faktoren. Unter den vorbereitenden Faktoren fallen beispielsweise die Topographie (z. B. Hangneigung, Hanglänge, Exposition), die Eigenschaften der Fest- und Lockergesteine, die Vegetation und die Hanghydrologie bzw. Hydrogeologie. Die auslösenden Faktoren umfassen besonders die hydrometeorologischen Gegebenheiten (z. B. Starkregen, Schneeschmelze), seismische Impulse durch Erdbeben, aber auch menschliche Ein-

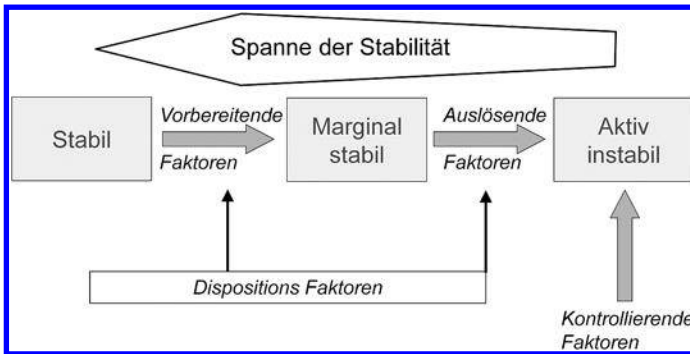


Abbildung 06: Die Spanne der Hangstabilität in Bezug zu den unterschiedlichen vorbereitenden, auslösenden und kontrollierenden Faktoren.

Figure 06: The span of stability in relation to the different preparatory, triggering and controlling factors.

Quelle: Glade und Crozier, 2005, basierend auf Crozier, 1989

flüsse wie z. B. Sprengungen. Die kontrollierenden Faktoren determinieren den Bewegungsablauf der ausgelösten Massenbewegung. Eine Übersicht der unterschiedlichen Faktoren in Bezug auf unterschiedliche Charakteristika ist in Tabelle 04 zusammengefasst.

Tabelle 04: Übersicht unterschiedlicher vorbereitender, auslösender und kontrollierender Faktoren in Bezug auf verschiedene Charakteristika.

Table 04: Overview of different preparational, triggering and controlling factors in context with different characteristics.

Quelle: Dikau und Glade

Ursache	vorbereitende Faktoren (Disposition)	auslösende Faktoren (Trigger)	Bewegungs-kontrollierende Faktoren
Geologie	Diskontinuität ¹ (z. B. Schichtung, Schieferung, Klüfte, Störungen) Verwitterung Isostasie	Erdbeben Vulkanausbrüche	Gesteinstypen Diskontinuität ¹ (z. B. Schichtung, Schieferung, Klüfte, Störungen)
Klima	langanhaltender Vorregen Schneesmelze Frost-Tau Zyklen	Niederschlag ¹ (Intensität, Menge) schnelle Schneeschmelze	Niederschlag (Intensität, Menge)

((Fortsetzung))

Ursache	vorbereitende Faktoren (Disposition)	auslösende Faktoren (Trigger)	Bewegungs-kontrollierende Faktoren
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	auftauender 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 Staudambau Entfernung des Hangfußes Belastung des Oberhangs Bewässerung Bergbau künstliche Bewegung (z. B. Sprengung) undichte Wasserversorgung	Hanganschnitte ¹ Hangunterschneidung ¹ Auflast ¹	Künstliche Verbauung Dämme Gerinnebegradigung, -verkleinerung, -vergrößerung

¹ diese Faktoren können, je nach Stabilitätszustand des Hanges, sowohl vorbereitend, auslösend als auch kontrollierend wirken

15.5 Bedeutung für Extreme

Gerade im Hinblick auf extreme Ereignisse muss das Auftreten von gravitativen Massenbewegungen sehr differenziert betrachtet werden. Das »Extreme« kann gesehen werden im Kontext der bewegten Masse (z. B. Mio. m³), der Bewegungsgeschwindigkeit (z. B. m/s) oder eben auch in Bezug auf die direkten oder indirekten Konsequenzen (z. B. verschüttete Siedlung oder unterbrochene Verkehrswege). Häufig müssen hier auch die potenziellen Konsequenzen im

Sinne von Kaskadeneffekten berücksichtigt werden (z. B. ausbrechende Seen, die sich auf Grund großer tiefgründiger Massenbewegungen gebildet hatten oder Mure nach einer Lockergesteinsrutschung, die das Gerinne erreichte). Nicht zu vergessen sind auch die potenziellen Einflüsse der Gesellschaft auf die Hangstabilität, beispielsweise durch die direkte Modifikation der Geländeoberfläche (z. B. im Rahmen von Flurbereinigung) oder durch die indirekte Veränderung der Hanghydrologie und -hydrogeologie über Drainagen.

Auf Basis dieser grundlegenden Einführung in die unterschiedlichen Aspekte der gravitativen Massenbewegungen werden in den folgenden Hauptkapiteln Beispiele aus dem österreichischen Alpenraum präsentiert. Besonders der Klimawandel verändert den Gebirgsraum nachhaltig, wobei grundlegende Arbeiten zu den zukünftig zu erwartenden Veränderungen bei gravitativen Massenbewegungen darauf hinweisen, dass – trotz klarer Tendenzen – Zusammenhänge zwischen Klimawandel und verändertem Auftreten gravitativer Massenbewegungen bisher noch nicht uneindeutig festzustellen sind. Dies führt zu großen Unsicherheiten, die darauf begründet sind, dass sich die verschiedenen vorbereitenden, auslösenden und bewegungskontrollierenden Faktoren überlagern, d. h. dass auch anthropogene Veränderungen über Drainagen oder Landnutzungsänderungen massive Veränderungen in den Hangsystemen hervorrufen – und sich deshalb geändertem Prozessgeschehen nicht uneindeutig auf den Klimawandel zurückführen lassen (siehe u. a. Glade et al., 2014, 2017).

»Extreme« gravitative Massenbewegungen können hierbei aus ganz unterschiedlichen Kontexten auftreten – den entsprechenden Wissenstand wird in den folgenden Beiträgen für die unterschiedlichen Bewegungsmechanismen der gravitativen Massenbewegungen (Beitrag 16 zu *Felsgleitungen, Felslawinen und Erd-/Schuttströme*; Beitrag 17 zu *Steinschlag und Felssturz*; Beitrag 18 zu *Hangrutschungen und Hangmuren*; Beitrag 19 zu *Muren*) erläutert.

Literatur

- Bell, R., Mayer, J., Greiving, S., Glade, T., 2010. Zur Bedeutung eines integrativen Frühwarnsystems für gravitative Massenbewegungen. In: R. Bell, J. Mayer, S. Greiving, T. Glade (Hrsg.), *Integrative Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung*. Klartet Verlag, Essen, S. 11–16.
- Crozier, M.J., 1989. *Landslides: Causes, consequences and environment*. Routledge, 252 S.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. *Landslide types and processes*. In: A.K. Turner, R.L. Schuster (Hrsg.), *Landslides: Investigation and mitigation. Special Report 247*. Washington, D.C., S. 36–75.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen, M. (Hrsg.), 1996. *Landslide Recognition. Identification, movement and causes*. Chichester, Wiley.

- Dikau, R., Glade, T., 2002. Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. *Geographische Rundschau* 54(1), S. 38–45.
- Glade, T., Bell, R., Dobesberger, P., Embleton-Hamman, C., Fromm, R., Fuchs, S., Hagen, K., Hübl, J., Lieb, G., Otto, J.-C., Perzl, F., Peticzka, R., Pranger, C., Samimi, C., Sass, O., Schöner, W., Schröter, D., Schrott, L., Zangerl, C., Zeidler, A., 2014. Der Einfluss des Klimawandels auf die Reliefsphäre. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (Hrsg.), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, S. 557–600.
- Glade, T., Crozier, M.J., 2005. The nature of landslide hazard impact. In: T. Glade, M.G. Anderson, M.J. Crozier. (Hrsg.), *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester S. 43–74.
- Glade, T., Stötter, H., 2007. Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen. In: C. Felgentreff, T. Glade (Hrsg.), *Naturrisiken und Sozialkatastrophen*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, S. 151–163.
- Glade, T., Hoffmann, P., Thonicke, K., 2017. Dürre, Waldbrände, gravitative Massenbewegungen und andere Naturgefahren. In: G. Brasseur, D. Jacob, S. Schuck-Zöllner (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland*, S. 111–121.
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194.
- ÖROK (Hrsg.), 2015. Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung. ÖROK Schriftreihe 193, Wien.
- Prinz, H., Strauß, R., 2011. *Ingenieurgeologie*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 838 S.
- UNESCO-WP/WLI, 1990. A suggested method for a reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, S. 5–12.
- UNESCO-WP/WLI, 1991. A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, S. 101–110.
- UNESCO-WP/WLI, 1993a. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47, S. 53–57.
- UNESCO-WP/WLI, 1993b. *Multilingual Landslide Glossary*. International Geotechnical Societies. UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, BiTech Publishers Ltd.
- UNESCO-WP/WLI, 1994. A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50, S. 71–74.
- UNESCO-WP/WLI, 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 52, S. 75–78.
- Varnes, D.J., 1954. Landslide types and processes. In: E.B. Eckel (Hrsg.), *Landslides and engineering practice*. Special report 28. Highway research board. National Academy of Sciences, Washington, D.C., S. 20–47.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: R.L. Schuster, R.J. Krizek. (Hrsg.), *Landslides, analysis and control*. Special report 176. Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., S. 11–33.
- Zangerl, C., Prager, C., Brandner, R., Brückl, E., Eder, S., Fellin, W., Tentschert, E., Poscher, G., Schönlaub, H., 2008. Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen. *Geo.Alp*, 5, S. 1–51.