

**GROSSHANGBEWEGUNGEN DES HALLSTÄTTER RAUMES
– GEOTECHNIK – KINEMATIK – BEWEGUNGSMECHANISMUS**

**GIANT MASS-MOVEMENTS IN THE AREA AROUND HALLSTATT
– GEOTECHNIC – KINEMATIC – MECHANISM OF MOVEMENT**

Michael Moser¹⁾, Michael Lotter²⁾ und Harald Meier³⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ablösen mächtiger Felstürme von den Rändern spröder Gesteinsplatten, die auf weichen, duktilen Schichtabfolgen lagern, stellt im Hallstätter Raum in mehreren Gebieten eine akute Gefährdung von Siedlungen und Verkehrswegen dar. Zum einen stellt sowohl das Instabilwerden der an sich festen Deckplatte durch die Felsturmablösung und resultierende Felsstürze eine potentielle Gefahrenquelle dar, andererseits können Massenbewegungen (Schuttströme, Muren) in den weichen Gesteinsabfolgen dadurch ausgelöst werden. Die hier vorgelegten Untersuchungen beziehen sich auf Blockbewegungen und Turmablösungen auf der Plassen Ostseite oberhalb Hallstatt und Schuttstromerscheinungen an der Zwerchwand im Raume Bad Goisern.

ABSTRACT

The disintegration of brittle cap-rocks into huge blocks resting upon a weak basement is a widespread phenomenon of slope instability in the region of Hallstatt – Bad Goisern. This geotechnical situation results in block toppling and block sliding of the pinnacles – earth flows and debris flows in the weak sequences. Consequently, a lot of hamlets, villages and traffic roads in Alpine regions are threatened by the mass movements. The investigations refer to mountain splitting areas and block-type movements of the eastern slope of the Plassen-massive/Hallstatt and earthflow phenomena in the area of Bad Goisern.

I. EINFÜHRUNG

Der Hallstätter Raum ist geologisch einerseits gekennzeichnet durch wandbildende Formationen (z. B. Gutensteiner Kalk, Dachstein Kalk, Hallstätter Kalk, Plassen Kalk) andererseits durch unterlagernde weiche, flach geneigte Bereiche (z. B. Haselgebirge, Allgäuschichten, Zlambachmergel). Diese geotechnische Konstellation „Hart auf Weich“ ist sowohl durch ein Instabilwerden der an sich festen Deckplatte in Form von Fels- und Bergstürzen, als auch durch Kriech- und Gleiterscheinungen in der Unterlage gekennzeichnet. Solche geotechnischen Gegebenheiten führen besonders im alpinen Bereich in gewissen Zeitabständen zu einer massiven Bedrohung von Siedlungen und Infrastruktur.

Eine besondere Aktualität erhält das Studium solcher Ablöse- und Bergzerreißungsvorgänge durch die Tatsache, dass die mobile Unterlage bei geeigneten geologischen Voraussetzungen durch das Herabstürzen der Felsmassen mobilisiert werden kann und in Form von großen Schuttströmen reagiert, die murenhaften Charakter annehmen können. Hier lassen sich stellvertretend die Felsstürze von 1982 an der Zwerchwand (Oberösterreich) erwähnen, die ursächlich für die Auslösung des Schuttstroms Stambach (8.000.000 m³) waren, der zur Katastrophensituation für die Gemeinde Bad Goisern führte.

¹⁾ Prof. Dr., Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Schloßgarten 5, D-91054 Erlangen (Tel.: +49-9131-852-2697; FAX: +49-9131-852-9294; e-mail: moser@geol.uni-erlangen.de); ²⁾ Dr., ILF Beratende Ingenieure, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck, ³⁾ Dipl.-Ing., Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Schloßgarten 5, D-91054 Erlangen

II. KURZKENNZEICHNUNG DES PHÄNOMENS BERGZERREISSUNG UND DES SYSTEMS „HART AUF WEICH“

Der Begriff der Bergzerreißung („spreading of mountain ridges“, „mountain splitting“) umfasst eine Vielfalt von morphologisch-geologischen Interpretationsmöglichkeiten. Diese gehen zunächst von einer qualitativen Beschreibung bestimmter hangtektonischer Kennzeichen innerhalb instabiler Hänge und in den Kammregionen von Bergen aus:

- alle Übergänge von Undulationen bis zur Spaltenbildung in den oberen Bereichen von Sackungen/Talzuschieben
- offene Großklüfte in Gipfelregionen verbunden mit der Auflockerung des Gebirges
- großräumige mulden- und grabenähnliche Strukturen, Spaltenbildung und Blockbewegungsfelder in Hangflanken innerhalb spröder Gesteinsformationen

Bergstürze, Felsstürze und Felsgleitungen treten nicht nur als eigenständige, plötzliche Massenbewegungen auf, sondern können eine resultierende, sekundäre Folge dieser Form der Hanginstabilität in Festgesteinen darstellen. In ihnen und in sekundären Lockergesteinsbewegungen (Muren, Schuttströme) sind die eigentlichen Gefahrenpotentiale von Bergzerreißungen begründet.

Die Ausbildung und die Formen von Zerreibungen hängen im wesentlichen von den mechanischen Eigenschaften der Gesteine, insbesondere vom vorhandenen Trennflächengefüge, ab. Die Begriffsbestimmung der Bergzerreißung geht auf Ampferer (1939, 1940) zurück.

Die von Poisel, Eppensteiner (1989) als Geomechanik-System „Hart auf Weich“ bezeichnete geologisch-geotechnische Konstellation einer harten spröden Deckplatte über einem weichen duktilen Sockel verursacht die Zerlegung der starren Platte in ihrem Randbereich. Poisel, Eppensteiner beschreiben die möglichen Versagensmechanismen derartiger Talflanken mit dem Abfahren, Abgleiten oder Kippen turmartiger bzw. plattenförmiger Kluftkörper am Rand des kompetenten Felskörpers auf dem inkompetenten Sockel (Abb. 1). Das Instabilwerden der an sich festen Deckplatte durch Kriech- und Gleiterscheinungen in der Unterlage als auch Grund- und Kippbruch der Felstürme mit resultierenden Felsstürzen und Felsgleitungen sind dafür kennzeichnend. Zudem ist die duktile Schichtfolge durch zunehmende Zugänglichkeit für Wasser über die öffnenden Spalten und Klüfte verstärkt der Erosion und Verwitterung ausgesetzt, weshalb Poisel, Eppensteiner (1989) einen „Selbstverstärkungseffekt“ postulieren.

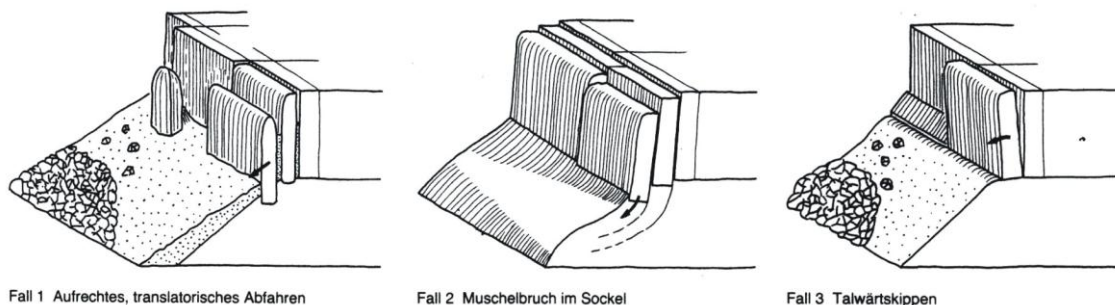


Abb. 1: Bewegungsmöglichkeiten plattenförmiger bzw. turmartiger Großkluftkörper am Rand des Systems „Hart auf Weich“ nach Poisel, Eppensteiner (1989)

Für den Hallstätter Raum kommt besonders im Rahmen des geomechanischen Systems „Hart auf Weich“ die Konstellation einer spröden Deckplatte, die einen mächtigen, duktilen Sockel überlagert (Haselgebirge, Liasfleckenmergel), in Frage. Diese Konstellation zeigt eine charakteristische Entwicklung hinsichtlich der morphologischen Ausbildung als auch der Kinematik der Bergzerreißung und sekundärer Massenbewegungen:

- initiiert durch Versagensmechanismen der unterlagernden weichen Schichtfolgen (Beanspruchung über der Kriechfestigkeit bis zum Scherbruch bei Dominanz der kontinuierlichen Kriechprozesse)
- hangtektonische Zerlegung der spröden Deckplatte unter Verwendung des präexistente Trennflächengefüges mit Riss-, Spalten- und Grabenbildung
- progressive Disintegration hin zum Rand der Deckplatte mit der räumlichen Isolierung einzelner Felszüge und Felstürme verbunden mit der Ausbildung von Blockzerlegungsfeldern und Blockschutthalde
- Ablösung von Felstürmen am Rand der spröden Deckplatte durch Kipp- und Gleitbewegungen
- Schuttströme und Muren in den duktilen Abfolgen (Abb. 2)

Das Gefahrenpotential ist in beiden Fällen demnach in erster Linie durch eine potentielle Felssturzgefahr (Kippbruch) am Rand spröder Deckplatten, aber auch durch eine Mobilisierung der weichen Gesteinsmassen und des auflagernden Blockschutts in Form von Schuttströmen, insbesondere bei einem mächtigen duktilen Unterlager, gegeben.

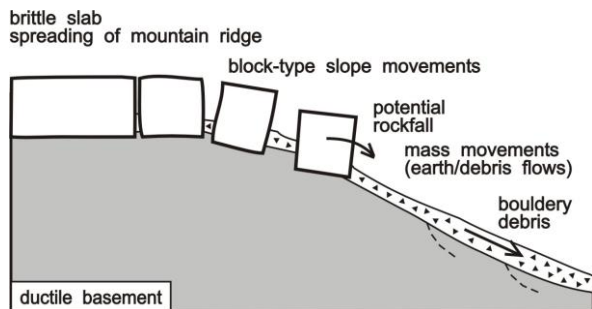


Abb. 2: Eine spröde Deckplatte überlagert einen mächtigen duktilen Sockel (schematisch)

III. DIE GEOMECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN DES INKOMPETENTEN UNTERLAGERS

Verantwortlich für die rezent anhaltenden Bergzerreißungsvorgänge der Steinbergkogel-Scholle wie auch der gesamten Plassen-Ostflanke sind vorwiegend die mechanischen Eigenschaften des oberflächlich aufgeschlossenen, die spröden Kalksteine unterlagernden und den Hallstätter Salzstock abdichtenden, obersten Verwitterungs- bzw. Auslaugungshorizonts des Haselgebirges. Untergeordnet müssen auch verwitterte Zlambachschichten in Betracht gezogen werden. Beide sind im bodenmechanischen Sinne als bindiger Boden zu bezeichnendes Lockergestein (Tab. 1).

Bodenmechanische Kennwerte	Rohn (1987) Haselgebirge Roßalm/G.	Rohn (1991) Haselgebirge Zwerchwand	Merkel (1989) Haselgebirge H. Salzberg	Lotter (2001) Haselgebirge H. Salzberg	Lotter (2001) Zlambachsch. H.-Salzberg
Kornverteilung	schluffiger Ton	schluffiger Ton	toniger Schluff	schluff. Ton - ton. Schluff	toniger Schluff
Kornwichte [kN/m ³]	26,8	----	26,5	26,9 - 27,9	26,6 - 26,9
n. Wassergehalt [%]	30 - 38	----	30 - 39	24 - 33	25 - 26
Ausrollgrenze [%]	22	21 - 22	28,6	28,6 - 33,1	29,6 - 35,3
Fließgrenze [%]	44	34 - 37	43	49,8 - 56,2	45,5 - 46,9
Plastizitätszahl [%]	22	13 - 16	14,4	18,8 - 26,4	10,2 - 17,3
Plastizität nach CASAGRANDE	mittelplastischer Ton	mittelplastischer Ton	mittelplastischer Schluff	stark plast. Ton und Schluff	mittelplastischer Schluff
Konsistenzzahl	0,28 - 0,71	----	0,27 - 0,9	0,78 - 1,38	1,21 - 1,97
Konsistenz Aufschl.	s. weich - weich	----	s. weich - steif	steif - halbfest	halbfest - fest
Reibungswinkel φ'	27°	24,6°	24,9°	20° und 23°	----
Kohäsion c' [kN/m ²]	16	18	16,4	29 und 8	----
Karbonatgehalt [%]	----	0 - 5	----	6,5 - 7,5	32,1 - 39,1
Glühverlust [%]	----	1 - 2	----	4,7 - 5,0	4,8 - 6,6

Tab. 1: Bodenmechanische Kennwerte des ausgelaugten Haselgebirges und der angewitterten Zlambachschichten; für das Haselgebirge sind zum Vergleich die von Rohn (1987, 1991) und Merkel (1989) gegebenen Werte mit aufgeführt.

IV. DIE BERGZERREISSUNGSFELDER UND FELSSTURZKONSTELLATIONEN AN DER PLASSEN-OSTSEITE BEI HALLSTATT

Die Region um Hallstatt einschließlich des Salzberg-Hochtals ist seit historischer Zeit für ihre instabilen Hangbereiche mit zahlreichen Massenbewegungen wie Rutschungen, Felsgleitungen und –stürze, Schuttströme und Muren bekannt (vgl. Wirobal 1973, 1994; Hauswirth, Scheidegger 1988; Merkl 1989; Lotter et al. 1998). Relativ weiche, rutschungs- und kriechnanfällige Sedimente und mächtige, spröde-karbonatische Abfolgen als Wandbildner kommen in Verbindung mit einem glazial teilweise extrem übersteilten und übertieften Relief vor. In der Umgebung sind 9 größere Felsstürze im Zeitraum 1652 bis 1985 sowie 12 Muren mit Schadensereignissen zwischen 1709 und 1968 beschrieben (Wirobal 1994). Dies bedeutet einen Schnitt von 42 Jahren für die Stürze und 24 Jahren für die Muren. Zudem werden relativ häufig stärkere seismische Ereignisse verzeichnet. Nach der geschichtlichen und statistischen Auswertung Wirobal's wurden zwischen den Jahren 1348 und 1994 in Hallstatt 42 spürbare Erdbeben registriert, davon allein 22 im 20. Jahrhundert (alle 5 Jahre ein Beben). So kann davon ausgegangen werden, dass die älteren Aufzeichnungen bei weitem nicht vollständig sind.

Der gesamte Bereich über einen Höhenunterschied von 850 m (1.100 – 1.950 m ü NN) von der Abbruchwand am Roten Kögele bis zum Plassen-Gipfel ist Schauplatz verschiedener Stadien großräumiger, komplexer gravitativer Bergzerreißungsprozesse mit wiederholter Felssturzakktivität über dem ausgelagten, tonig-schluffigen Verwitterungshorizont des Salzstocks (Abb. 3, 4). Aufgrund der akuten Felssturzfähdung wurde der untere Teil der Talflanke die sog. Steinbergkogel-Rote Kögele-Scholle für die weiteren systematischen Untersuchungen ausersehen. Der Kontakt der Deckplatte zum mächtigen Unterlager ist rein salz- und hangtektonischer Natur mit verschiedenen Stadien großräumiger Bergzerreißungsvorgänge.

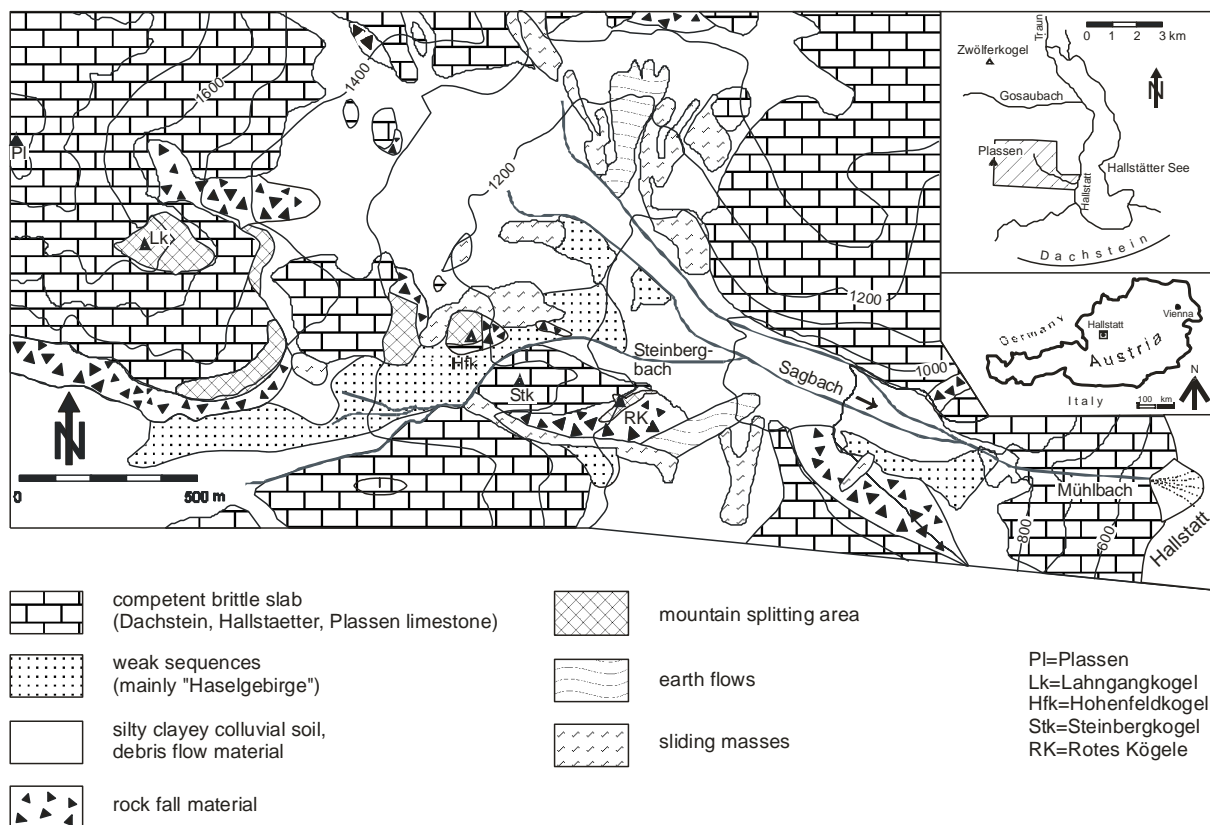


Abb. 3: Ingenieurgeologische Übersichtskarte des Hallstätter Salzberges; vereinfacht nach Merkl (1989) und modifiziert nach Lotter (2001)

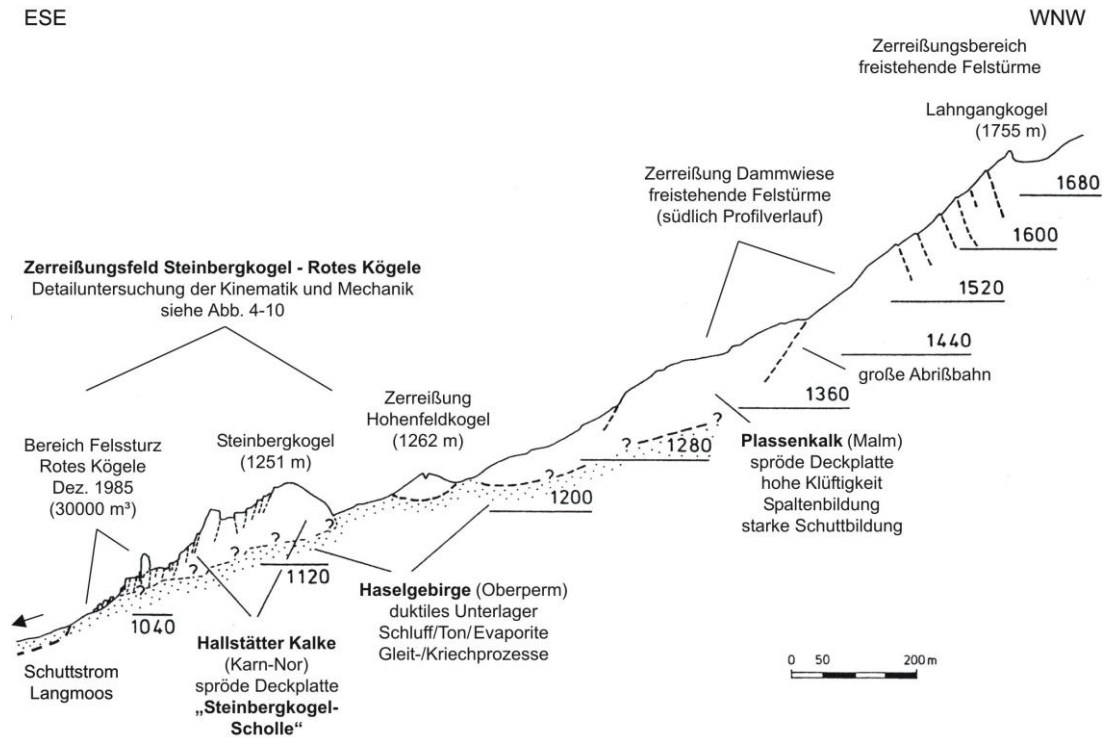


Abb. 4: Geotechnischer Längenschnitt der Plassen-Ostflanke zwischen Rotem Kögele und Lahngangkogel; zusammengestellt nach Merkl (1989) und unpublizierten Aufnahmen



Abb. 5: Blick von Ost nach West auf die Bergzerreißungen der Plassen-Ostflanke; im Vordergrund die Abbruchwand des Roten Kögele; dort haben sich 1981 ein kleinerer (800 m³) und im Dezember 1985 ein großer Felssturz durch Kippbruch (30.000 m³) ereignet, wodurch die unterhalb gelegene Forststraße Hallstatt-Salzberg verschüttet wurde (Aufnahme August 1995)

IV.1. DIE GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHE SITUATION DES BERGZERREISSUNGSFELDES ROTES KÖGELE – STEINBERGKOGEL

Die Steinbergkogel-Scholle (Gesamtkubatur ca. 2 bis 3 Mio. m³) umfasst eine Fläche von 0,06 km² und weist eine durchschnittliche Hangneigung von 23° vermutlich entsprechend der Diskontinuitätsfläche zum Haselgebirge auf. Besonders aktive hangtektonische Bewegungsvorgänge erfolgen am östlichen Rand der Kalkplatte an der talseitigen Hangkante (Hauptabrisskante). Hier ereignete sich im südöstlichen Abschnitt am 3. Dezember 1985 morgens um 6.35 Uhr ein Felssturz durch Kippbruch des Roten Kögeles mit einer Kubatur von ca. 30.000 m³ (vgl. Hauswirth, Scheidegger 1988). Dabei wurde die Forststraße Hallstatt – Salzberg verschüttet. Aufgrund der geologischen Verhältnisse (undrainierte Belastung des Haselgebirges durch Sturzblöcke) befürchtete man analog zur Situation an der Zwerchwand (Schuttstrom Stambach/Bad Goisern; Rohn 1991, Schäfer 1983; s. Kap. 5) eine Aktivierung des talwärts anschließenden Schuttstromes Langmoos, diese blieb aber weitgehend aus. Diesem Ereignis vorausgegangen war ein kleinerer Felssturz 1981 mit 800 m³ im mittleren Teil der Abbruchwand, der ebenfalls die Forststraße erreichte.

Hinsichtlich des Gefährdungspotentials ist besonders der Bereich der Hauptabrisskante am Roten Kögele interessant.

Die größtenteils aus Flächen der Kluftschar K₁ gebildete, mit 25° bis 30° SSW-NNE streichende Abbruchwand hat eine Länge von ca. 120 m und eine max. Höhe von 45 m. Der südliche Teil dieser Zone wurde auf einem 45 m langen Abschnitt durch den Felssturz 1985 vollkommen umgestaltet. Die Abrisskante wurde um bis zu 15 m nach Nordwesten zurückversetzt, wobei die Felswand ca. 10 bis 20 m ihrer ursprünglichen Höhe eingebüßt hat (heutige max. Wandhöhe 36,5 m an dieser Stelle).

Annähernd senkrecht zur Abrisskante durchtrennen steilstehende, NW-SE streichende Großklüfte der Kluftschar K₂ die Abbruchwand in vier teilweise als freistehende Felstürme herauspräparierte Abschnitte. Die noch relativ unverwitterte helle, gelblich-rötliche Abrissfläche von 1985 ist mit dünnen Rissen durchsetzt, die die Gefahr von teilweise bereits stattgefundenen, kleineren Nachbrüchen dokumentieren.

Im gesamten Abbruchbereich oberhalb der Forststraße Hallstatt – Salzberg ist auch rezent die Ablösung einzelner Felsblöcke und –türme zu beobachten. Die derzeit größte potentielle Felssturzgefahr geht von dem 40 m hohen Felsturm (ca. 5.000 m³) der nördlichen Hauptabrisskante aus, der bei einem Absturz in jedem Fall die Forststraße unterhalb erreichen würde (Hangneigung vom Fuß des Felsturms bis zur Forststraße ca. 35°). Der messtechnische Nachweis (Kap. 4.2) bestätigt die augenscheinliche Annahme einer komplexen Gesamtbewegung dieses derzeit größten, freistehenden Felsturms, bei dem ein talwärts gerichteter Kipp-Prozess (Externrotation nach Osten) identifiziert werden kann.

IV.2. DIE KINEMATIK UND DER BEWEGUNGSMECHANISMUS

Vorbemerkung:

Die rezente hangtektonische Aktivität in Abhängigkeit der geologisch-geotechnischen Situation bedeutet für Teilbereiche des Gebiets zwischen Plassenstein im Westen und dem Ort Hallstatt im Osten ein hohes Gefahrenpotential für Mensch und Infrastruktur, ausgehend von verschiedensten Typen der Hanginstabilität in enger räumlicher Verteilung.

Vom Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Erlangen-Nürnberg wurden zunächst für die Gebietsbauleitung Bad Ischl der Wildbach- und Lawinenverbauung zur Neuprojektierung des Wildbacheinzugsgebiets des Hallstätter Mühlbachs umfangreiche ingenieurgeologische Aufnahmen mit ersten Detailuntersuchungen einzelner Massenbewegungen im Rahmen eines geotechnischen Gutachtens und einer Diplomarbeit durchgeführt (Merkl 1989).

In diesem Zusammenhang sind in den Jahren 1987/1988 unter Kenntnis der langjährigen, punktuellen geodätischen Untersuchungen zur Kinematik dieser Region und der daraus bekannten Entwicklung des Felssturzes von 1985 die ersten 26 Präzisionsmaßbandstrecken nach den Ergebnissen der geotechnischen Kartierung zur systematisch-flächenhaften Erfassung des Bergzerreißungsprozesses zwischen Steinbergkogel und der Abbruchwand bzw. dem Felssturz-Schuttfeld am Roten Kögele eingerichtet worden.

Mit Unterstützung der Gebietsbauleitung Bad Ischl wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie der Universität (TH) Karlsruhe ein lokales geodätisches Messnetz in dem in vier geotechnisch-kinematische Zonen gegliederten Bergzerreißungsfeld der Steinbergkogel-Scholle projektiert. Es erlaubt mit einer relativ hohen Objektpunkt-Dichte nach mehreren Messkampagnen zwischen August 1995 und Mai 1997 erstmalig wichtige, längerfristige Aussagen über den absoluten räumlichen Bewegungsvorgang von Teilbereichen mit besonders hohem Gefahrenpotential, aber auch über die gesamte, im Haselgebirge „schwimmende“, karbonatische Deckplatte.

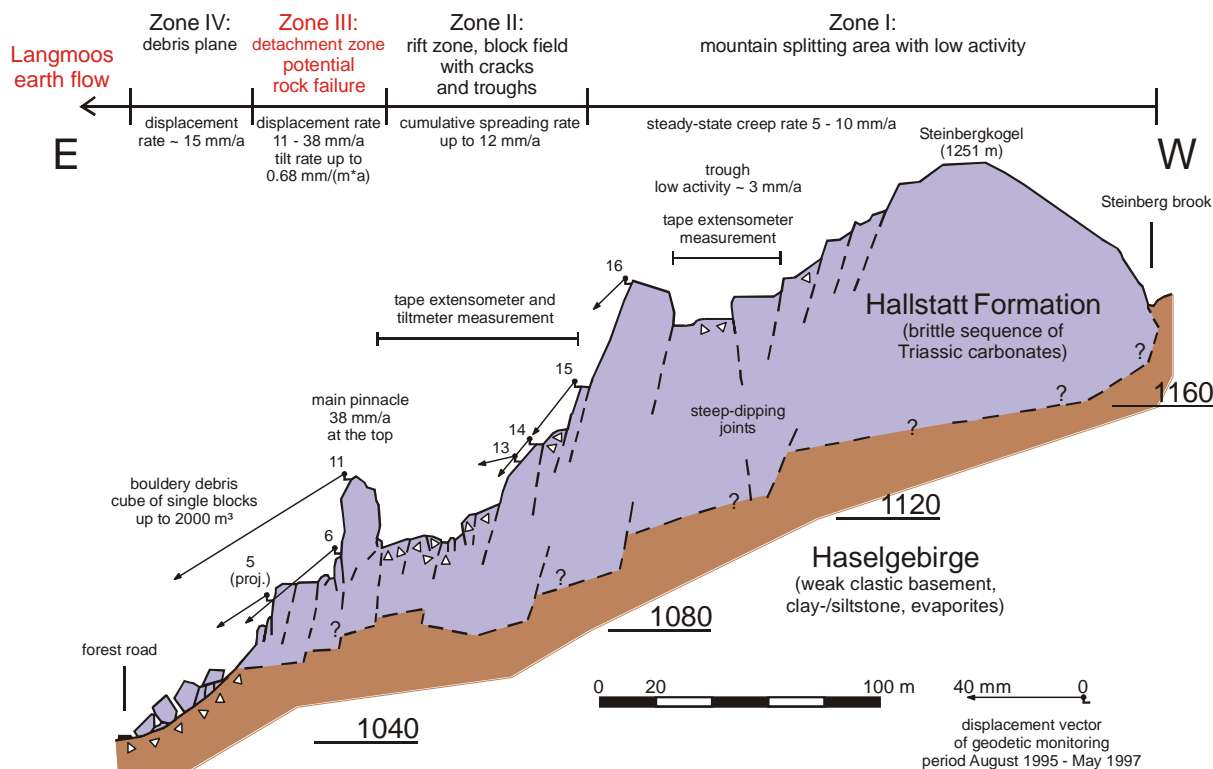


Abb.6 : Geotechnischer Längenschnitt durch die Steinbergkogel-Scholle mit Messeinrichtungen und ausgewählten kinematischen Charakteristika; modifiziert nach Lotter et al. (1998)

Die gesamte Steinbergkogel-Scholle bewegt sich, eingebunden in die Kriechzone des ausgelaugten Haselgebirges, mit einer „Hintergrundgeschwindigkeit“ von max. 0,5 bis 1 cm/a talwärts ins Hochtal des Salzberges (Abb. 6). Die Verschiebungsrates steigt sich zum Rand der Deckplatte an der Hauptabbrisskante auf ca. 1,5 bis knapp 4 cm/a. Die Erhöhung der Gesamtbewegung kommt durch die Externrotation der sich vom bergwärtigen Zerreißenfeld ablösenden Großblöcke und Felstürme zustande. Diese begründen die Felssturzgefahr durch potentiellen Kippbruch bei plastischer, irreversibler Deformation des Unterlagers (duktilen „Auspressen“ bei Überschreitung der Kriechgrenze bis zum Grundbruch im finalen Zustand). Insbesondere absturzgefährdet ist ein max. 40 m hoher Felsturm (ca. 5.000 m³) im nördlichen Bereich der Hauptabbrisskante in Reichweite der unterhalb gelegenen Forststraße. Seine mittel- und langfristige Bewegungsentwicklung (mehrere Monate bis Jahre) ist mit max. 4 cm/a am Top (Kipptrate 0,68 mm/(m*a) von Dezember 1996 bis Mai 1998) allerdings noch in einem sehr frühen Stadium der Vorbereitung bei ausgesprochen linearem Ablauf.

Als mögliche Nachwirkungen des Felssturzes von 1985 sind überwiegend bis 1992 an zahlreichen Maßbandstrecken neben dem typischen, langfristig kontinuierlichen, linearen Bewegungsablauf auch sprunghafte Änderungen der Bewegungscharakteristik innerhalb weniger Monate festzustellen. Nach 1992 entwickelt sich über die gesamte Bergzerreißen ein sehr gleichmäßiger Verformungsprozess ohne mittelfristige Änderungen innerhalb weniger Monate. Dabei resultiert eine Aufweitung (Divergenz) des Gebirgskörpers zum talwärtigen Rand der Kalkplatte. Dies bedeutet die langfristige Vorbereitung zukünftiger Felsstürze.

V. DER SCHUTTSTROM STAMBACH-ZWERCHWAND

Schuttströme stellen nicht nur ein landschaftsbildendes Element dar, sondern führen in der aktiven Phase auch zu erheblichen Beeinträchtigungen bzw. zu massiven Zerstörungen von Infrastrukturen und Siedlungen. Schuttströme sind meist langegezogene, in der Erscheinungsform gletscherähnliche Gebilde, die an meist flachen Hängen erhebliche Ausmaße erreichen können (Abb. 7). Das Gefahrenpotential ist primär in den geotechnischen Materialeigenschaften des Schuttstromes zu sehen. Bei allen untersuchten Hangbewegungen haben die Autoren feinkörnige Verwitterungs- und Hangschuttprodukte von veränderlich festen Mergeln und Tonsteinen. Der Anteil an der Schluff- und Tonfraktion übersteigt in allen untersuchten Fällen 50 % (Tab. 1).

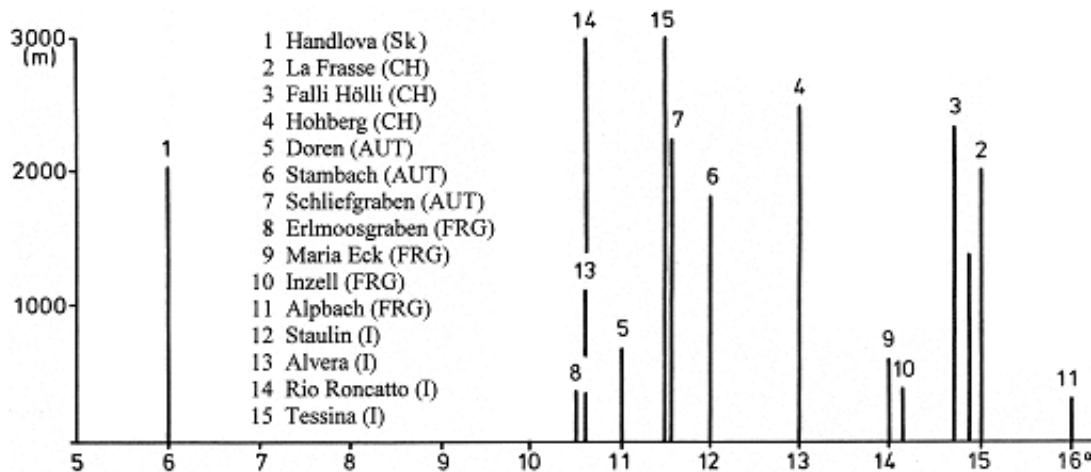


Abb. 7: Länge und Hangneigung verschiedener Schuttströme in den Alpen und der Slowakei; der bevorzugte Hangneigungswinkel liegt zwischen 10° und 15° (n. Moser 2002)

Hinsichtlich der Deformation und damit den Auswirkungen und der Höhe des Gefährdungspotentials können bei Schuttströmen folgende Zustände unterschieden werden:

- Ruhephasen und vorbereitende Phasen
- Kurzzeitverhalten mit plötzlichen Beschleunigungen, aber ohne kritischen Zustand
- Aktive Phase als Krisenereignis

Die vorbereitende Phase am Schuttstrom Stambach-Zwerchwand:

Die vorbereitende Phase war hier mit Felsstürzen aus der Zwerchwand verknüpft (s. a. Schema Abb. 2). Der zeitliche Ablauf stellte sich folgendermaßen dar (Bammer 1984; Schäffer 1983); Abb. 8.

- 15.10.1978: Felssturz von ca. 60.000 m³ aus dem Südabfall der Zwerchwand
- 22.02.1980: Felssturz von ca. 40.000 m³ ebenfalls aus dem Südabfall der Zwerchwand
- August 1980: Teilbewegung des Schuttstromes, im Verlauf des Oktobers Beruhigung
- 08.03.1981: etwa 30.000 m³ Felssturz
- Februar 1982: Gesamter Schuttstrom in Bewegung, Kubatur: ~ 14.10⁶ m³
Geschwindigkeit in der aktiven Phase als Krisenereignis: bis zu 5 m/Tag

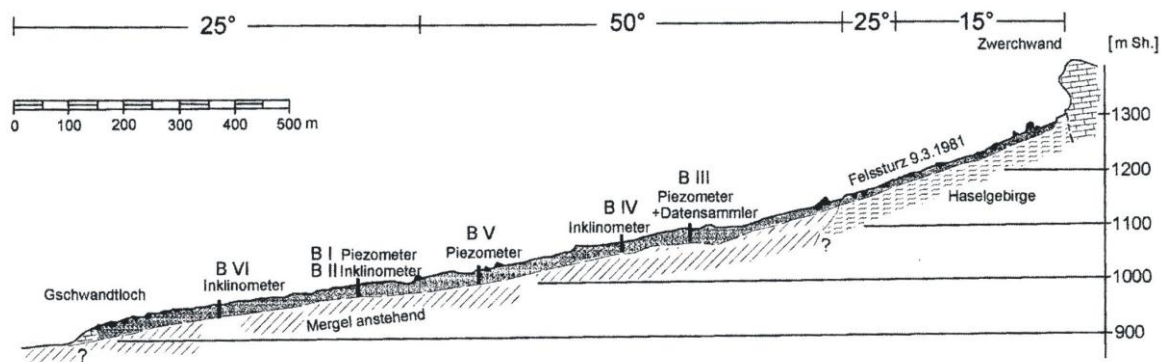


Abb. 8: Geotechnischer Längenschnitt des Schuttstromes Stambach-Zwerchwand/Oberösterreich mit Messeinrichtungen nach der aktiven Phase (n. Rohn 1991)

Die Entstehungsgeschichte zeigt deutlich, dass bei der Massenbewegung Stambach- Zwerchwand abgestürzte Felssturzmassen ursächlich an der Aktivierung der Massenbewegungen beteiligt waren. Auch der artesisch gespannte Horizont an der Basis der Rutschmasse wirkt sich destabilisierend aus. Eine Destabilisierung der Rutschmasse durch eine alleinige Erhöhung des Porenwasserdrucks an der Rutschungsbasis kann wie Abbildung 9 zeigt, nicht erwartet werden, da die tatsächlich beobachteten jährlichen Porenwasserdruckschwankungen an der Rutschungsbasis etwa um den Faktor 5 niedriger liegen als nötig.

Durch zusätzliche treibende Kräfte, wie sie z. B. durch die auf Haselgebirge abgleitenden Felssturzmassen verursacht werden können, ergeben sich signifikante Änderungen der Standsicherheit der Massenbewegung, zumal es sich hierbei anfangs um eine undrainierte Belastung handelt. Bereits eine horizontal gerichtete, auf die oberste Berechnungslamelle einwirkende zusätzliche Kraft von 25.000 kN kann zu einer Destabilisierung führen (Rohn 1991).

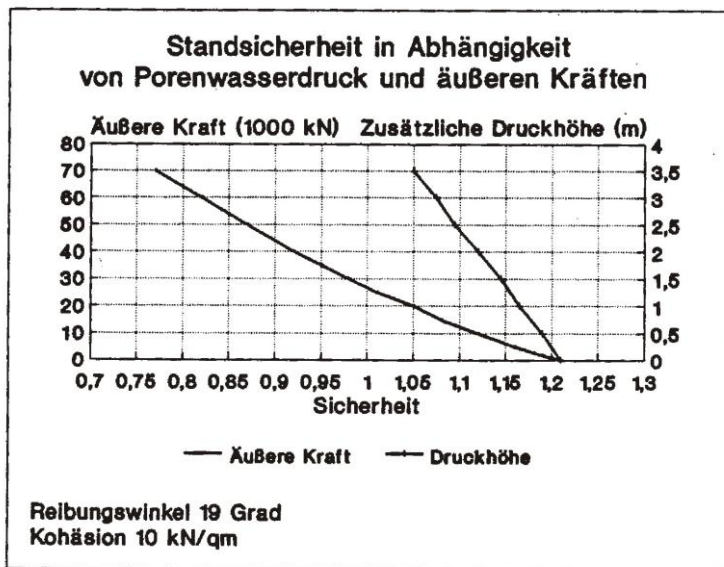


Abb. 9: Standsicherheit der Massenbewegung Stambach-Zwerchwand in Abhängigkeit von der Zunahme des Porenwasserdrucks an der Rutschungsbasis und von zusätzlichen treibenden Kräften (n. Rohn 1991)

In der nachfolgenden Ruhephase konnten in den Inklinometerbohrungen (zur Lage s. Abb. 8) nur mehr geringfügige Kriecherscheinungen nachgewiesen werden. Bereiche mit deutlich größeren Bewegungsbeträgen sind einerseits noch aktive sekundäre Muschelanbrüche im Schuttstrom selbst und andererseits die den Schuttstrom mit neuem Material speisenden, sich auf Haselgebirge abwärtsbewegenden, frischen Rutschmassen.

VI. AUSBLICK

Das Gefährdungspotential im Hallstätter Raum ist häufig mit dem geomechanischen System „Hart auf Weich“ verknüpft. Besonders ausgeprägt zeigen dies die Bergzerreißungen an der Plassen-Ostseite westlich von Hallstatt und die Großhangbewegungen an der Zwerchwand-Stambach.

Die **Bergzerreißungen der Plassen-Ostseite westlich von Hallstatt** (Salzkammergut/Hallstätter Salzberg, Oberösterreich) stellen im Geomechanik-System „Hart auf Weich“ den Fall der Überlagerung eines duktilplastischen, mächtigen Unterlagers durch eine spröd-elastische Deckplatte dar. Das Gefahrenpotential ist in Felsstürzen durch Kippbruch am Rand der Deckplatte, aber auch durch die Bereitstellung vermurungs- und schuttstromfähigen Lockermaterials im Bereich des Sockels begründet. Das Hangversagen größerer Bereiche von Festgesteinen z. B. in Form des relativ schnellen Abgleitens größerer Gebirgsschollen in der Dimension von Bergstürzen mit möglicherweise katastrophalen Folgen ist nicht plausibel, da das Haselgebirge solche Vorgänge offenbar nicht unterstützt. Die Bewegungscharakteristik der Zerreißungsformen ist gut interpretierbar und folgt kaum relativ kurzfristigen Veränderungen. Eine regelmäßige messtechnische Überwachung gefährdeter Bereiche lässt plötzliche Massenbewegungen im Vorfeld rechtzeitig erkennen.

Der **Schuttstrom Stambach-Zwerchwand** befindet sich zur Zeit in einer Ruhephase, wobei er sich aber immer noch in einer kriechenden Bewegung befindet. Durch weitere Abstürze von Felsbastionen ist eine neuerliche Reaktivierung nicht ausgeschlossen.

Noch nicht völlig geklärt ist dabei der Mechanismus der Aktivierung des vorher scheinbar ungefährlichen Schuttstromes. Wie die bisherigen Ereignisse zeigen, erfolgten die ersten sichtbaren Hangbewegungen jeweils erst 6 bis 11 Monate nach den vorhergegangenen Felsstürzen. Eine direkte, sofortige Aktivierung des Schuttstromes durch die Felsstürze tritt also nicht auf. Wahrscheinlich muss sich als zweiter auslösender Faktor noch ein besonders hoher Porenwasserdruck an der Rutschungsbasis einstellen.

VII. ANHANG 1: LITERATUR

- Ampferer O. 1939. Über einige Formen der Bergzerreißung. Sitzungsber. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl., Abt. I, 148, 1. u. 2. Heft, Wien
- Ampferer O. 1940. Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreißungen. Sitzungsber. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl., Abt. I, 149, 1. u. 2. Heft, Wien
- Bammer O. 1984. Massenbewegungen im Raume Bad Goisern, Oberösterreich. Internat. Symp. Interpraevent 1984 – Villach **3**, 167 – 180, Villach.
- Hauswirth E. K., Scheidegger A. E. 1988. Rockslide on the Red Wall above Hallstatt, Upper Austria. Proc. 5th Int. Symp. Landslides, Lausanne **2**, 1333 – 1338, Rotterdam (Balkema).
- Lotter M., Moser M., Glawe U., Zvelebil J. 1998. Parameters and kinematic processes of spreading of mountain ridges. Proc. 8th Int. Congress IAEG, Vancouver **II**, 1251 – 1257, Rotterdam (Balkema).
- Lotter M. 2001. Geotechnische und kinematische Untersuchungen an instabilen Felshängen im alpinen Raum. Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg, IX + 324, Erlangen.
- Merkel M. 1989. Geologische und ingenieurgeologische Untersuchungen im Wildbacheinzugsgebiet des Hallstätter Mühlbaches (Oberösterreich). Unpubl. Diplomarbeit. Univ. Erlangen-Nürnberg, IV + 95p., Erlangen.
- Moser M. 2002. Geotechnical aspects of landslides in the Alps. Proc. 1th Europ. Conf. on Landslides, 23 – 43, Lisse (Balkema).
- 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.
- Rohn J. 1987. Geologische und ingenieurgeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Roßalmgrabens bei Gosau/Oberösterreich. Unpubl. Diplomarbeit Univ. Karlsruhe (TH), 167p., Karlsruhe.
- Rohn J. 1991. Geotechnische Untersuchungen an einer Großhangbewegung in Bad Goisern (Oberösterreich). Schr. Angew. Geol. Karlsruhe **14**, XVIII + 193p., Karlsruhe.
- Schäffer G. 1983. 4. Stellungnahme der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt zur Massenbewegung Stambach-Zwerchwand/Bad Goisern. Unveröff. Gutachten f. d. Forsttech. Dienst f. Wildbach- u. Lawinenverbauung Bad Ischl, 1 – 9, 22 Beilagen, Wien.
- Wirobal K. H. 1973. Untersuchung über Streckendeformationen im Salzbergbau Hallstatt. Unpubl. Diplomarbeit Montan. Hochschule Leoben, 22p., + Anlagen, Leoben.
- Wirobal K. 1994. Das Klima von Hallstatt. 76p., Musealverein Hallstatt.