

Allgemeine Informationen zu Massenbewegungen

General information about mass movements

Einleitung

Ursachen von Massenbewegungen

Arten der Massenbewegung

Stumme Zeugen

Literatur

Introduction

Causes of mass movements

Types of mass movements

Silent witnesses

Literature

Einleitung

Introduction

Als Massenbewegungen werden all jene natürlich ablaufenden geomorphologischen Prozesse im Gebirge verstanden, die folgenden Einschränkungskriterien genügen:

Es handelt sich dabei um bruchlose und/oder bruchhafte hangabwärts gerichtete, schwerkraftbedingte Verlagerungen von Festgesteinsmassen und/oder Lockergesteinsmassen, bei welchen Wasser, Eis und Luft als Transportmedium vernachlässigt werden können.

Demzufolge werden beispielsweise durch Seitenerosion entlang der Ufer von Gerinnen (Bäche und Flüsse) hervorgerufene Uferabbrüche und Uferrutschungen als Massenbewegung verstanden (vgl. Abb. 1, links), während der daraus resultierende Geschiebetransport im Gerinne und daraus resultierende Vermurungen nicht als Massenbewegung i.e.S. verstanden wird (vgl. [Abb. 1](#), rechts).

Auch Blockgletscher deren kriechende Bewegung im Wesentlichen durch die plastisch-viskosen Verformungseigenschaften des enthaltenen Eises bestimmt wird, sind keine Massenbewegungen i.e.S.,



Abb. 1 Sägezahnartige Abrisskanten und flachgründige Rutschungen aufgrund Ufererosion (links) und Vermurungsbereich eines Hanggerinnes (rechts). An der dem Bachlauf zugewandten Hauswand sind Anschlagmarken des Murganges zu erkennen. Quelle: A. Kociu, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 1 Tear-off edge and plain landslide caused by river erosion (see left); Mud flow area - the house wall is marked by the impact of a mud stream (see right)
Source: A. Kociu, Photo archives of GBA.

Massenbewegungen treten in Österreich nicht nur in jüngster Zeit auf, sondern auch in der Vergangenheit waren diese sehr zahlreich. Als besonders große historische Massenbewegungen sind die Bergstürze des Tschirgant (u.a. ca. vor 9500 Jahren) und Dobratsch (u. a. im Jahre 1348) sowie der Bergsturz bei Köfels (u. a. ca. vor 6700 Jahren) erwähnenswert. Aber auch zahlreiche kleinere Massenbewegungen, wie beispielsweise Felsstürze und Hangrutschungen, bedrohten in der Vergangenheit vielerorts die Menschen.

Dies zeigt, dass Massenbewegungen als natürlicher Bestandteil der geologisch-geomorphologischen Ausgleichprozesse im Zuge des Auf- und Abbaus der Gebirge zu verstehen sind. Allerdings nimmt die von Massenbewegungen ausgehende Gefahr für den Menschen und seine Bauwerke stetig zu und immer häufiger sind die Auswirkungen katastrophal.

Dies ist nicht nur auf die sich räumlich und zeitlich ändernden Klima- und Witterungsverhältnisse zurück zu führen, sondern auch auf die zunehmende Besiedlung und Nutzung von Gebirgsregionen. So können bereits kleine Eingriffe des Menschen das natürliche Gleichgewicht der Hänge empfindlich stören, z.B. durch Hangeinschnitte und –anschnitte sowie durch Rodung der Wälder.

Die Ursachen sowie die bewegungsauslösenden und –steuernden Faktoren können auch naturbedingt sehr vielfältig und komplex sein. Demzufolge sind auch die Prozesse des Herauslösen und des Massentransportes, und somit auch die resultierenden Gefahren sehr unterschiedlich.

Ursachen von Massenbewegungen

Causes of mass movements

Die mechanische Ursache aller Massenbewegungen an Hängen und Böschungen ist die Veränderung des Gleichgewichts zwischen zurückhaltenden und angreifenden Kräften. Diese Veränderung kann durch permanent (langfristig) ([Tab. 1](#)) oder episodisch (kurzzeitig) wirkende Faktoren bedingt sein (vgl. [Tab. 2](#)).

Die natürlichen Voraussetzungen disponieren einen Hang für Massenbewegungen (Grunddisposition). So lässt sich beispielsweise erklären, warum Hangbereiche bestimmter Geologie und Pedologie relativ anfällig für Massenbewegungen sind. Weiters haben die permanent wirkenden Faktoren einen bedeutsamen Einfluss auf die Stabilität eines Hanges, in dem sie langfristig sukzessive auf das statische Gleichgewicht des Hangsystems einwirken.

Viele dieser Faktoren stehen im kausalen Zusammenhang mit den zeitlich und räumlich variablen Klimaverhältnissen, da durch diese die stets ablaufenden Prozesse der chemischen und physikalischen Verwitterung gesteuert werden.

Beispielsweise verlagert sich die Permafrostgrenze im Bereich der Ostalpen vielerorts in höhere Lagen, so dass ehemals stabile und gefrorene Hänge zunehmend auftauen. Damit geht einher, dass die Verbandsfestigkeit des Untergrundes geringer wird. Zusätzlich wird der Untergrund aufgrund häufiger Frost-Tauzyklen zunehmend destabilisiert. Erst dann, wenn das zulässige statische Grenzgleichgewicht überschritten wird, wird der betroffene Hang instabil. Viele der in jüngster Zeit und gegenwärtig stattfindenden Felsstürze in den Hochalpen sind auf diese Prozesskette zurückzuführen. Weitere wichtige Beispiele für permanent wirkende bewegungsauslösende Faktoren sind in der [Tab. 1](#) aufgeführt.

Tab. 1 Beispiele für permanent wirkende bewegungsauslösende Faktoren und Auswirkungen auf das Hangsystem bzw. Böschungssystem (nach [Krauter 1990](#)).

Tab.1 Examples of permanently working factors for movement-releasing and their effects on slope system (after [Krauter 1990](#))

Faktor	Wirkung
Tektonik	Veränderung der Neigung oder Höhe eines Hanges, Verminderung der Standfestigkeit
Erosion	Wegnahme des Widerlagers am Hangfuß, Unterschneidung, Talvertiefung
Verwitterung	Auflockerung und Entfestigung des Gebirges durch chemische und physikalische Verwitterungs- und Auflockerungsprozesse
Schwerkraft	Auflockerung und Entfestigung des Gebirges infolge des Eigengewichtes

Auch die aus der Besiedlung und Erschließung von Gebirgsregionen durch den Menschen resultierenden Eingriffe in das natürliche Gleichgewicht der Hänge sind sehr zahlreich und vielfältig. Viele der anthropogenen (menschlichen) Eingriffe stehen im direkten Zusammenhang mit den episodisch wirkenden Faktoren (vgl. [Tab. 2](#)).

So führen Eingriffe im Zuge von Baumaßnahmen zu einer Veränderung der Hanggeometrie, beispielsweise durch Hanganschnitte oder Hanganschüttungen, so dass künstliche Hänge (Böschungen) entstehen. Dadurch kann die ursprüngliche Statik des Hanges derartig gestört werden, dass bereits während oder kurz nach dem Eingriff nicht nur die Böschung selbst, sondern auch der obere Hang instabil wird, oder gar Bauwerke beschädigt werden. Jedoch ist meistens festzustellen, dass Böschungen lange Zeit stabil waren und irgendwann zumindest bereichsweise instabil werden (vgl. [Abb. 2](#)). In dieser zeitlichen Konstellation ist die Veränderung der Hanggeometrie eher als episodischer wirkender, vorbereitender Faktor zu verstehen.

Der episodisch wirkende, bewegungsauslösende Faktor ist dann ein Anderer (z.B. Erschütterung oder Durchfeuchtung des Untergrundes, Änderung des Bergwasserstandes).



Abb. 2 Böschungsbrüche in Folge Hanganschnitt und resultierender bergwärtiger Hangübersteilung (links) sowie in Folge Hanganschnitt/Anschüttung und resultierender talwärtiger Hangübersteilung (rechts).
Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 2 Slope failures in consequence of changed slope geometry uphill of the road (see left); slope failure downhill of street due to changed slope geometry (see right).
Source: N. Tilch, Photo archives of GBA.

Ein Beispiel für die episodische Wirkung natürlicher Faktoren ist die Seitenerosion entlang der Gerinne, die vor allem im Zuge von Hochwasser besonders intensiv ist. Auch dadurch kann die ursprüngliche Hanggeometrie und somit das statische Gleichgewicht derart gestört werden, dass eine Massenbewegung in Richtung des Gerinnes erfolgt (vgl. [Abb. 1](#), links).

Tab. 2 Beispiele für episodisch wirkende, vorbereitende und bewegungsauslösende Faktoren sowie deren Ursachen und Auswirkungen auf das Hangsystem bzw. Böschungssystem (nach [Reuter et al. 1992](#), modifiziert).

Tab. 2 Examples of episodically working factors, which are preparing and activating mass movements, their, causes and effects on a slope system (after [Reuter et al. 1992](#), modified).

Faktor	natürliche Ursache	anthropogene Ursache	Auswirkung
Veränderung des Bergwasserstandes, Durchfeuchtung	Anormale Niederschläge, Frostverschluss von Quellen, Schneeschmelze	Defekte in Wasserleitung, Kanalisation oder Drainage, Verdichtung des Untergrundes und resultierender Grundwasserstau	Veränderung der Bodenkonsistenz, Strömungsdruck, Kluftwasserdruck, Auftrieb, chemische und/oder physikalische Verwitterung
Erschütterungen	Erdbeben	Sprengungen, Ramm- und Bohrarbeiten, rollender Verkehr	Porenwasserüberdruck, Auflockerung, Spannungsänderung
Belastungsänderungen	Anormale Niederschläge, Schmelzwasser	Aufschüttungen (z.B. Halden, Kippen), Einschnitte (z.B. Tagebau), Anschnitte (z.B. Straßenböschungen)	Spannungsänderung
Änderung der Hanggeometrie	Unterspülung und Seitenerosion entlang der Gerinne	Hangan- und einschnitte	Spannungsänderung

Generell werden als bewegungsauslösende Faktoren jene Faktoren bezeichnet, die eine Massenbewegung initiieren. Durch sie wird das statische Grenzgleichgewicht überschritten und der Hang in den aktiv instabilen Zustand überführt. Wird eine Massenbewegung im Wesentlichen durch einen einzelnen Faktor ausgelöst und besteht ein zeitlicher Bezug zu dem Ereignis der Massenbewegung, dann wird dieser als auslösender Faktor bezeichnet.

Der dann in der Folge ablaufende Prozess der Massenbewegung wird durch Bewegung steuernde Faktoren bestimmt. Diese bestimmen maßgeblich das Volumen, die Geschwindigkeit und die Reichweite der bewegten Masse. Beispiele hierfür sind die Hangneigung und die Vegetation im Transport- und Ablagerungsbereich (Akkumulationsbereich).

Ursachen sowie bewegungsauslösende und –steuernde Faktoren von Massenbewegungen sind ausführlich in zahlreichen [Publikationen](#) beschrieben (z.B. [Ahnert 1996](#), [Dikau et al. 2001](#), [Krauter 1990](#), [Selby 1993](#), [Veder 1979](#)).

Arten der Massenbewegung

Types of mass movements

Bisher gibt es keine einheitliche nationale oder gar internationale Klassifikation der Massenbewegungen. Dies ist jedoch eine wichtige Voraussetzung, um die Vorgänge/Prozesse und die resultierenden Phänomene (vgl. [Abb. 1](#)) allgemein verständlich und grenzübergreifend exakt beschreiben und dokumentieren zu können.

So existiert derzeit eine Vielzahl von Klassifikationsvorschlägen (z.B. [Bunza et al. 1982](#); [Hutchinson 1988](#); [Nemčok et al. 1972](#); [Sassa 1989](#); [Varnes 1958, 1978](#)), die auf Grund

- i. des betroffenen Prozessraumes (Massenbewegungen im Festgestein und/oder Lockergestein),
- ii. der wirksamen Mechanismen und Prozesse,
- iii. der Prozessgeschwindigkeit. oder
- iv. des resultierenden morphologischen Erscheinungsbildes

vorgenommen werden.

Seitens der Geologischen Bundesanstalt werden alle Massenbewegungen in Anlehnung an den Vorschlag der UNESCO-Arbeitsgruppe „Weltweite Dokumentation von Rutschungen“ ([Multilingual Landslide Glossary 1993](#)) klassifiziert. Dementsprechend erfolgt einerseits eine Unterscheidung nach der Art und Geschwindigkeit des Transportprozesses, andererseits nach der geologischen Grobcharakteristik des Prozessraumes (vgl. [Tab. 3](#)).

So werden hinsichtlich der Prozessart kriechende, gleitende/rutschende, fließende, fallende/stürzende, und komplexe Massenbewegungen unterschieden. Häufig ist ein instabiler Hang jedoch nicht nur durch eine Prozessart, sondern durch zeitlich variierende Prozessarten und/oder Prozessräume gekennzeichnet (vgl. auch komplexe Bewegung in [Tab. 3](#)).

Eine eindeutige Zuordnung ist dann nicht möglich, oder muss dann über die augenscheinlichsten Phänomene, die maßgebliche Prozessart oder andere Kriterien erfolgen. Davon ausgehend wird eine weitere Untergliederung der Prozesse auf Grund der geologischen Grobcharakteristik bzw. Position des Prozessraumes in Prozesse des feinkörnigen und grobkörnigen Lockergesteins sowie des Festgesteins vorgenommen. Darauf basieren auch viele Prozess- und Objektbezeichnungen.

Tab. 3 Klassifikation der Massenbewegungen

Tab. 3 Classification of mass movements

Prozessart	Geschwindigkeitsbereich nach Krauter (1990) & Häfeli (1967)	Bezeichnungen (Beispiele)
Kriechen	mm pro Jahr bis mm pro Tag	Bodenkriechen, Schuttkriechen, Blockkriechen, Schuttstromkriechen
Gleiten/Rutschen	mm pro Jahr bis m pro Stunde	Felsgleitung, Bodenrutschung, Schuttrutschung
Fließen	m/s	Schlammstrom, Erdstrom, Schuttstrom, Mure
Fallen/Stürzen	größer als 20 m pro Sekunde	Bergsturz, Felssturz, Blocksturz, Steinfall
Komplex	Komplex und variabel	
- Kriechen/Gleiten/Rutschen	mm pro Jahr bis mm pro Tag	Talzuschub , Bergzerreißen, Sackung
- Kriechen/Gleiten/Rutschen	mm pro Jahr	Blockbewegung

Zur eindeutigen Identifizierung des maßgeblichen Prozesses können neben der Phänomenologie eines instabilen Hangbereiches auch Untersuchungen in der Umgebung beitragen. So ist es häufig der Fall, dass selten nur ein Hang instabil wurde, sondern zeitgleich mehrere Hänge instabil wurden.

Aufgrund unterschiedlicher natürlicher Voraussetzungen sowie Intensität der bewegungsauslösenden und – steuernden Faktoren weisen die instabilen Hangbereiche unterschiedliche Entwicklungsstadien auf, so dass Analogieschlüsse ermöglicht werden und eine Entschlüsselung der komplexen Prozessräume erfolgen kann (vgl. [Abb. 3a bis 3d](#)).



Abb. 3a:
Stadium 1: Anrissbildung bzw. initialer Abriss ohne Ausbildung einer Geländestufe.
Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 3a:
Stage 1: Tear-off edge.
Source: N. Tilch, Photo archives of GBA.



Abb. 3b:
Stadium 2: Abrisskanten (kleine Geländestufen) und erste initiale Bewegung des Materials (initiale Rutschung).
Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 3b:
Stage 2: Tear-off edge and initial movements.
Source: N. Tilch, Photo archives of GBA.



Abb. 3c:
Stadium 3: Abrissnische und Rutschmasse, die an der Stirn einen kleinen Stauwulst aus akkumuliertem Material bildet.
Quelle: A. Kociu, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 3c:
Stage 3: Landslide, characterized by Tear-off Edge, sliding mass movement and a Tossing bulge in front of.
Source: A. Kociu, Photo archives of GBA.



Abb. 3d
Stadium 4: Initiale Abrissbereiche (oben). Das zunächst als Rutschmasse herausbewegte Material ist letztendlich als Hangmure talwärts abgeflossen. Die auf dem Hang verbliebenen Massen der Hangmure auf der unversehrten Geländeoberfläche markieren die Bewegungsbahn.
Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 3d:
Landslide, which moved downhill as a mudflow.
Source: N. Tilch Photo archives of GBA.

Kriechen

Creeping

Es handelt sich beim Kriechen um langfristig langsam verlaufende, sich nicht beschleunigende Bewegungen ohne ausgeprägte Gleitflächen. Die Bewegungsrate beträgt wenige Millimeter bis Zentimeter pro Jahr. Der Kriechvorgang ist die Folge einer bruchlosen, (pseudo)plastischen Deformation der Gesteine.

Räumlich kann sich die Kriechgeschwindigkeit sowohl in der Tiefenerstreckung, wie auch in der Längs- und Querrichtung der bewegten Masse ändern. Beim kontinuierlichen Kriechen nimmt die Kriechgeschwindigkeit von der Oberfläche ausgehend in die Tiefe kontinuierlich ab.

Bewegen sich größere plastische Massen unmerklich langsam gletscherähnlich oder stromartig hangabwärts, werden diese als Kriechströme, oder auch als Erd- und Schuttstromkriechen bezeichnet.

In der Landschaft können diese Kriechbewegungen meist als Buckelwiesen ([Abb. 4](#)) wahrgenommen werden. Ein weiteres Anzeichen für langsame Bewegungen ist beispielsweise Säbelwuchs von Bäumen (vgl. [Abb. 12](#)).



Abb. 4 Buckelwiese und getreppte Hangtopographie in Folge einer langsamen Kriechbewegung.
Quelle: H. Kautz, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 4 „Hummocky meadow“ or gradate-like slope topography possibly indicates slowly creeping mass movements. Source: H. Kautz, Photo archives of GBA.

Gleiten/Rutschen

Glide/Slide

Unter Gleiten (Rutschen) werden Vorgänge verstanden, bei denen miteinander verbundene Massen des Fest- und/oder Lockergesteins entlang (i) einer oder mehrerer Gleitflächen oder (ii) entlang dünner Zonen intensiver Scherverformung ohne Verlust des Kontaktes zum unterlagernden Material eine hangabwärts gerichtete Bewegung vollziehen. Dieser Prozess oder der resultierende Prozessbereich wird im allgemeinen Sprachgebrauch als Rutschung verstanden (Rutschung im engeren Sinne).

Generell lassen sich auf Grund der Form der Gleitfläche und der vollzogenen Bewegung Rotations- und Translationsrutschungen unterscheiden. Reine Rotationsrutschungen sind scherspannungskontrollierte Bewegungen entlang einer oder mehrerer Flächen, bevorzugt in homogenen und kohäsiven Lockergesteinen (z.B. Tone, Schluffe). Die häufigste Form ist allerdings eine Abwärtsbewegung von kleinen deformierten Gleitkörpern entlang einer konkaven Gleitfläche im Anbruchbereich, kombiniert mit einer anschließenden Bewegung entlang einer ebenen Gleitfläche (vgl. [Abb. 5](#), links). Die Rotationsbewegung im Anbruchbereich erfolgt dabei mehr oder weniger um eine Achse, die parallel zum Hang liegt.

Bei einer Translationsrutschung bewegt sich die gleitende Masse entlang einer oder mehrerer vorgegebenen ebenen (oder leicht wellenförmigen) Trennflächen abwärts (vgl. [Abb. 5](#), rechts). Die Massen rotieren dabei nur wenig oder gar nicht.

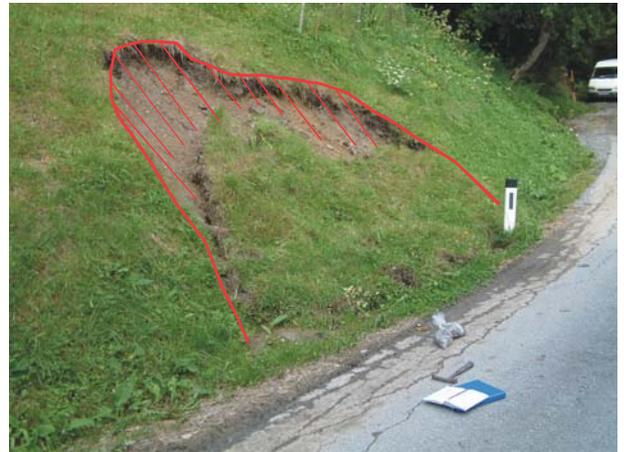


Abb. 5 Rotationsrutschung entlang einer gebogenen, konkaven Gleitfläche (links) und Translationsrutschung entlang einer ebenen Gleitfläche (rechts).
Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 5 Types of Landslides: Rotational slide (see left), translational slide (see right)
Source: N. Tilch, Photo archives of GBA.

Fließen

Flow

Unter Fließen wird eine kontinuierliche, irreversible Deformation von Gesteinen verstanden, bei der die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der bewegten Masse jener viskosen Flüssigkeiten gleicht. Das Verhältnis von Wasser zu Festmasse überschreitet das Verhältnis von 1 zu 1 nicht.

Fließende Prozesse kommen immer dann in Kombination mit anderen Massenbewegungen vor, wenn das bewegte Material nicht als Anhäufung vorliegt und zunächst aus dem Untergrund kriechend oder gleitend/rutschend gelöst werden muss.

Eine häufige Prozesskombination sind Hangrutschungen, als initialer Prozess, und sekundäre Hangmuren (vgl. [Abb. 6](#)). Der für den Fließvorgang notwendige hohe Wassergehalt in der bewegten Masse kann auf verschiedener Weise hervorgerufen werden.

Natürliche Ursache sind zumeist die im Einzugsgebiet, aber auch die Vorort, versickernden Niederschläge. Durch das entstehende Boden- und Grundwasser wird der Untergrund aufgeweicht und somit der Widerstand des Bodens gegen das Abgleiten herabgesetzt. Hinzu kommt, dass zufließendes Grundwasser bei entsprechenden Voraussetzungen einen hydrostatischen Druck ausüben kann.

Im Zuge des Herausgleitens des Gesteins kann es dann zu einer Gefügeauflockerung kommen, so dass bisher im Boden gebundenes Wasser frei wird. Zusammen mit weiterhin evtl. vorhandenem Niederschlag und gegebenenfalls neu entstandenen Quellen im Abrissbereich wird eine Verflüssigung der initial bewegten Masse herbeigeführt. Diese kann dann letztendlich als Hangmure auf der Oberfläche des Hanges in großer Geschwindigkeit zu Tal fließen.



Abb. 6 Komplexe Massenbewegung, bestehend aus (i) initialer Hangrutschung im Lockergestein und (ii) einer sekundär davon ausgehenden Hangmure. Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.

- a) Überblick des instabilen Hanges.
- b) Abrissbereich und Akkumulationsbereich der Hangrutschung sowie oberer Bereich der Hangmure.
- c) Abrisskante bis in das aufgelockerte Grundgebirge, dadurch freier Austritt des Grundwassers an mehreren Quellen.
- d) Transportbereich einer Hangmure mit seitlich akkumulierten Erdwällen und zentralem Transportkanal.
- e) Transportbereich der Hangmure. Erkennbar an der unversehrten Grasnarbe erfolgte der Massentransport auf der alten Geländeoberfläche.

Fig. 6 Complex mass movement.
Source: N. Tilch Photo archives of GBA.

- a) The instable slope – an overview.
- b) Tear-off edge and accumulation area of a landslide.
- c) Tear-off edge in soil and weathered rock, spring horizon.
- d) Transport area of a down hill mud flow flanked by earth barriers.
- e) Transport area of a down hill mud flow, marked by accumulated masses on intact surface and grass scar.

Fallen/Stürzen

Fall/Topple

Es handelt sich dabei um sehr schnell verlaufende Massenbewegungen, wobei die bewegten Massen völlig den inneren Zusammenhang und zumindest kurzzeitig auch den Kontakt zum unterlagernden Material verlieren. Meistens löst sich das Gestein abrupt entlang präformierter Trennflächen (Spalten, Klüfte). Im Zuge des anschließenden Fallprozesses (Fall- oder Sturzvorgang) verlagert sich das gelöste Material springend oder rollend weiter hangabwärts. Fallende und stürzende Prozesse werden auch durch einen Kippvorgänge (vgl. [Abb. 7](#)) eingeleitet. Dabei erfolgt das anschließend abstürzende Gestein eine Vorwärtsrotation um einen Punkt oder eine Achse unterhalb ihres Schwerpunktes. Typische Bereiche für fallende/stürzende Prozesse sind steile Böschungen oder Felswände.

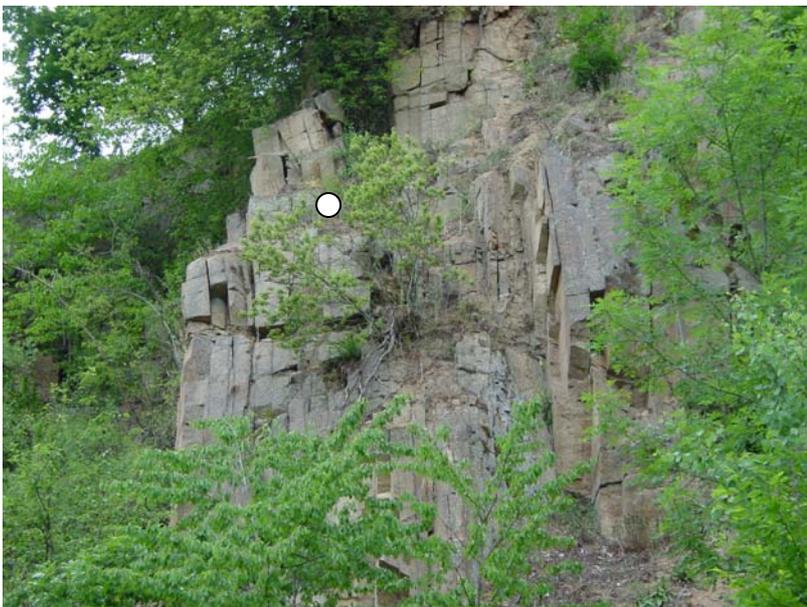


Abb. 7 Kippen: Der weiße Punkt kennzeichnet die Rotations-Achse der Kippbewegung.
Quelle: H. Kautz, Fotoarchiv der GBA.

Fig. 7 Topple: The Axis of rotation is marked by white Point.
Source: H. Kautz, Photo archives of GBA.

Tab. 4 Klassifikation der Massenbewegungen (Stürzen/Fallen) nach Volumen

Tab. 4 Classification of mass movements (Falling) after their volume.

Aufgrund des Volumens der bewegten Gesteinsmassen werden häufig unterschieden	
Blocksturz	Einzelblöcke, Volumen: 0,3-1 km ³
Steinschlag	Sturzmasse, Volumen: < 100m ³
Felssturz	100 m ³ bis 1 Mio. m ³
Bergsturz	zusammenhängende Felsmassen, Volumen > 1 Mio. m ³ oder Fläche > 0,1 km ²

Ein bekanntes Beispiel jüngeren Datums für einen Felssturz ist jener des Eiblschrofens in Tirol (siehe Webapplikation)



Abb. 8 Felssturzbereich Kohlschlagwald im Maltatal, Kärnten/Österreich.
Quelle: A. Kociu, Fotoarchiv der GBA

Fig. 8 Area of rock fall "Kohlschlagwald" in Malta Valley Carinthia/Austria.
Source: A. Kociu, Photo archives of GBA

Komplexe Bewegung

Complex movement

Eine komplexe Massenbewegung liegt dann vor, wenn die vorher genannten Prozesse in Kombination auftreten, wobei sich der Prozesstyp während der Hangabwärtsbewegung zeitlich und/oder räumlich verändert. Ein wichtiges Beispiel für komplexe und tiefgründige Massenbewegung ist der Talzus Schub.

[Stiny \(1941\)](#) prägte den Begriff „Talzus Schub“. Es handelt sich dabei um das ganz langsame Eingleiten steiler Bergflanken gegen die Mitte eines Tales. Die Geschwindigkeit ist dabei meist so gering, dass die Pflanzendecke nicht zerreißt und am Rande der Schubmasse keine offenen Risse auftreten. Der Begriff ist eine rein phänomenologische Beschreibung von Massen, die sich bereichsweise oder phasenweise im Kriechen und Rutschen/Gleiten befinden.

Gleitender Talzus Schub setzt sich aus der Bergzerreißung nach [Ampferer \(1939\)](#) und dem Talzus Schub im Sinne von [Stiny \(1941\)](#) zusammen. Danach ist der Talzus Schub ein unmerklich langsames Niedergehen bzw. Kriechen mehr oder weniger geschlossener Hangpartien in Richtung zumeist übertiefer Talfurchen. Die Hauptbewegung entspricht einer langsamen, großräumigen meist tiefgreifenden Kriechbewegung von Gesteinsmassen auf einer präformierten Gleitfläche. Die abgescherte Masse bewegt sich unter den Einflüssen von Schwerkraft und Eigengewicht langsam zu Tale. Nicht selten ist ein gleitender Talzus Schub als Initialstadium einer schnellen Translationsrutschung zu sehen.

In alpinen Räumen lassen sich vielerorts auch vorwiegend eher sackende Talzus Schübe nachweisen ([Laatsch & Grottenthaler 1972](#)). Als sackender Talzus Schub wird eine Bewegungskombination aus langsamer Abscherung an gebogenen (listrischen) Gleitflächen bzw. Bewegungsbahnen am Oberhang und bruchloser plastischer Kriechverformung in tieferen Hangbereichen bezeichnet. Die Gleitflächen enden im Fels des Oberhanges blind. Ab dort wird die Bewegung bruchlos weitergeführt, wobei der Hang dann allmählich das Tal zuschiebt.

Bruchhafte Verformungen am Oberhang und bruchloses, plastisches Versagen in der häufig tiefliegenden Schubspannungszone sind also in Bewegungsrichtung miteinander kombiniert. Die plastische Verformung von Fels oder Festgestein bezeichnen Laatsch & Grottenthaler (1972) als Felskriechen.

Eine wichtige Ursache von Talzus Schüben in den Alpen scheint der Rückzug der Gletscher nach der letzten Vereisung zu sein. So fehlte den durch Gletschererosion übersteilten Hängen nach Rückzug der Eismassen das stützende Hangwiderlager. Deshalb sind heute die ursprünglichen U-förmigen Talflanken nur in Bereichen mit sehr standfesten Gesteinen erhalten, nicht aber in Hangbereichen mit weicheren oder veränderlich festen Gesteinen.

Als weitere wichtige Ursache kann auch mancherorts die Erosion in der Talsohle angesehen werden, durch die das Widerlager entfernt wurde und somit eine Entlastungsbewegung im Hang hervorgerufen wird.

Talzus Schübe sind in der Natur häufig schwierig zu identifizieren. Dies liegt darin begründet, dass die Bewegungsraten häufig sehr klein sind und sich die Verformung nur in unauffälligen morphologischen Details äußert. Besonders in den oberen Hangbereichen und im Bereich der Bergtops, wo die bruchhafte Verformung überwiegt, sind deutliche morphologische Anzeichen ([Stumme Zeugen](#)) verbreitet, wie beispielsweise Doppelgratbildung oder Bergzerreißung (vgl. [Abb. 9](#)).

Abb. 9 Bildung eines Doppelgrates durch Bergzerreißung in den Kitzbüheler Alpen (Bundesland Salzburg, Österreich). Die ganzen Hangflanken kriechen langsam tiefgründig talwärts (Sackung), so dass die Unterhänge aufbeulen und das Tal verengen ([Talzus Schub](#)).

Quelle: N. Tilch, Fotoarchiv der GBA.



Fig. 9 Lateral spreading of mountains in the Kitzbüheler Alps (Salzburg/Austria). A deep seated creeping (sagging) causes that slopes narrow valleys downhill (Talzus Schub).

Source: N. Tilch, Photo archives of GBA

Stumme Zeugen

Silent witnesses

Stumme Zeugen sind Objekte, Formen oder Prozessspuren im Gelände, die Indizien für früher abgelaufene Prozesse der Massenbewegung sein können. Es handelt sich um Phänomene mit Indikatorfunktion, mit Hilfe derer auf den Prozessraum und/oder Prozessablauf geschlossen werden kann. Manchmal sind aber auch Informationen zu den prozessauslösenden Faktoren und/oder zum Zeitpunkt/Zeitraum ableitbar.

Stumme Zeugen können geologisch-struktureller, geo(-morphologischer) oder botanischer Natur sein (vgl. Abb. 1 bis 12), so dass für eine sachgerechte Beurteilung im Gelände disziplinübergreifende Kenntnisse unerlässlich sind. Zahlreiche Publikationen liefern Beispiele und Informationen zu dieser Thematik (z.B. [Hübl et al. 2002](#); [Dikau et al. 1997](#); [Prinz 1982](#); [Reuter et al. 1992](#)).

Im Allgemeinen gilt: Je weiter das eigentliche Ereignis zeitlich zurückliegt, umso unscheinbarer sind die Stummen Zeugen und schwieriger ist deren Interpretation. Dies liegt vor allem in den zwischenzeitlich progressiv wirkenden Prozessen der Verwitterung und Erosion begründet. Ehemals deutlich erkennbare Phänomene werden somit zunehmend durch andere und jüngere Phänomene maskiert.

So sind beispielsweise junge Rutschungen und Felsstürze noch deutlich über frische Abrisse, die häufig eine deutliche Geländestufe bilden, zu erkennen. Ist die Abrisskante gebogen, so bildet sich eine von Abrisskanten umgebene Hangmulde (Abrissbereich, Abrissnische) heraus, da aus dieser im Zuge der Massenbewegung Material heraustransportiert wurde (vgl. [Abb. 10](#) und [Abb. 11](#)). Hangabwärts befindet sich der Ablagerungsbereich, welcher sich zumeist aufgrund der Materialakkumulation als positive morphologische Geländeform aus der Umgebung abhebt. Bei reinen beschleunigten Bewegungen (Fließen, Fallen/Stürzen) ist dem Abrissbereich (Liefergebiet) und dem Akkumulationsbereich (Ablagerungsgebiet) noch ein Transportbereich zwischen geschaltet. Dieser unterscheidet sich morphologisch vergleichsweise nur wenig von der seitlichen Umgebung, und ist beispielsweise häufig nur anhand von frischen Schlagmarken und Schäden an Bäumen und/oder Bauwerken zu erkennen.



Abb. 10 Schmittenschloß bei Hintertux/Tirol/Österreich - Noch recht junger, vegetationsfreier Felssturzgebiet mit Abrissnische (oben) und Ablagerungsbereiche (unten). Aufgrund bereichsweise verschiedenartiger morphologischer Phänomene innerhalb des Ablagerungsbereiches kann auf wiederholte Aktivitäten geschlossen werden (siehe z.B. Schuttkegel direkt unterhalb der Abrissnische und daran talwärts anschließender Schuttfächer).

Quelle: C. Janda; Fotoarchiv der GBA

Fig. 10 Schmittenschloß near Hintertux/Tyrol/Austria - Recent rock fall area with tear-off niche (top) and accumulation area (below). Different shapes of debris fans mark different ages of events.

Source: C. Janda; Photo archives of GBA.

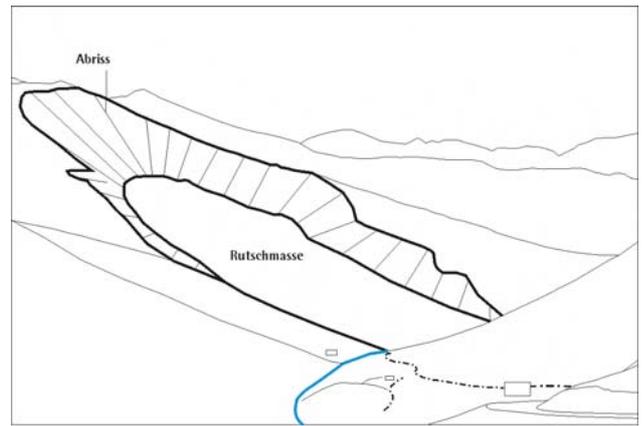


Abb. 11 Alter, mittlerweile bewachsener Bereich einer Hangrutschung: Obere Rutschmasse (Bildmitte) und Abrissnische (oben links) mit deutlichen, jedoch mittlerweile etwas eingeebneten Abrisskanten. Im Bildbereich unten rechts läuft die Hohlform etwas aus. Dort beginnt der Transportbereich.
Quelle: H. Kautz, Fotoarchiv der GBA. Graphik: H. Kautz, FA Ingenieurgeologie

Abb. 11 Old Landslide, covered with vegetation. On the top a levelled tear-off niche, below the moving mass and the beginning of the transportation area.
Source: H. Kautz, Photo archives of GBA. Graphics: H. Kautz, Dep. of Engineering Geology

Hinsichtlich des Alters, sowie der Dynamik, wiederholten Aktivität und Art einer Massenbewegung kann die Baumvegetation wichtige Informationen liefern, sofern die Bewegung des Standortuntergrundes zumindest zu einer leichten Kippung des Baumes geführt.

Dann ist der Baum anschließend bestrebt senkrecht weiter zu wachsen, was zunächst an den Jungtrieben später an der Krümmung des Baumstammes erkennbar sein kann. Erfolgt die Kippung abrupt, so entsteht der so genannte Hakenwuchs. Erfolgt die Kippung in kleinen fortwährenden Schritten, wie beispielsweise während eines Kriechvorganges, und stets in die gleiche Richtung, dann resultiert der so genannte Säbelwuchs ([Abb. 12](#)).

Durch den Vergleich der Wuchsformen verschiedener Bäume untereinander kann dann auf Bereiche unterschiedlicher Prozessart, -alter und Art der Massenbewegung geschlossen werden (vgl. [Abb. 13](#) und [Abb. 14](#)). Nicht immer ist die Wuchsform eines Baumes auf Rutsch- oder Kriechbewegungen zurück zu führen. So wachsen beispielsweise Bäume in steileren Hanglagen allein auf Grund der Hangneigung säbelartig. Beispiele weiterer wichtiger vegetationspezifischer Indikatoren für Massenbewegungen sind fehlender Baumbestand, aufgrund flachgründiger, die initialen Baumwurzeln abscherender Bewegungen, Zerrungserscheinungen in der Grasdecke, die mit der Zeit zu Kahlstellen führen.



Abb. 12 Säbelwuchs eines Baumes auf einer bewegten Geländeoberfläche. Die Form des Krummwuchses kann über Alter und Geschwindigkeit der Massenbewegung Auskunft geben.

Quelle: H. Kautz, Fotoarchiv der GBA.

Abb. 12 Sabre-growth of a tree caused by mass movement. Different kinds of sabre growth allow getting information about the character of the mass movement.

Source: H. Kautz, Photo archives of GBA.

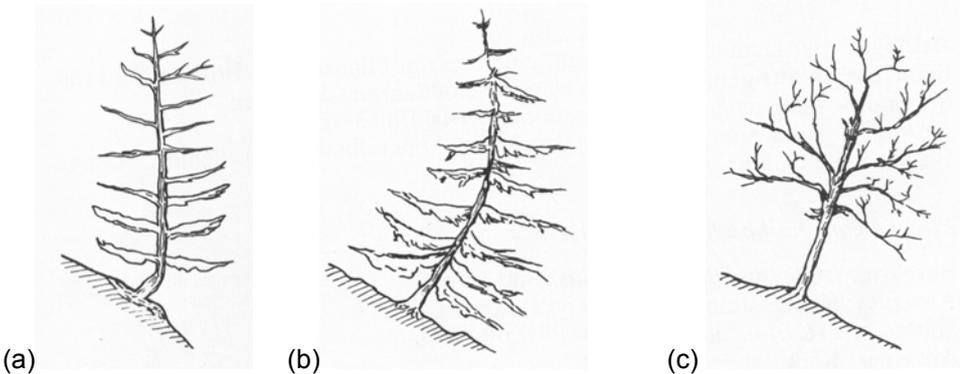


Abb. 13 Aus der Wuchsform des Baumstammes Hakenwuchs (a), Säbelwuchs (b) und Richtung der Jungtriebe (c) können Alter und Art der Bewegung abgeleitet werden. (nach [Zaruba & Mencil 1961](#))

Fig. 13 Hook-growth (a), sabre-growth (b) and direction of the growth of the young sprout give us hints for moving masses.(after [Zaruba & Mencil 1961](#))

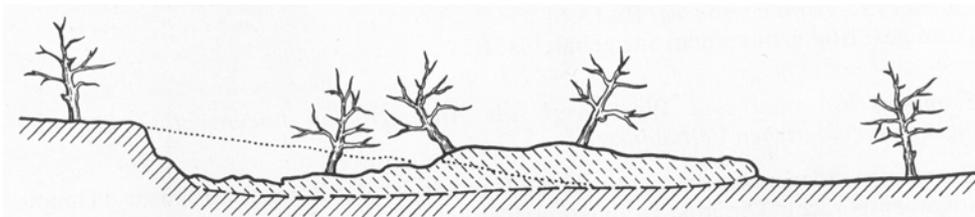


Abb. 14 Betrunkener Wald ([nach Zaruba & Mencil 1961](#))

Abb. 14 Drunken Forest ([after Zaruba & Mencil 1961](#))

Literatur

Literature

- Ahnert, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie.- Stuttgart (Ulmer-Verlag).
- Ampferer, O. (1939): Über einige Formen der Bergzerreißung, Sitz. Ber. Akad. Wiss. 148, Wien.
- Bunza G., Karl, J., Mangelsdorf, J. (1982): Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde.- Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 17; München.
- Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L. & Ibsen, M.-L. (1997): Landslide recognition – Identification, movement and causes.- New York (John Wiley & Sons).
- Dikau, R., Stötter, J., Wellmer, F.-W. & Dehn, M. (2001): Massenbewegungen.
In: Plate, E. J. & Merz, B. (Hrsg.): Naturkatastrophen; Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung) S. 115-138.
- Hübl, J., Kienholz, H. & Loipersberger, A. (2002): DOMODIS – Documentation of mountain Disasters - Interprevent, Schriftenreihe 1, Handbuch 1; Klagenfurt.
- Hutchinson, J.N. (1988): General report: morphological and geotechnical parameters in relation to geology and hydrogeology.
In: Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 10–15 July 1988, Lausanne, Switzerland. Edited by C. Bonnard. A.A. Balkema, Rotterdam. Vol. 1, S. 3–35.
- Krauter, E. (1990): Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihre Massenbewegungen.
In: Grundbau-Taschenbuch, 4. Aufl., 1. Berlin (Ernst&Sohn). S. 565-614;
- Laatsch, W. und Grottenthaler, W. (1972): Typen der Massenverlagerungen in den Alpen und ihre Klassifikation.
In Forstwissenschaftliches Centralblatt Nr. 91.. Bern. S. 309-339
- Multilingual Landslide Glossary (1993) in: Dikau R. et al. (1996): Landslide Recognition. John Wiley & Sons; New York. 251 S.
- Nemčok et al. 1972: Classification of Landslides and other Mass Movements;
In: Rock Mechanics, 4. Springer Verlag, Wien. S. 71-78.
- Prinz, H. (1982): Abriß der Ingenieurgeologie.- Stuttgart (Enke-Verlag).
- Reuter, F., Klengel, K. J. & Pašek, J. (1992): Ingenieurgeologie, 3. Aufl. Leipzig (Deutscher Verlag f. Grundstoffindustrie GmbH) 603 S
- Sassa K. (1989): Geotechnical classification of landslides.
In: Landslide News, 3. S. 21-4
- Selby, M.J. (1993): Hillslope materials and processes (2nd ed.).- Oxford (Oxford Univ. Press)
- Skempton A.W. (1964): Long-Term Stability of clay slopes.
In: Géotechnique, 14. S. 77-101.
- Skempton A.W. (1985): Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory.
In: Géotechnique. 35. S. 3-18.
- Stiny J. (1941): Unsere Täler wachsen zu.
In: Geologie und Bauwesen, Heft 13, Wien.
- Varnes, D.J. (1958): Landslides types and processes;
In: Highway Research Board, Special Report No.29. Washington, DC. S. 20-47.
- Varnes, D.J. (1978). "Slope Movements And Types And Processes." Landslides Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report, 176:11-33.
- Veder, C. (1979): Rutschungen und ihre Sanierung.- Wien (Springer-Verlag).
- Zaruba Q. & Mencil V. (1961): Ingenieurgeologie. Akademie Verlag. Berlin. 606 S.
- Eine detaillierte Studie zu „Stummen Zeugen“ ist unter http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/_/H871-alpine/Downloads/ETALP_Stumme_Zeugen.pdf zu finden.
- A detailed study in german language about silent witnesses is available at http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/_/H871-alpine/Downloads/ETALP_Stumme_Zeugen.pdf