

Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen

Michael LOTTER & Alexandra HABERLER

1. Geogene Naturgefahren in Österreich

Österreich ist ein Land mit einer erdgeschichtlich überwiegend jungen und fortlaufenden Reliefentwicklung, bedingt durch die alpidische Gebirgsbildung wie auch durch die damit verknüpften Folgen der klimatischen Entwicklung im Quartär (eiszeitliche und postglaziale Überprägung). Das daraus resultierende alpine Relief und die damit zusammenhängende Landschaftsentwicklung des alpinen Vorlandes sind die wichtigsten Grundvoraussetzungen für eine naturgegeben hohe Disposition für geogene Naturgefahren.

In erster Linie sind hier die gravitativen Massenbewegungen (z. B. Felssturz, Steinschlag, Rutschungen, Hangmuren, Kriechmassen/Sackungen) zu nennen, die nicht nur in den Ost- und Südalpen, sondern auch in der Böhmisches Masse und in der Hügellandschaft der inner- und randalpinen Tertiärgebiete (z. B. Teile der Molassezone, Steirisches Becken) eine wesentliche gefahrenrelevante Prozessgruppe darstellen.

Aber auch andere natürliche Phänomene und Prozesse stehen direkt mit dem geologischen und tektonischen Bau unserer Landschaft im Kontext. Diese können zudem einen ursächlichen Einfluss auf gravitative Massenbewegungen haben.

Dazu gehören vor allem die seismisch aktiven Zonen entlang der großen Störungssysteme in den Ostalpen (v. a. Inntal, Lavanttal, Ennstal, Mur-/Mürztal), die Grenze zum Südalpin in den Karawanken (Periadriatisches Lineament), aber auch außeralpine Zonen wie die Störungssysteme im südlichen Wiener Becken oder am Ostrand der Böhmisches Masse (Dien-dorfer Störung). Neben durchaus häufigen leichten Erdbeben können sich, zwar eher selten, gerade auch in Niederösterreich stärkere Erdbeben ereignen (z. B. Schwadorf 1927, Seebenstein 1972; siehe auch die Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: www.zamg.ac.at). Diese können, neben den primär durch die Erdbebenwellen verursachten Schäden, gravitative Massenbewegungen induzieren bzw. unmittelbar auslösen, wie z. B. beim Puchberg-Erdbeben 1939 (Felssturz Losenheim; HAMMERL & LENHARDT, 1997) oder bei den bekannten Beispielen der Friaul-Starkbeben von 1348 (Dobratisch-Bergsturz Rote Wand; GÖRLICH et al., 1948, ROHR, 2007, TILL, 1907) und von 1976 (zahlreiche, meist kleinere Felsstürze auch im Grenzgebiet zu Kärnten).

Eine weitere, direkt geologisch bedingte Naturgefahr ist die Erdfall-Problematik durch physikalische oder chemische Verwitterungsprozesse im Untergrund. So ist z. B. im Westen Österreichs – im Tiroler Außerfern wie auch im Unterinntal – die Auslaugung gipsführender Gesteine („Gipskarst“) von durchaus baugeologischer Brisanz. Rein anthropogen bedingt hingegen ist die Tagbruch-Problematik von Stollen und Hohlräumen als Folge bergmännischer Abbaue, wobei auch diese die Entwicklung gravitativer Massenbewegungen in vielfältiger Weise begünstigen können.

Nur mittelbar mit den geologischen Verhältnissen in Verbindung stehen rein Wetter- bzw. Klima-induzierte Naturgefahren wie Hochwasser-, Sturm- und Lawinenereignisse. Anzumerken ist, dass auch bei diesen Prozessen vielfach ein Kontext zu gravitativen Massenbewegungen besteht:

- Der linienhafte (Erosion) und flächenhafte (Denudation) Bodenabtrag durch Wasser wird neben grundsätzlichen geologischen und pedologischen Voraussetzungen (z. B. häufig in Löss- bzw. Lösslehm-Bedeckungen oder in Verwitterungsdecken tertiärer feinklastischer Gesteine) auch durch den anthropogenen Faktor der Landnutzung (z. B. Wald/Buschwerk vs. landwirtschaftlicher Nutzflächen) gesteuert. Bei vorliegender geolo-

gischer Grunddisposition sind gerade bei Starkniederschlagsereignissen die plötzliche Sedimentausspülung, der schnelle Transport und die unkontrollierte Akkumulation der Sedimentfracht eine nicht zu unterschätzende Naturgefahr.

- Auch durch rezenten Lawinen- und Schneeschurf werden Lockersubstrat erodiert und erhebliche Hangschuttmassen umgelagert (z. B. „Lawinenwälle“). Diese Abtragsprozesse treten auch in Kombination mit flachgründigen Rutschungen auf.
- Starke Stürme (z. B. das Sturmtief „Paula“ 2008 und die Orkane „Emma“ 2008 und „Kyrill“ 2007) haben in jüngster Zeit u. a. in Niederösterreich, Oberösterreich, in der Steiermark und in Kärnten enorme Waldschäden durch Windwurf angerichtet. Auch bei derartigen Ereignissen können Steine und größere Blöcke durch Baum- bzw. Wurzelbewegungen herausgelöst werden und Steinschlag, Blockschlag und kleinere Felsstürze zur Folge haben.

Komplexe Zusammenhänge bestehen ferner zwischen dem als Regen oder Schnee fallenden Niederschlag mit Hochwässern und gravitativen Massenbewegungen. Bei Hochwässern als rein hydrologische Prozesse sind im Wesentlichen die mit lokalen Starkniederschlägen verbundene Wildbach- bzw. Muren-Problematik (teils extrem kurze Anlaufzeit der Scheitelwelle) und die mit längeren und großräumigeren Niederschlägen verbundene Hochwasser-Problematik der Alpenhaupttäler (z. B. Inn, Enns) sowie vor allem des Vorlandes (Donau, March) zu differenzieren. Die verschiedensten Typen gravitativer Massenbewegungen (z. B. Felsstürze, Rutschungen, Hangmuren) wiederum werden in unterschiedlichster Dimension durch die Menge, die Intensität und die Dauer des Niederschlages entweder unmittelbar ausgelöst oder – vielfach unbemerkt – längerfristig getriggert. Direkte Wechselwirkungen der gravitativen Massenbewegungen mit Hochwässern (z. B. Anstieg Hang-/Grundwasserspiegel, Hangunterschneidung durch fluviale Erosion) bestehen hier ebenfalls.

2. Systematik der gravitativen Massenbewegungen

Zur Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen findet sich in der Fachliteratur eine Vielzahl an unterschiedlichen Ansätzen (ZANGERL et al., 2008; siehe dort die diesbezügliche Diskussion und weitere Literatur), welchen beispielsweise geomorphologische Kriterien, die Art der Bewegung (Kinematik) oder die Hangaktivität (Bewegungsgeschwindigkeit) als primäres Kriterium zugrunde liegen.

Gerade im deutschen Sprachraum existieren daher sehr unterschiedliche Begriffsbenennungen, die bei ihrer Verwendung in einschlägigen Pressemeldungen häufig zu einem für den Laien nur mehr schwer verständlichen „Wirrwarr“ an Bezeichnungen führen. Selbst innerhalb der Geowissenschaftler herrscht häufig Uneinigkeit über das diesbezügliche Fachvokabular.

Ein typisches Beispiel hierfür ist die uneinheitliche Definition des allgemein bekannten Begriffes „Bergsturz“, der im deutschsprachigen Raum in aller Regel zum kleineren „Felssturz“ über die Kubatur (Volumen) abgegrenzt wird (die maßgebliche englischsprachige Literatur kennt diese Unterscheidung beispielsweise nicht). ABELE (1974) definiert Bergstürze als „Fels- und Schuttbewegungen, die mit hoher Geschwindigkeit (in Sekunden oder wenigen Minuten) aus Bergflanken niedergehen und im Ablagerungsgebiet ein Volumen von über einer Million Kubikmeter besitzen oder eine Fläche von über 0,1 km² bedecken“. GOTTSCHLING (2006) hingegen, der Beispiele signifikanter Massenbewegungen in Niederösterreich beschreibt, definiert den „Bergsturz“ bei gleichem Prozessablauf wie auch bereits SCHWENK (1992; mit zahlreichen Beispielen gravitativer Massenbewegungen in Niederösterreich) ab einer Kubatur von „lediglich“ mehr als 10.000 Kubikmeter Gestein. Wiederum anders sieht es LATELTIN (1997), für den der „Bergsturz“ bei mehr als 100.000 Kubikmeter beginnt. Hier zeigt sich, dass selbst unter Experten, wohl nicht zuletzt in Abhängigkeit vom eigenen Erfahrungsschatz, eine sehr unterschiedliche Wahrnehmung existiert.

Ebenfalls typisch für den uneinheitlichen deutschsprachigen Fachwortschatz ist die Verwendung deskriptiv-geomorphologischer Begriffe wie „Sackung“ oder „Talzuschub“ (z. B. STINI, 1941, ZISCHINSKY, 1969, POISEL, 1998, WEIDNER, 2000) die teilweise auch zur Beschreibung kinematischer Aspekte herangezogen werden (vgl. Diskussion in ZANGERL et al., 2008). Diese Begriffe finden sich im angloamerikanischen Fachwortschatz entweder gar nicht oder mehr oder weniger (un)glücklich übersetzt (z. B. „sagging“, „valley close-up“). Allerdings können diese Begriffe genauso wie die Bezeichnungen „Bergzerreiβung“ (AMPFERER, 1939) oder „Geomechanik-System Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988, 1989) – und natürlich auch der „Bergsturz“ – der international letztendlich maßgeblichen prozessorientierten Klassifikation von Massenbewegungen unter- bzw. zugeordnet werden.

Die unten angeführte prozessorientierte Klassifikation von Massenbewegungen beruht im Wesentlichen auf den Arbeiten von VARNES (1978), HUTCHINSON (1988) sowie CRUDEN & VARNES (1996). Sie unterscheidet zum einen nach der Art des Materials (Fels oder Boden im geotechnischen Sinne) und zum anderen nach dem Bewegungstyp, wobei hier

- Fallen (Stürzen)
- Kippen
- Gleiten (translatorisch, rotatorisch)
- Driften
- Fließen (inklusive Kriechen)
- Komplexe Bewegungen (Kombination von mindestens zwei der voranstehend genannten Prozesse)

zu differenzieren sind (Abb. 1).

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Abb. 1: Typen gravitativer Massenbewegungen, vereinfacht nach VARNES (1978); aus USGS Fact Sheet 2004-3072 (2004).

2.1. Fallen (auch: Stürzen; engl.: Fall)

Sturzprozesse entstehen durch Ablösen von Fest- und/oder Lockergestein von einer steilen Hangfläche, wobei keine oder nur geringe Scherbewegungen auftreten (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 2). Charakteristisch ist der Bewegungsablauf mit vorwiegend freiem Fall, Springen und Rollen des Materials bei hoher Geschwindigkeit. Der initiale Ablösevorgang aus dem Gesteinsverband vom einzelnen Kluftkörper bis zu größeren zusammenhängenden Felsmassen ist dabei häufig durch kippende oder gleitende Versagensmechanismen gekennzeichnet.

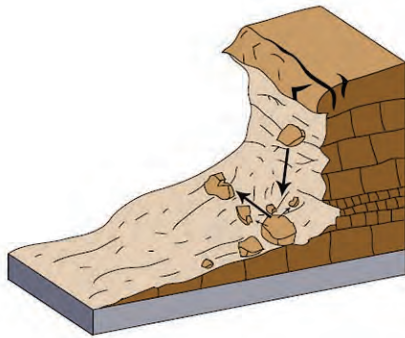


Abb. 2: Schematische Darstellung von Stein-/Blockschlag bzw. eines kleineren Felssturzes (HIGHLAND & BOBROWSKY 2008).

Zu den Sturzprozessen gehören Stein-/Blockschlag mit wenig bis keiner Interaktion zwischen den einzelnen Steinen/Blöcken sowie Felssturz und Bergsturz, jeweils mit mechanischer Interaktion respektive Fragmentierung einer anfangs zusammenhängenden Gesteinsmasse zu Steinen und Blöcken während des Sturzvorganges. Bereits HEIM (1932) unterteilt den Prozessraum in Abbruchgebiet (= Ablöse-/Herkunftsbereich), Sturzbahn (= Transportbereich) und Ablagerungsgebiet (= Akkumulationsbereich).

Am Beispiel „Bergsturz“ wurde die Problematik der Abgrenzung dieser Prozesse über mehr oder weniger exakte Angaben der Kubatur bereits erläutert. In den meisten Fällen spielt sich Stein-/Blockschlag im dm^3 - bis 10er m^3 -Bereich ab. Felsstürze sind dementsprechend durch Kubaturen von 10er m^3 bis mehrere 100.000 m^3 gekennzeichnet. Erst ab einer Größenordnung von 1 Mio. m^3 Gestein sollte tatsächlich von einem Bergsturz gesprochen werden, da nur bei sehr großen Kubaturen die charakteristischen großen Reichweiten auftreten. Diese sind vermutlich verbunden mit speziellen Bewegungsmechanismen der progressiven Materialzertrümmerung in der Masse während des Sturzvorganges (dynamische Fragmentierung; POLLET & SCHNEIDER, 2004, zitiert in GRUBER et al., 2009).

2.2. Kippen (engl.: Topple)

Kippen ist das Herauslösen von einer Fest- oder Lockergesteinsmasse durch Rotation aus dem Hang, wobei der Masseschwerpunkt über der Rotationsachse der kippenden Masse liegt (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 3). Kipp-Prozesse können auch durch Wasser- und Eisdruck sowie plastische Verformungen unterlagernder Gesteine ausgelöst werden. In Abhängigkeit der Topographie und der Raumstellung des Trennflächengefüges können sich Folgeprozesse wie Fallen oder Gleiten anschließen.



Abb. 3: Schematische Darstellung eines Kipp-Prozesses (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Wichtige Voraussetzung für die Entwicklung eines Kipp-Prozesses ist die Existenz einer dominanten, steil stehenden und (sub)parallel zum Hang streichenden Trennflächenschar. Prinzipiell wird zwischen Biegekippen (flexural toppling) inklusive Hakenwurf und Blockkippen (block toppling) unterschieden. Ersteres ist häufig in kristallinen Gesteinen (REITNER & LINNER, 2009; REITNER et al., 1993) oder in dünngebankten, mechanisch inkompetenten (resp. tektonisch beanspruchten) Sedimentgesteinen (GRUBER & LOTTER, 2012) vorzufinden. Letzteres tritt häufig am Rand der spröden Deckplatten im Geomechanik-System „Hart auf Weich“ auf (POISEL & EPPENSTEINER, 1989; siehe auch Kapitel 4).

2.3. Gleiten (engl.: Slide)

Gleitungen bzw. Rutschungen sind durch die Hangabwärtsbewegung von Locker- oder Festgestein entlang einer oder mehrerer diskreter Bewegungsflächen oder -zonen gekennzeichnet, in denen der Hauptanteil der Hangdeformation stattfindet (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 4 und Abb. 5). Unterschiedliche interne mechanische Eigenschaften der Trennflächen und/oder des Materials wie auch variierende Kluft- bzw. Porenwasserdrücke bedingen bei fortschreitender Bewegung Interndeformationen (Zerrstrukturen, Stauchungen, Teilabrisse/-überschiebungen), die zur Ausbildung von Teilschollen unterschiedlicher Geometrie und Bewegungsaktivität führen. Die Bewegung entlang einer zusammenhängenden Gleitzone entsteht dabei nicht plötzlich, sondern durch progressive Bruchprozesse, ausgehend von lokalen Schwächezonen. Im fortgeschrittenen Stadium können Gleitungen in Fließprozesse übergehen oder auch Fließprozesse (z. B. Erd- oder Schuttströme) als sekundäre (Teil-)Prozesse ausbilden.

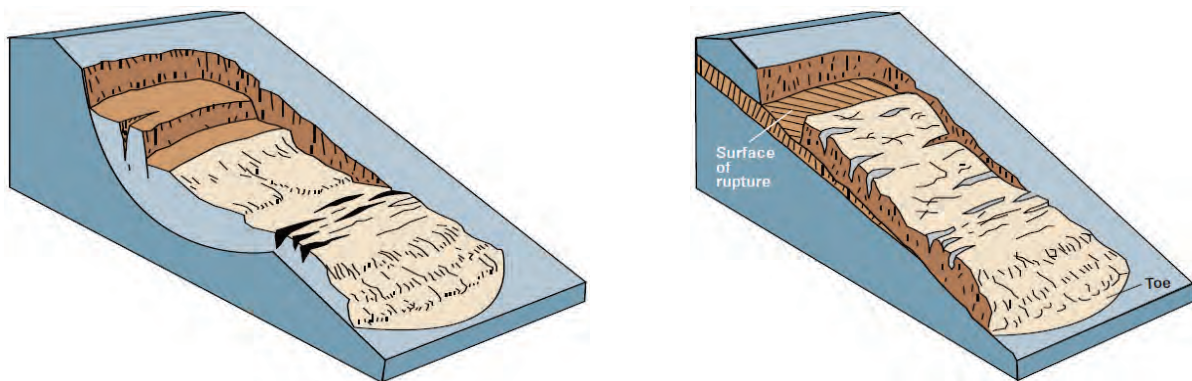


Abb. 4: Schematische Darstellung einer Rotationsgleitung (**links**) und einer Translationsgleitung (**rechts**) (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Gleitungen treten in unterschiedlichsten Dimensionen auf und können sich über wenige Meter bis hin zu einigen Kilometern erstrecken und Tiefgänge in der Größenordnung von einem Dezimeter bis mehrere 10er Meter (oder gar weit über hundert Meter) entwickeln. Genauso variabel ist die Bewegungsrate von wenigen Millimetern pro Jahr bis mehrere 10er Meter pro Sekunde.

ZANGERL et al. (2008) geben einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Arten des Gleitens (Abb. 5), wobei die beiden Grundtypen Rotationsgleitung und Translationsgleitung als Endglieder aller Übergänge fungieren.

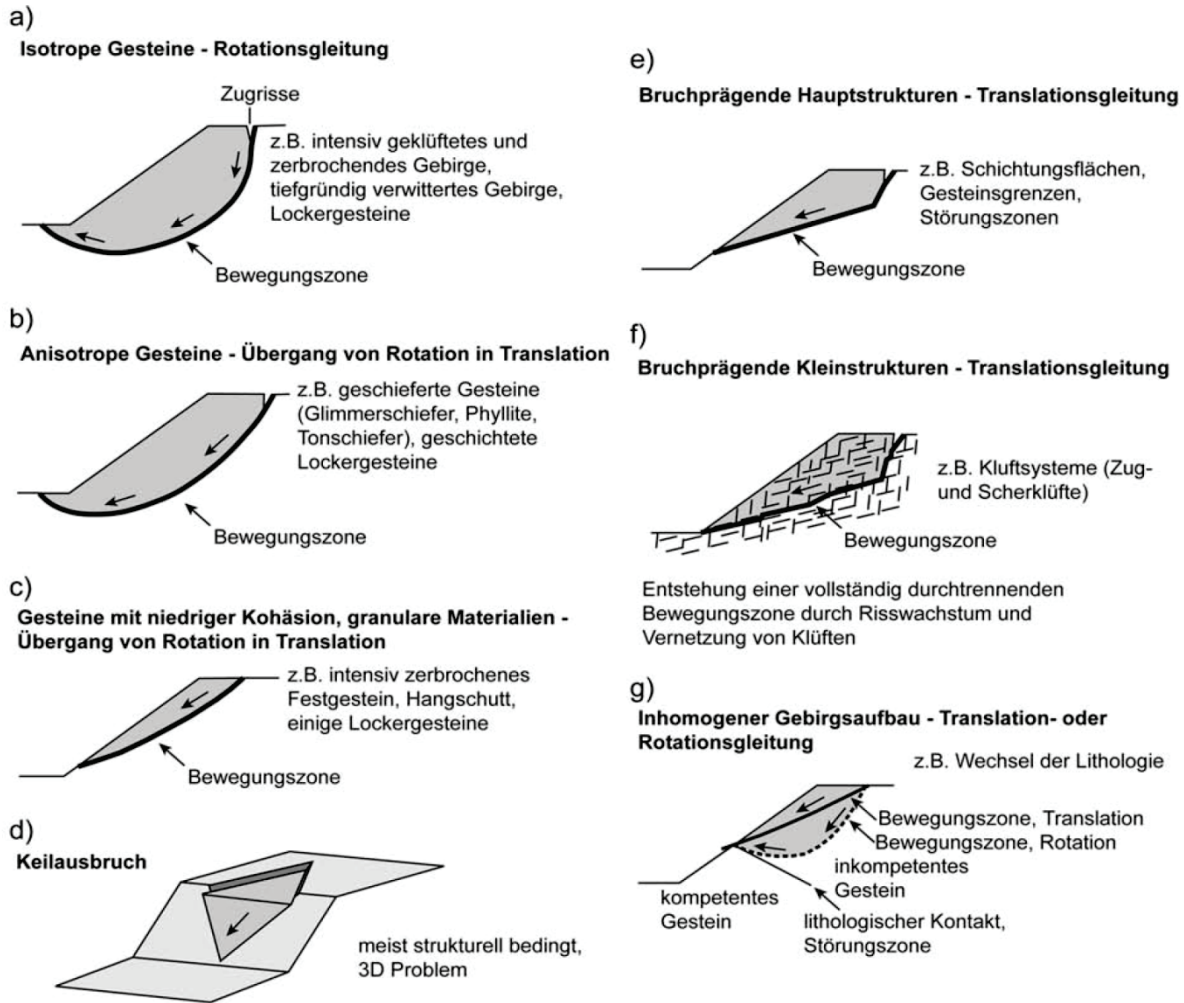


Abb. 5: Unterschiedliche Arten des Gleitens (ZANGERL et al., 2008; modifiziert und ergänzt nach HUDSON & HARRISON, 1997).

2.4. Driften (engl.: Lateral Spread)

Driften ist definiert als die laterale Dehnung oder Extension einer kohäsiven Lockergesteins- oder relativ kompetenten Felsmasse auf einem weichen Substrat, wobei zusätzlich zur horizontalen Verschiebung auch Setzungen auftreten können (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 6). Dadurch zerbricht die kompetente Masse entlang steilstehender Zugrisse bzw. Trennflächen und plastisch deformierbares Substrat presst sich von unten in die Spalten zwischen die Blöcke bzw. Schollen des kompetenten Materials. Durch die bei fortschreitender Deformation zunehmende Zerlegung des kompetenten Materials werden die offenen Spalten von oben durch Blöcke und Schutt aufgefüllt.

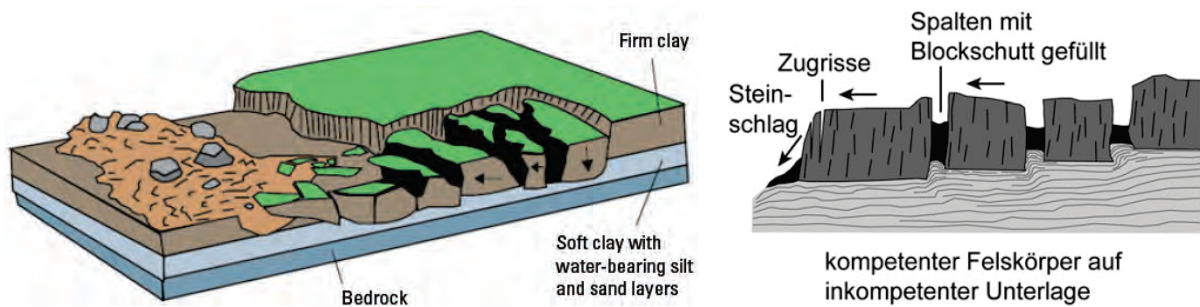


Abb. 6: Schematische Darstellung des Driftens im Locker- und Festgestein; **linkes Bild:** im kohäsiven Lockermaterial mit einer typischen Bodenverflüssigung (engl.: ground liquefaction) einer unterlagernden Bodenschicht (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008); **rechtes Bild:** als lateraler Extensionsprozess mit Bildung von Zugrisse und Spalten im System „Hart auf Weich“ gemäß POISEL & EPPENSTEINER, 1989 (ZANGERL et al., 2008).

Der reine Driftprozess läuft als plastische Deformation oder Bodenverflüssigung ohne Bildung von Bruchflächen bzw. diskreter Scherzonen an der Basis oder im weichen Unterlager ab. Jedoch dürften in der Realität im Falle der plastischen Deformation des Unterlagers an der Basis des kompetenten Auflagers bzw. im Unterlager selbst praktisch immer zusätzlich auch Übergänge zu bzw. Kombinationen mit Gleit- und/oder Kriechprozessen bestehen.

2.5. Fließen (engl.: Flow)

Fließprozesse sind durch eine hohe interne Teilbeweglichkeit der bewegten Gesteinsmassen gekennzeichnet, wobei potentielle Gleitzonen entweder gar nicht auftreten oder dicht angeordnet, kurzlebig und meist nicht erhalten sind (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 7 und Abb. 8). Fließprozesse haben ein extrem breites Geschwindigkeitsspektrum von sehr langsam (wenige Millimeter pro Jahr; z. B. „Kriechen“ im Locker- und Festgestein) bis zu sehr schnell (mehrere Meter pro Sekunde; z. B. Sturzströme oder Hangmuren). Die bewegte Masse ist durch eine kontinuierliche Abnahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe charakterisiert (ähnlich einer viskosen Flüssigkeit), ohne dass es (im Idealfall) zu „Geschwindigkeitssprüngen“ (= Entwicklung diskreter Gleitzonen) kommt. Häufig ist in der Natur aber genau dies der Fall, nämlich eine Kombination von Fließ- und Gleitprozessen, wobei eine Abgrenzung meist nur schwer vorgenommen werden kann.

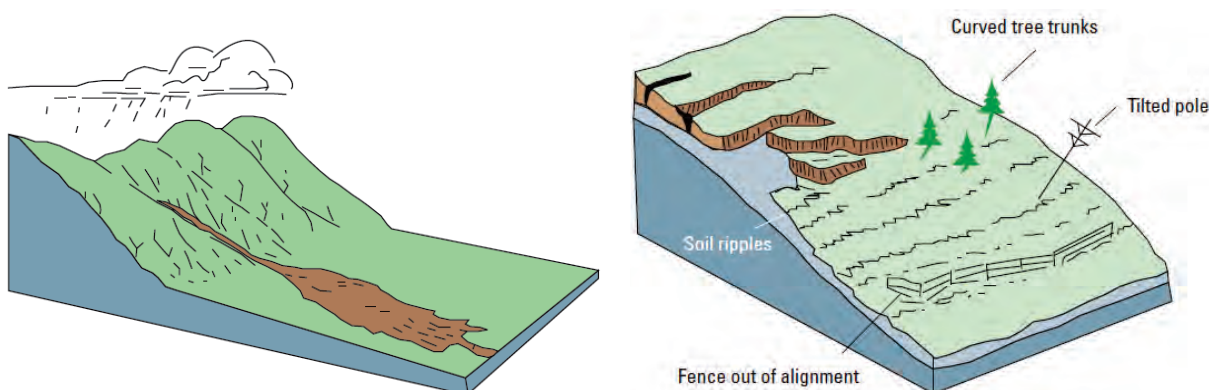


Abb. 7: Schematische Darstellung von Fließprozessen im Lockergestein (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008); **linkes Bild:** sehr schneller Schuttstrom bis Murgang; **rechtes Bild:** langsames, relativ flachgründiges Bodenkriechen oder Hang(schutt)kriechen.

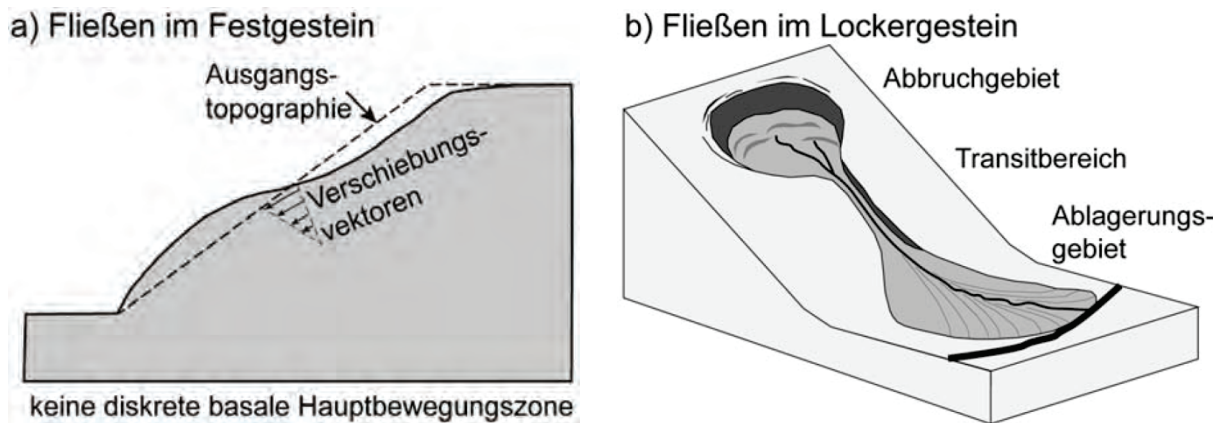


Abb. 8: Schematische Darstellung von Fließprozessen (ZANGERL et al., 2008); **a)** sehr langsames, tiefgreifendes Fließen im Festgestein über die gesamte Hangflanke, keine zusammenhängende Bewegungszone („Felskriechen“); **b)** relativ langsames bis sehr schnelles Fließen im Lockergestein (z. B. Erd- oder Schuttstrom, Hangmure, Mure).

Fließprozesse umfassen Locker- und Festgesteine und sind daher – wie auch aufgrund des breiten Geschwindigkeitsspektrums – sehr vielfältig. Sehr schnelle Fließprozesse sind z. B. Sturzströme (trockenes Schuttfließen), die sich aus sehr großen Felsstürzen bzw. Felsgleitungen oder Bergstürzen entwickeln können. Schnelle Fließprozesse im Lockergestein mit hohem Wasseranteil sind beispielsweise Hangmuren. Das sehr langsame Fließen im Festgestein wird als Felskriechen oder als „Sackung“ (im kinematischen Sinne; siehe Diskussion und Literatur eingangs zu Kapitel 2) bezeichnet. Langsame Fließprozesse im Lockergestein werden z. B. als Hang(schutt)kriechen, Bodenkriechen, Schuttstrom und Erdstrom bezeichnet, wobei die beiden letztgenannten in Phasen erhöhter Aktivität durchaus auch „mittlere“ Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Tag erreichen können.

3. Typische Ursachen von gravitativen Massenbewegungen

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, sind die Ursachen für gravitative Massenbewegungen vielfältig und teils komplex miteinander verknüpft. Auch in diesem Fall sind in der Fachliteratur unterschiedliche Gliederungsansätze zu finden. Beispielsweise unterscheidet der U.S. Geological Survey (USGS, 2004) grundsätzlich geologische, morphologische und anthropogene Ursachen und nennt zusätzlich als die weltweit drei wichtigsten Faktoren katastrophaler Massenbewegungen den Einfluss von Wasser (Niederschlag, Schneeschmelze, Grundwasserschwankungen, etc.), seismischer und vulkanischer Aktivität.

Basierend auf der Bearbeitung von gravitativen Massenbewegungen in Niederösterreich unterscheidet SCHWENK (1992) drei Gruppen, nämlich geologische Voraussetzungen, natürliche und anthropogene Ursachen sowie natürliche und anthropogene auslösende Ereignisse. Da jedoch die dort genannten Faktoren vielfach ineinander übergreifen bzw. sich überschneiden, wird hier nur ein zusammenfassender Überblick typischer Faktoren (respektive Ursachen) ohne konsequente systematische Gliederung gegeben.

Bei den teils schon erwähnten natürlichen Faktoren wie auch den geologischen Grundvoraussetzungen (geogene Grunddisposition) sind im Wesentlichen zu nennen:

- „Geeignetes“ Relief als Folge der Gebirgsbildung(en)
- Auflockerung durch glaziale Be- und Entlastung (inklusive Permafrostwirkung und spät- bis postglaziale Permafrostschmelze)
- Glaziale und fluviatile Erosion (Hangübersteilung, Hangunterschneidung, etc.)
- Aufbau einer Lockermaterialbedeckung durch Verwitterungsprozesse (speziell auch unter Permafrostbedingungen im Periglazialraum)
- Akkumulation von Lockermaterial durch glazigene und fluviatile Prozesse

- Bodenmechanische und tonmineralogische Eigenschaften der Lockergesteine
- Fels- bzw. festigkeitsmechanische Eigenschaften der Festgesteine (insbesondere auch die Ausbildung und die Raumstellung des Trennflächengefüges)
- Mechanische Eigenschaften der veränderlich festen Gesteine in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

Wichtige natürliche externe Faktoren können wie folgt zusammengefasst werden:

- Niederschlag mit der Folge von Porenwassersättigung/-überdruck in Lockergesteinen oder Kluftwasserschub in Festgesteinen; ausschlaggebend sind hier v. a. die Intensität und die Dauer, also z. B. kurze Starkniederschläge vs. länger anhaltendem Landregen, aber auch die Vorfeuchte im Lockermaterial, weiters Schneemenge, Schneeschmelze, etc.
- Temporäre fluviale Erosion oder der Anstieg von Hang- bzw. Grundwasser durch Hochwasserereignisse als Folge großer Niederschlagsmengen
- Trockenheit („Versiegelungseffekt“ oder auch Trockenrisse mit Folgen für das Abflussverhalten v. a. bei Starkniederschlägen)
- Seismische Aktivität (Erdbeben) als dynamische Belastung von Hängen
- Stürme und Orkane im Sinne einer Beeinflussung bzw. Veränderung der Vegetation, z. B. Windwurf
- Klimatisch bedingter Aufbau oder Rückzug der Vegetation im Sinne einer stabilisierenden Wirkung des Wurzelraumes in der Lockermaterialbedeckung und Veränderungen des Niederschlags-Abflussverhaltens.

Letztendlich kann auch der Mensch einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung gravitativer Massenbewegungen haben. Als wichtigste anthropogene Faktoren sind zu nennen:

- Alle Eingriffe des Menschen, die an einem aufgrund natürlicher Faktoren instabilen bzw. sich hinsichtlich seiner Stabilität im Grenzgleichgewicht befindlichen Hang vorgenommen werden und eine zusätzliche destabilisierende Wirkung haben (künstliche Böschungsversteilungen z. B. durch Wege, Baugruben, Rohstoffabbau, Leitungsbau)
- Unkontrollierte bzw. unbeabsichtigte Wassereinleitungen, z. B. Wasserrohrbrüche
- Bodenverdichtung und Bodenversiegelung mit nicht berücksichtigten bzw. nicht erkannten Veränderungen des Abflussverhaltens bzw. des Wasserhaushalts (Niederschlag, Oberflächenabfluss/Gerinne, Grundwasser)
- Landnutzung bzw. deren Veränderung (z. B. Rodungen von natürlich sensiblen Hängen, Monokulturen) durch die Landwirtschaft mit Erosionsfolgen bzw. verstärktem oder geändertem Wassereintrag in Boden und Fels
- Statische Auflasten (Gebäude, Anschüttungen) wie auch dynamische Belastungen (Erschütterungen oder Sprengungen z. B. bei Baumaßnahmen oder Abbauen) an natürlich sensiblen Hängen
- Veränderungen der natürlichen hydrologischen Systeme und Abflüsse z. B. durch Wasserkraftwerksbauten (inklusive Speicherbauwerke, Ab- und Zuleitungen mit Folgen für den Hangwasserspiegel) oder durch Beschneiungsanlagen.

4. Regionale Bedeutung der gravitativen Massenbewegungen in NÖ

Bereits in der durchaus als wegweisend zu bezeichnenden Arbeit von SCHWENK (1992), der ein umfangreiches Inventar gravitativer Massenbewegungen in Niederösterreich zusammengestellt hat, erfolgt eine prozessorientierte Untergliederung im Wesentlichen nach den in Kapitel 2 genannten Kriterien. Diese Arbeit zeigt zudem, dass auch in nicht-hochalpinen Regionen bei moderater Hangneigung, aber „anfälliger“ Geologie, die geogene Disposition für gravitative Massenbewegungen sehr hoch sein kann. Eine entsprechend hohe Anzahl und Dichte diesbezüglicher Prozessräume sind daher regional unter Dominanz bestimmter Prozess-typen feststellbar.

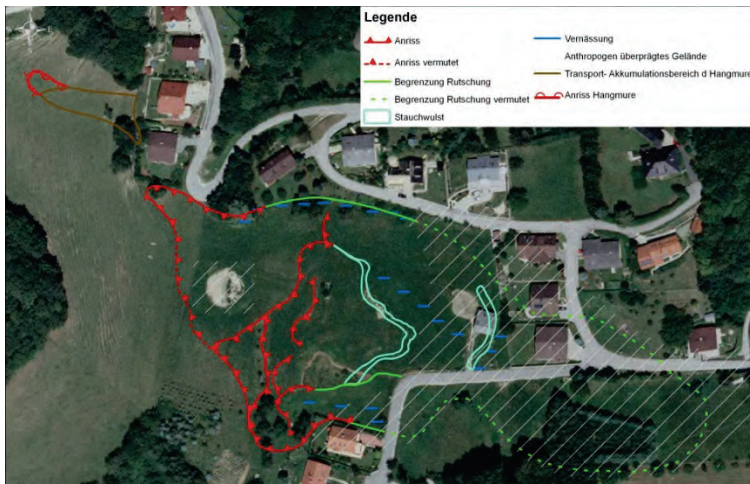
So sind neben den Prozessen Fallen (Steinschlag, Blockschlag, Felssturz) und Fließen/Kriechen (z. B. Hangschuttkriechen, Schutt-/Erdstrom) vor allem das Gleiten im Fest- oder Lockergestein (Felsgleitung; Translations- oder Rotationsrutschung) von Relevanz im Osten Österreichs (Abb. 9 und Abb. 10). Während sich beispielsweise Steinschlag an jeder ausreichend steilen und hohen Felsschrofe/-wand ereignen kann, zeigen vor allem die peninische Flyschzone und die Klippenzonen z. B. im Raum Scheibbs – Gresten – Waidhofen a. d. Ybbs mit ihren verwitterungsempfindlichen Festgesteinen eine hohe natürliche Anfälligkeit für großflächige Rutschprozesse. Charakteristisch dafür sind die mechanischen Eigenschaften veränderlich fester Gesteine bis hin zur Ausbildung teils mächtiger Verwitterungsschuttdecken mit reinem Lockergesteinscharakter des involvierten Substrats. Nicht zu vergessen ist auch die offensichtlich hohe geologische Grunddisposition bestimmter Regionen (z. B. in der Buckligen Welt mit den Verwitterungsdecken des ostalpinen Kristallins) für kleinräumige Lockergesteinsrutschungen und Hangmuren bei Starkniederschlägen (Abb. 11). Diese weisen aufgrund ihrer spontanen Entstehung, dem häufig (relativ) schnellen Ablauf und dem sehr schwer abzuschätzenden räumlichen Auftreten ein hohes Gefahrenpotential auf.

Nur wenig bis gar keine regionale Bedeutung haben die Prozesse Kippen (z. B. Kippen von großen Felstürmen) oder Driften (z. B. laterales Zerreißen/„Auspressen“ als Folge plastischer Deformation des Untergrundes), die typischerweise das „Geomechanik-System Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988, 1989) prägen. Dieses System beschreibt das Aufliegen spröde-kompetenter Gesteine auf einem mehr oder weniger mächtigen duktilinkompetenten Unterlager und damit verbundene Massenbewegungen. Eine „klassische“ Prozesskette ist hier das laterale Zerreißen (Bergzerreißen) der spröden Deckplatte durch plastische Deformation des weichen Untergrundes (Prozess „Driften“), Felsstürze (Prozessgruppen „Fallen“ und „Kippen“) am Rand der Deckplatte und daran anschließende Schuttströme (Prozessgruppe „Fließen“) im Blockschutt, vermischt mit Material des Unterlagers. Gesamtheitlich betrachtet sind diese Teilprozesse bereits den komplexen Massenbewegungen zuzuordnen. Eine typische Region hierfür ist beispielsweise das oberösterreichische Salzkammergut, wo diese Konstellation u. a. durch das Aufliegen von Plassenkalk oder Tressensteinkalk über Haselgebirge oder Zlambachschichten erfüllt ist (LOTTER & ROHN, 2012).

Grundsätzlich den komplexen Massenbewegungen zuzuordnen sind die bereits in Kapitel 2 diskutierten Begriffe „Talzuschub“ und „Sackung“ (wenn letztgenannter Begriff geomorphologisch und nicht rein kinematisch als „Kriechen“ verstanden wird), meist auch in Verbindung mit Phänomenen der Bergzerreißen im Kammbereich. Talzuschübe dürften in den meisten Fällen eine Prozess-Kombination aus „Kriechen“ (auch als Initialprozess zu verstehen) und (progressiv fortschreitendem) „Gleiten“ darstellen. Hinzu können (sekundäre) Sturz- und Gleitprozesse im Bereich der Talzuschubstirn oder der Abrisskante(n) kommen. In Niederösterreich sind derartige komplexe Massenbewegungen mangels Relief und/oder mangels lithologischer Disposition (vorzugsweise in mechanisch „schwachen“ kristallinen Gesteinen wie Glimmerschiefer und Phylliten) praktisch ohne Bedeutung.



Abb. 9: linkes Bild: Felssturz von 1961 (initiales Gleiten) im Marmor (Moldanubikum) bei Spitz a. d. Donau aufgrund anthropogener Hangunterschneidung/Steinbruchbetrieb (vgl. SCHWENK, 1992); rechtes Bild: Steinschlag-Schutznetze an der Donau in Aggsbach-Dorf.



Legende	
	Anriss
	Anriss vermutet
	Begrenzung Rutschung
	Begrenzung Rutschung vermutet
	Stauwulst
	Vernässung
	Anthropogen überprägtes Gelände
	Transport-Akkumulationsbereich d Hangmure
	Anriss Hangmure



Abb. 10: Rutschung mit Lockermaterialcharakter in stark verwitterten, veränderlich festen Gesteinen der Grestener Klippenzone (JOCHUM et al., 2008); linkes Bild: Kartierung auf Orthofotobasis; rechtes Bild: Laserscan (DOM) des zentralen Rutschungsbereichs.



Abb. 11: Zahlreiche kleine und flachgründige Rutschungen (linkes Bild) und Hangmuren (rechtes Bild) infolge von Starkniederschlägen im Juni 2009 in Klingfurth (Bucklige Welt) im Verwitterungsschutt ostalpiner kristalliner Gesteine (TILCH & SCHWARZ, 2010).

5. Ausblick

Das geforderte hohe Schutzniveau des Niederösterreichischen Raumordnungsgesetzes (NÖ ROG, 1976) hat zu der Erkenntnis geführt, dass geeignete Kartenwerke zur Darstellung der Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen als Grundlage einer zeitgemäßen Raumplanung erforderlich sind (POMAROLI et al., 2011). POMAROLI et al. präferieren einen geostatistischen Ansatz, der die für das Land Niederösterreich besonders relevanten stürzenden („Fallen“), rutschenden („Gleiten“) und kriechenden („Kriechen/Fließen“) Massenbewegungsprozesse erfasst und mittels verschiedener Modellierungsmethoden regionalisiert.

Ziel ist letztendlich die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für gravitative Massenbewegungen hinsichtlich der genannten Prozesse in allen dafür relevanten Regionen Niederösterreichs. Die Resultate sind ein zentrales Thema dieser Niederösterreichischen Geotage 2013.

6. Literatur

ABELE, G. (1974): Bergstürze in den Alpen.- Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, 25, 230 S., München.

AMPFERER, O. (1939): Über einige Formen der Bergzerreissung.- Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturwiss. Kl., Abt. I, 148, 1-14, Wien.

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996): Landslide Types and Processes.- In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (eds.): Landslides, Investigations and Mitigation, Nat. Res. Council., Spec. Rep. 247, 36-75.

GÖRLICH, W., TAUSCHE, E. & WURZER, R. (1948): Das große Erdbeben zu Villach Anno 1348.- 24 S., Villach.

GOTTSCHLING, P. (2006): Massenbewegungen.- In: WESSELY, G. (Hrsg.): Geologie der Österreichischen Bundesländer: Niederösterreich.- 416 S., Wien (Geol. B.-A.).

GRUBER, A. & LOTTER, M. (2012): Bericht 2010 – 2011 über die Aufnahme ausgewählter gravitativer Massenbewegungen und deren geologischen Rahmen auf Blatt 114 Holzgau.- Jb. Geol. B.-A., 152/1-4, 252-257, Wien (Geol. B.-A.).

GRUBER, A., STRAUHAL, T., PRAGER, C., REITNER, J.M., BRANDNER, R. & ZANGERL, C. (2009): Die „Butterbichl-Gleitmasse“ – eine große fossile Massenbewegung am Südrand der Nördlichen Kalkalpen (Tirol, Österreich).- Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 14/1+2, 103–134.

HAMMERL, CH. & LENHARDT, W. (1997): Erdbeben in Österreich.- Leykam Verlag, Wien, Graz.

HEIM, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben.- Beiblatt zur Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrg. 77, 20, 218 S., Zürich.

HIGHLAND, L.M. & BOBROWSKY, P. (2008): The landslide handbook – A guide to understanding landslides.- Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 S.

HUDSON, J.A. & HARRISON, J.P. (1997): Engineering rock mechanics.- 444 S., Elsevier Science Ltd., UK.

HUTCHINSON, J.N. (1988): General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology.- Proc. 5th Int. Symp. Landslides, Lausanne, 1, 3-35, Rotterdam (Balkema).

JOCHUM, B., LOTTER, M., OTTNER, F. & TIEFENBACH, K. (2008): Geophysikalische und ingenieurgeologische Methoden zur Untersuchung von durch Massenbewegungen bedingte Bauschäden in Niederösterreich – Endbericht zur Fallstudie Gresten (NÖ).- BBK-Projektbericht NC-62/F, II+109 S., Wien (Geol. B.-A.).

LATELTIN, O. (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, 42 S., Bern.

LOTTER, M. & ROHN, J. (2012): Geogene Naturgefahren – Ingenieurgeologie.- In: MANDL, G.W., VAN HUSEN, D. & LOBITZER, H.: Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl, 135-151, Wien (Geol. B.-A.).

POISEL, R. (1998): Kippen, Sacken, Gleiten – Geomechanik von Massenbewegungen und Felsböschungen.- Felsbau 16, 3, 135-140, Essen.

POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 1: Geomechanik des Systems "Hart auf Weich".- Felsbau 6, 4, 189-194, Essen.

POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems "Hart auf Weich".- Felsbau 7, 1, 16-20, Essen.

POLLET, N. & SCHNEIDER, J.-L. (2004): Dynamic desintegration processes accompanying transport of the Holocene Flims sturzstrom (Swiss Alps).- Earth and Planetary Science Letters, Vol. 221, 433-448, Amsterdam.

POMAROLI, G., BELL, R., GLADE, T., HEISS, G., LEOPOLD, P., PETSCHKO, H., PROSKE, H. & SCHWEIGL, J. (2011): Darstellung der Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen im Bundesland Niederösterreich als Grundlage der Raumplanung.- Wildbach- und Lawinenverbau 166, 198-212.

REITNER, J.M. & LINNER, M. (2009): Formation and Preservation of Large Scale Toppling Related to Alpine Tectonic Structures – Eastern Alps.- Austrian Journal of Earth Sciences 102/2, 69-80.

REITNER, J.M., LANG, M. & VAN HUSEN, D. (1993): Deformation of high slopes in different rocks after würmian deglaciation in the Gailtal (Austria).- Quaternary International 18, 43-51.

ROHR, CH. (2007): Extreme Naturereignisse im Ostalpenraum: Naturerfahrung im Spätmittelalter und am Beginn der Neuzeit.- Umwelthistorische Forschungen, Bd. 4, 640 S., Köln/Weimar/Wien.

SCHWENK, H. (1992): Massenbewegungen in Niederösterreich 1953-1990.- Jb. Geol. B.-A., 135/2, 597-660, Wien.

STINI, J. (1941): Unsere Täler wachsen zu.- Geol. u. Bauwesen 13, 3, 71-79, Wien (Springer).

TILCH, N. & SCHWARZ, L. (2010): Erstellung von Dispositionskarten für Massenbewegungen.- Vortrag Innsbrucker Hofburggespräche, Innsbruck.

TILL, A. (1907): Das große Naturereignis von 1348 und die Bergstürze des Dobratsch.- In: BÖHM, A. (Red.): Mitteilungen der K.K. Geographischen Gesellschaft in Wien, Bd. 50, 534-645, Wien.

USGS (U.S. GEOLOGICAL SURVEY) (2004): Landslide Types and Processes.- Fact Sheet 2004-3072, 4 S.

VARNES, D.J. (1978): Slope movement types and processes.- In: SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (Eds.): Landslides, analysis and control.- Transportation Research Board, Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, 11-33, Washington, DC.

WEIDNER, S. (2000): Kinematik und Mechanismus tiefgreifender alpiner Hangdeformationen unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse.- Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg, X+246 S., Erlangen.

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, Volume 5, 1-51.

ZISCHINSKY, U. (1969): Über Sackungen.- Rock Mechanics, 1, 30-52, Wien.